

Consideraciones sobre la salinidad de las aguas subterráneas del delta del río Andarax (Almería)

About the origin of the groundwater salinity in the delta of the andarax river (Almería)

F. Sánchez Martos, A. Pulido Bosch, A. Vallejos, A. y J.M. Calaforra

Dpto. de Hidrogeología, Universidad de Almería. 04120 ALMERÍA

ABSTRACT

The salinity processes affecting of groundwaters from the delta of the Andarax river are very complex. A group of processes occur in relation with the leaching of saline materials of marine origin and with the seawater intrusion. Simultaneously there are ionic exchange processes between these salinized waters and the sediments.

Key Words: seawater intrusion, ion exchange, hydrogeochemistry.

Geogaceta, 25 (1999), 183-186
ISSN: 0213683X

Introducción

El Acuífero Detrítico del Bajo Andarax se extiende a lo largo de todo el sector central del valle del río Andarax. Este acuífero incluye a los materiales cuaternarios, aluviales y deltaicos, junto a los conglomerados arenoso-limosos fluvio-deltaicos pliocenos. Su espesor es variable: oscila entre 200 m, que alcanzan los materiales pliocenos en el área de Santa Fe, hasta 20-40 m que poseen los depósitos cuaternarios en el delta. Su superficie piezométrica presenta fluctuaciones significativas en función de la pluviometría y de los aportes del río si bien estacionalmente alcanzan valores piezométricos negativos en el sector costero (Pulido Bosch, *et al.*, 1994; Sánchez Martos, 1997).

Los materiales cuaternarios del delta afloran en continuidad lateral con los materiales aluviales. Su litología se compone de 3 ó 4 metros de limos superficiales debajo de los que existen 30 ó 40 metros de depósitos más groseros que representan la prolongación de los depósitos aluviales del río y conforman el nivel acuífero. Estos materiales descansan sobre materiales margoso limosos que constituyen el substrato impermeable, que en su parte superior presentan unos

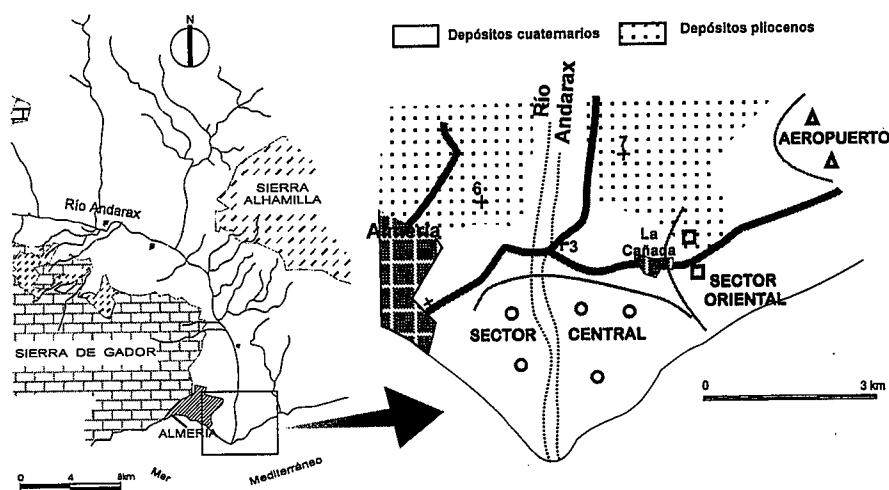


Fig. 1.- Localización geográfica y esquema geológico del delta del río Andarax con indicación de los puntos muestreados (: acuífero detrítico □ : sector central △ : aeropuerto).

Fig. 1.- Site location and geological scheme of delta of Andarax river. It's indicated the situation of sampling points

niveles detríticos más groseros. (Carrasco y Martín, 1988).

En este trabajo se estudian los factores que condicionan la salinidad de las aguas subterráneas del delta del río Andarax de acuerdo con su situación en una zona costera y considerando los procesos modificadores por las interacciones agua-sedimento.

La salinidad de las aguas en el delta del río Andarax

Las aguas subterráneas del delta presentan gran diversidad química ya que han sufrido una larga trayectoria a lo largo del Acuífero Detrítico que se extiende unos 15 Km hacia aguas arriba del delta. Esta situación y la proximidad al mar, que

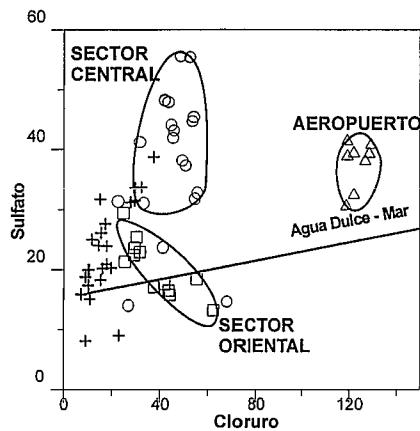


Figura 2.- Comparación del contenido (meq·L⁻¹) en Cl⁻ y SO₄²⁻ en las aguas subterráneas del delta. Se ha señalado la línea de mezcla con el agua de mar.

Fig. 2.- Plots Cl⁻ vs SO₄²⁻ (meq·L⁻¹) of groundwater samples in the delta. The line represents seawater mixing line.

limita al acuífero en su extremo meridional, son fundamentalmente los responsables de su elevada conductividad, que oscila entre 3000 μS·cm⁻¹ y 13000 μS·cm⁻¹.

