

Consideraciones sobre el boro en las aguas subterráneas del Campo de Dalías (Almería)

Considerations about the boron in the groundwater from Campo de Dalías (Almería)

L. Molina Sánchez, F. Sánchez Martos, A. Pulido Bosch, A. Vallejos Izquierdo.

Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería, 04120 Almería

ABSTRACT

The study of boron content in the waters from Campo de Dalías and his relation with ions Cl^- and SO_4^{2-} allows identify their principal origins. The three processes that control his distribution are related with antropic contamination, dissolution of evaporitic salts and marine intrusion. These processes have different intensity in each aquifer unit.

Key words: boron, salinitation, contamination

Geogaceta, 29 (2001), 79-82
ISSN: 0213683X

Introducción

El Campo de Dalías está situado en el extremo suroriental de Andalucía y presenta un relieve relativamente suave entre Sierra de Gádor y el mar Mediterráneo (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico, se encuentra en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas. Los materiales más antiguos corresponden al Complejo Alpujárride, que en el área se caracteriza por la superposición de dos unidades: Gádor y Felix. La unidad de Gádor está constituida por filitas, sobre la que descansa una potente serie calizo-dolomítica cuya potencia puede superar los 1000 m. La unidad de Felix, tiene la misma litología que la de Gádor, pero su potencia es de 100 m. La serie Tortoniense-Andaluciese está constituida por dolomícritas, margas, yesos, rocas volcánicas y conglomerados su espesor puede superar los 100 m. Los materiales pliocenos están formados una potente formación margosa (entre 500 y 1000 m), margas arenosas y arenas; la serie culmina con calcarenitas de unos 100 m potencia. Al pie de Sierra de Gádor adquieren gran desarrollo los conos de deyección, además, existen depósitos limosos y fangosos en relación con salinas y playas antiguas (Fornigué, 1977).

En el área de estudio se diferencian tres unidades hidrogeológicas: Balerna-Las Marinas, Balanegra y Aguadulce (Pulido Bosch *et al.*, 1993 y Molina, 1998) (Fig. 1). La unidad de Balerna-Las Marinas ocupa el área centro-sur del área. Está

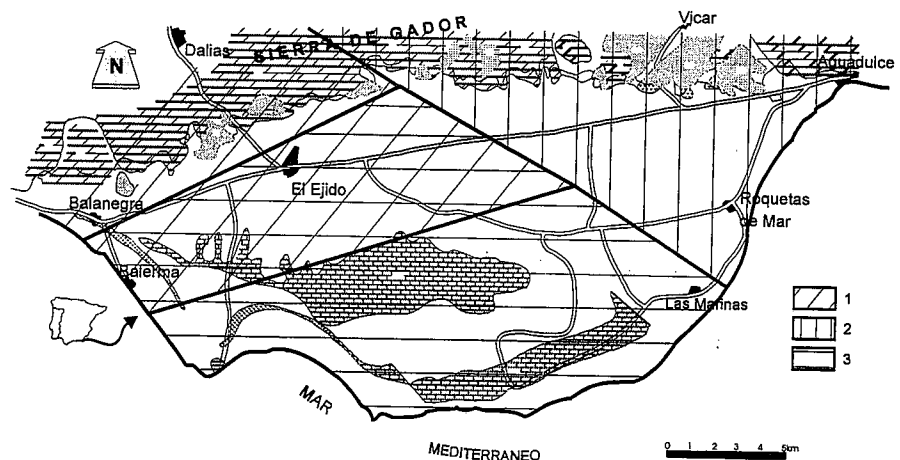


Fig. 1.- Situación del Campo de Dalías y unidades hidrogeológicas. 1: U. Balanegra, 2: U. Aguadulce, 3: U. Balerna - Las Marinas

Fig. 1.- Location of Campo de Dalías and hydrogeological units. 1: Balanegra unit, 2: Aguadulce unit, 3: Balerna-Las Marinas unit

esencialmente integrada por 100-150 m de calcarenitas pliocenas, hacia el muro existen arenas margosas, como facies de transición hacia la potente serie margosa. La unidad de Balanegra se localiza en el extremo occidental y está constituida esencialmente por materiales carbonatados del manto del Gádor y localmente depósitos miocenos y pliocenos. La Unidad de Aguadulce, ubicada en el extremo oriental del área, esta integrada por los materiales calizos dolomíticos de los mantos de Gádor y Felix junto a calcarenitas y rocas volcánicas miocenas, margas y calcarenitas pliocenas

y materiales cuaternarios. Esta diversidad litológica unida a su estructura confieren a la unidad una geometría muy compleja.

Las aguas del Campo de Dalías presentan una salinidad muy diversa, en relación con diferentes procesos: intrusión marina, contaminación agrícola, termalismo, presencia de salmueras (Pulido Bosch *et al.*, 1993 y Molina, 1998). En este trabajo se describen los contenidos en boro de las aguas subterráneas discutiendo los factores que controlan su origen y determinando su importancia relativa en cada uno de los acuíferos

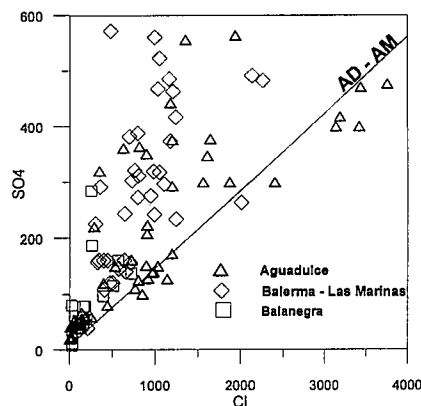


Fig. 2.- Relación SO_4/Cl de todas los puntos muestreados en el Campo de Dalías

Fig. 2.- Relationship SO_4/Cl in all samples from Campo de Dalías

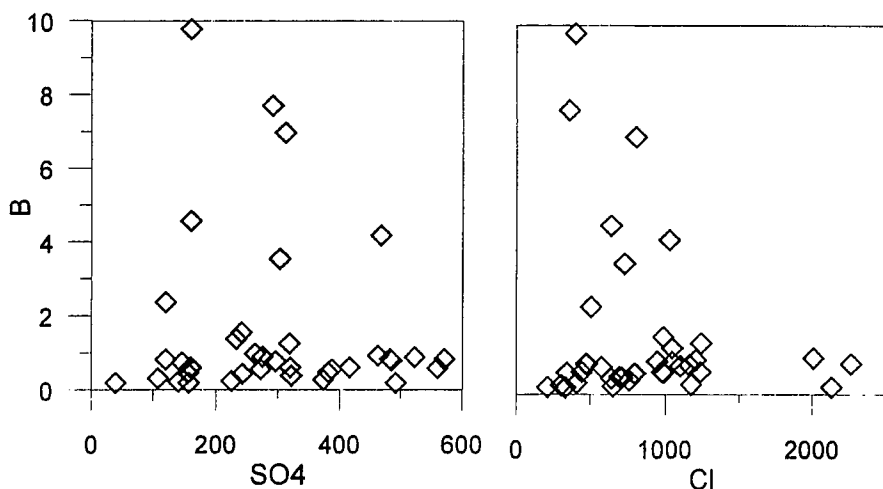


Fig. 3.- Relación B/SO_4 y B/Cl de la unidad de Balerna - Las Marinas

Fig. 3.- Relationship B/SO_4 and B/Cl in Balerna-Las Marinas unit

Datos

Este trabajo se ha realizado a partir de 117 análisis químicos, 38 corresponden a la unidad de Balerna-Las Marinas, 29 a la de Balanegra y 50 a la de Aguadulce. Estos datos se obtuvieron a partir de dos muestreos efectuados en Octubre de 1991 y Noviembre 1992. La conductividad y el pH se determinaron en el campo. Los aniones Cl y SO_4 se midieron utilizando cromatografía iónica. La determinación del boro se hizo utilizando un espectrofotómetro de emisión atómica (ICP-OES).

En la unidad de Aguadulce hay una gradación de facies desde bicarbonatadas cálcico-magnésicas hasta cloruradas. La salinidad aumenta desde base de Sierra de Gádor hacia el mar, con el cual existe conexión. La salinidad es máxima en la parte central ($12\ 000\ \text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$), donde se produce la mayor explotación, y se alcanzan los máximos contenidos Cl ($3759\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y SO_4 ($563\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Los valores más elevados en boro ($11 - 14\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) se alcanzan en los pozos que bombean el acuífero plio-cuaternario, en los sectores central y costero son menores, puesto que oscilan entre $1-6\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. En la unidad de Balanegra, también hay una gradación desde facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas hasta cloruradas, en las zonas más cercanas al mar, donde se alcanzan los los máximos contenidos en Cl ($600\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y SO_4 ($200\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En algunos sondeos profundos (800 m) la conductividad eléctrica no es elevada ($2950\ \text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$) pero tienen altos contenidos en Cl ($723\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y SO_4 ($284\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Las concentraciones más elevadas en boro ($2.82\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) se relacionan con las zonas más cercanas a la costa

del acuífero plioceno. En los sondeos profundos localizados en el sector central se encuentran valores de $0.4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. En la unidad de Balerna-Las Marinas se produce la menor extracción, puesto que sus aguas son cloruradas sódicas. En la parte central y en el sector costero se alcanza la máxima salinidad ($7600\ \text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$) y los máximos contenidos en Cl ($2261\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y SO_4 ($571\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). La concentración más elevada en boro ($4 - 6\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) está relacionada con los sondeos que explotan el acuífero plio-cuaternario del sector costero y en la parte central de esta unidad.

La representación de los contenidos en Cl con respecto a SO_4 (figura 2) muestra bastante bien la diversidad de las aguas. Los puntos de la unidad de Aguadulce, donde existe una marcada influencia marina, se disponen junto de línea de mezcla teórica agua dulce - agua de mar. El resto de puntos de esta unidad junto a los correspondientes a las unidades de Balanegra y Balerna - Las Marinas están muy dispersos y muestran relaciones SO_4/Cl más altas; por lo que su salinización no parece relacionarse directamente con la influencia marina.

Discusión

Las aguas de la unidad Balerna - Las Marinas presentan una gran variabilidad química. Existen puntos con altos contenidos en boro ($4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}-10\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y salinidad media (aproximadamente $3000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); sin embargo otros puntos, con aguas más salinas ($6000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} - 7000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) tiene contenidos en boro muy bajos ($< 1\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Para estudiar esta variabilidad

de aguas se han comparado los contenidos en B con Cl y SO_4 (figura 3) que son los dos iones que condicionan la salinidad de las aguas. Considerando solamente los puntos con concentración en B inferior $2\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ se observa que la relación directa entre B, SO_4 y Cl, lo que induce a pensar que los procesos que controlan su origen son similares. Los materiales acuíferos de esta unidad corresponden con calcarenitas pliocenas, en cuya base pueden existir aguas de elevado contenido salino (Pulido Bosch *et al.*, 1989). En estas salmueras se habría desarrollado un proceso de concentración de sales a partir de agua de mar. Los puntos con contenidos ($2.3\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}-9.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) corresponden áreas que explotan algunos niveles más superficiales, donde se desarrollan procesos de contaminación antrópica, lo que eleva los contenidos B en las aguas subterránea (Vengosh *et al.*, 1994; Leenthouse *et al.*, 1998).

La unidad de Balanegra tiene los contenidos en boro más bajos de todo el Campo de Dalías. Solo existen dos puntos que superen los $0.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y en ningún caso rebasan $3\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Considerando los puntos con valores inferiores a $0.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, existe una relación directa entre B, Cl y SO_4 (fig 4), especialmente al considerar exclusivamente los sondeos que explotan los materiales carbonatados. En estos sondeos, las aguas con valores más altos en Cl ($500\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1} - 700\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y SO_4 ($100\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}-150\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), corresponden a los puntos que explotan los niveles carbonatados más profundos y poseen una anomalía termal, puesto que su temperatura de surgencia oscila entre 25.5 y $39\ ^\circ\text{C}$. En es-

tos materiales carbonatados alpujárri-
des existen algunas intercalaciones eva-
poríticas, que constituyen el origen de
Cl, SO₄ y B. De hecho se ha puesto de
manifiesto la relación directa entre B y
SO₄ en sedimentos evaporíticos situa-
dos en diferentes ambientes (Berner,
1971) y las altas concentraciones en
boro en las aguas subterráneas de acuí-
feros carbonatados cercanos (Sánchez
Martos y Pulido Bosch, 1999). La anom-
malía termal que presentan algunos
puntos está asociada con flujos de cir-
culación más profunda (Molina, 1998)
lo que permite un mayor tiempo de con-
tacto agua roca. Todo esto favorece la
disolución de Cl y SO₄ así como la mo-
vilización del B, ya que la temperatura
controla su liberación por la interacción
agua – roca (Arnorsson y Andresdottir,
1995). Los dos puntos que se disponen
separados de la tendencia general, al-
canzando los mayores contenidos de B
(0.75 mg·L⁻¹ – 3 mg·L⁻¹), corresponden
con puntos acuíferos que explotan nive-
les más superficiales, donde se pueden
desarrollar fácilmente procesos de con-
taminación antrópica.

La unidad de Aguadulce posee las
aguas con más salinidad de todo el
Campo de Dalias, puesto que en algu-
nos puntos la conductividad asciende a
12 000 mg·L⁻¹ y el ion Cl oscila entre
3000 mg·L⁻¹ y 4000 mg·L⁻¹. El boro
muestra una amplia distribución de va-
lores y alcanza contenidos máximos de
14 mg·L⁻¹. Al considerar los puntos más
salinos, (conductividad > 6000 μS·cm⁻¹
y Cl > 1000 mg·L⁻¹) se observa la rela-
ción directa entre B y Cl (fig. 5), lo que
induce a pensar en un posible origen
común. Las aguas de estos puntos co-
rresponden a los materiales carbonata-
dos de la unidad de Felix, donde la ex-
tracción es más intensa y salinidad más
elevada, habiéndose detectado clara-
mente procesos de intrusión marina
(Molina, 1998). Considerado esto y la
relativa alta concentración en boro del
agua de mar, que ha inducido a conside-
rarlo como indicador de procesos de in-
trusión marina (Giménez, 1994), el ori-
gen del boro en estos puntos pueden
asociarse directamente con la influen-
cia marina.

Considerando la relación B/Cl (fi-
gura 5) se observa que hay una serie de
puntos separados de la alineación agua
dulce – agua de mar, los contenidos en
boro oscilan entre 2 mg·L⁻¹ y 6 mg·L⁻¹
mientras que el rango de variación del
Cl es muy amplio, entre 1000 mg·L⁻¹ y
4000 mg·L⁻¹. La alineación de estos
puntos al considerar el B con respecto

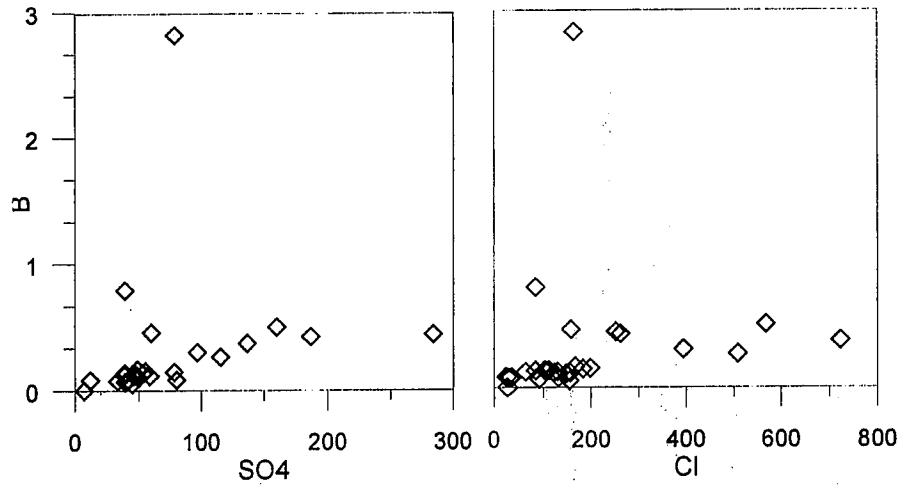


Fig. 4.- Relación B/SO₄ y B/Cl de la unidad de Balanegra

Fig. 4.- Relationship B/SO₄ and B/Cl in Balanegra unit

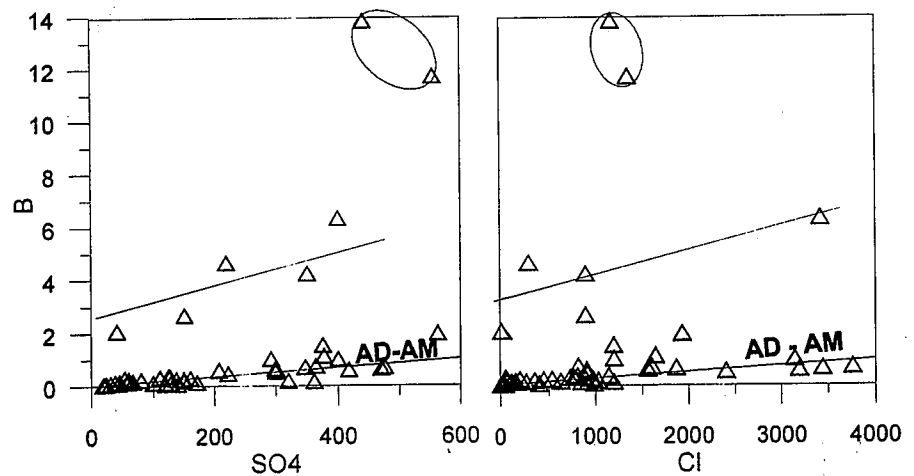


Fig. 5.- Relación B/SO₄ y B/Cl de la unidad de Aguadulce

Fig. 5.- Relationship B/SO₄ and B/Cl in Aguadulce unit

al SO₄ y la separación de la línea de
mezcla, induce a pensar que la saliniza-
ción de estos puntos no está relaciona-
da directamente con la influencia mari-
na. Más bien debe estar en gran parte
influida por la presencia de materiales
evaporíticos e incluso en algún caso
puede condicionarse por otros procesos
de origen antrópico. Los máximos con-
tenidos en boro (13,8 mg·L⁻¹ y 11,7
mg·L⁻¹) corresponden con pozos que ex-
plotan los niveles más superficiales del
acuífero pliocuaternario. Pensamos
que en este caso el origen fundamental
del B se debe al uso de fertilizantes uti-
lizados en la intensa actividad agrícola
desarrollada en el área junto a situa-
ciones puntuales de contaminación por
aguas residuales subterránea (Vengosh
et al., 1994; Mirecki *et al.*, 1994).

Consideraciones finales

Tras analizar la distribución del boro
en los acuíferos del Campo de Dalias se
observa que su origen está asociado di-
rectamente con los procesos de intrusión
marina en el sector costero de la unidad
de Aguadulce. En la unidad de Balerna-
Las Marinas su origen es diferente y se
asocia con la presencia de aguas salobres
y con el lixiviado de materiales marinos.
La influencia antrópica también ejerce
un papel importante en el origen de este
elemento, puesto que las mayores con-
centraciones corresponden con los
acuíferos más superficiales, donde existe
una intensa actividad agrícola y pueden
desarrollarse rápidos procesos de con-
taminación antrópica. La unidad de
Balanegra posee los contenidos más ba-

jos de todo el área, en consonancia con la baja salinidad de sus aguas. En este caso también existe una relación directa entre concentración en boro y salinidad de las aguas, especialmente en los niveles más profundos, probablemente en relación la presencia de algunos materiales evaporíticos y algunos procesos casos termales. Localmente también se han identificado contenidos anormalmente elevados de boro asociados a procesos de contaminación antrópica.

Agradecimientos

Este trabajo se ha elaborado en el marco del proyecto HID 99-0597-CO2-02.

Referencias

- Arnorsson, S. y Andresdottir, A. (1995): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 4125-4146
- Berner, R.A. (1971): *Principles of Sedimentology*, McGraw-Hill Book Co., New York, 240 pp
- Fourniguet, J. (1977): *Acta Geológica Hispánica*, XII, 4-6: 90-97.
- Gimenez Forcada, E. (1994): Tesis Doctoral. Univ. de Granada. 305 p. Inédita
- Leenhouts, J.M.; Bassett, R.L. and Maddock, T. (1998). *Ground Water*, 36, 2, 240-250
- Mirecki, J.E. y Parks, W.S. (1994): *Ground Water*, 32, 3: 390-398.
- Molina Sanchez, L. (1998): Tesis Doctoral. Univ. de Granada. 340 p. Inédita
- Pulido Bosch, A.; Navarrete López-Cózar, F.; Martínez Vidal, J.L., Macías Caba, A. Molina Sánchez, L. (1989): *Geogaceta*, 6, 14-16.
- Pulido Bosch, A.; Navarrete, F.; Molina, L.; Vallejos, A.; Martín Rosales, W.; Martínez Vidal, J.L. (1993): Some Spanish Karstic Aquifers. Universidad de Granada. 183-194.
- Sánchez Martos F. y Pulido Bosch, A. (1999): *XXIX IAH Congress*. Actas Vol I: 707-712.
- Vengosh, A.; Heumann, K.G.; Juraske, S. and Kasher, R. (1994): *Environ. Sci. Tech.* Vol 28, 11: 1968-1974.