Para el estudio de las aguas subterráneas del delta es necesario conocer el quimismo del Acuífero Detrítico en la zona más cercana, ya que constituye su principal alimentación. Las características físicoquímicas de este agua se han representado mediante tres puntos (3, 6 y 7) que están muy cercanos al delta; sus aguas poseen facies sulfatada, aunque los puntos 6 y 7 presentan cierta componente clorurada. Estas diferencias se relacionan con su situación geológica; el punto 3 está más próximo al cauce del río y sus aguas están asociadas a la evolución general del Acuífero Detrítico. Los otros dos puntos están cercanos a unos afloramientos de materiales miocenos y pliocenos, de modo que el lavado de estos materiales provoca un aporte salino diferente, con una componente clorurada.

Dentro de la llanura deltáica las aguas tienen facies mayoritariamente cloruradas. Los puntos más cercanos al cauce del río poseen facies mixta, sulfatada-clorurada, mientras que los más alejados del cauce, especialmente la zona oriental y el área del aeropuerto, muestra mayor proporción clorurada y la salinidad total es más elevada (Fig. 1).

La relación entre el contenido en SO₄²⁻ y Cl⁻ muestra la diversidad química de las aguas del delta, ya que estos dos iones son mayoritarios en las aguas del Acuífero Detrítico (Fig. 2). Los puntos situados en el sector oriental y en el aero-

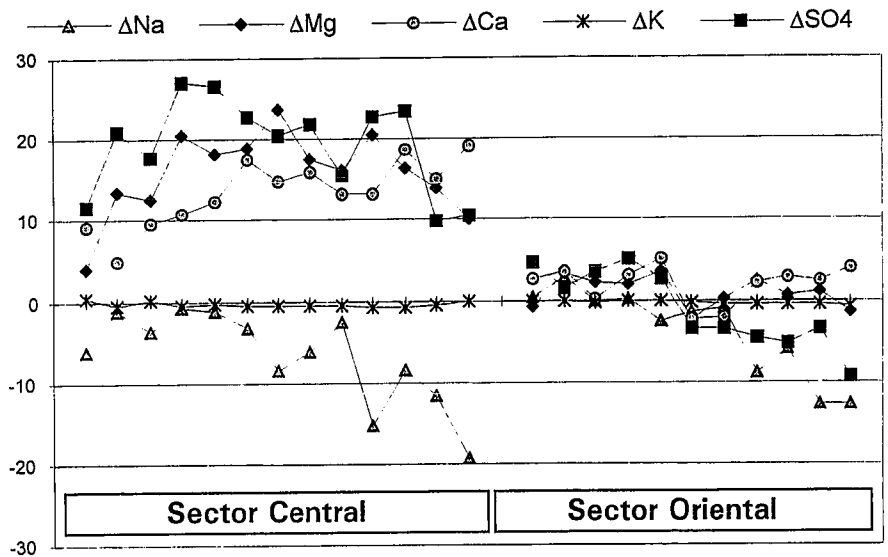


Figura 3.- Evolución de los Δ ion en las aguas subterráneas (meq·L⁻¹) del delta. Los puntos se han separado en dos sectores (Central y Oriental) y se han ordenados según el contenido en Cl⁻ creciente.

Fig. 3.- Evolution of Δ ion (meq·L⁻¹) of groundwater in the delta. The points are separated in two sectors (Central and Eastern), and the orden follows the increasing Cl⁻ content.

puerto se alinean muy próximos a la línea de mezcla teórica agua dulce - mar. El resto de puntos se muestra una relación SO₄²⁻/Cl⁻ más alta y representa una evolución salina diferente asociada con la evolución sulfatada del Acuífero Detrítico. Además, existe una serie de puntos del sector oriental que se disponen en una posición intermedia, que se debe a una situación más compleja y supone una mezcla entre los dos procesos: influencia marina, que produce un aumento de Cl⁻, e influencia continental, con aumento de SO₄²⁻. La alternancia de estos dos procesos relacionados a la secuencia de periodos con mayor o menor explotación y/o mayor o menor recarga en el acuífero.

Discusion

La representación de la correlación entre dos variables permite un acercamiento inicial a la interpretación de los datos hidroquímicos y constituye una de las herramientas más útiles y sencillas en el reconocimiento del comportamiento de las aguas, ya que permite comparar las muestras con respecto a dos aguas extremas que participan en una mezcla representada por una línea recta. El reconocimiento del Cl⁻ como elemento indicador de intrusión de agua de mar permite su uso en la determinación de la proporción de la mezcla. Así puede establecerse la mezcla conservativa que indica la concentración de cada ion en función de la

proporción en que interviene cada uno de los dos miembros, salino y dulce, en la mezcla. La situación de las aguas respecto a esta línea indica enriquecimiento preferencial o pérdida de un ion con respecto al otro, lo cual puede interpretarse según procesos de intercambio iónico, disolución de sales, intrusión marina (Tellan y Lloyd, 1986, Fidelibus *et al.* 1992).

La comparación de los datos químicos de cada punto con la concentración teórica correspondiente a la mezcla conservativa entre el agua dulce del acuífero y el agua de mar puede ser una herramienta útil para reconocer la existencia de procesos modificadores, que alteren la composición de la mezcla teórica agua dulce - agua de mar. Para ello se calcula la concentración teórica de cada muestra considerando el ion Cl⁻ como parámetro conservativo del proceso teórico de mezcla. Las diferencias entre las concentraciones reales y teóricas se expresan como Δ (deltas) iónicos (meq·L⁻¹). El cálculo de Δ permite reconocer cuantitativamente las diferencias entre las concentraciones teóricas (concentración de un ion que la muestra debería tener si su composición química fuera resultado únicamente de la mezcla con agua de mar) y la concentración real en la muestra. Estos valores permiten reconocer numéricamente las desviaciones identificadas en los gráficos de dilución y pueden considerarse como una cuantificación de los fenómenos modificadores relacionados con la reacción entre el agua salina y el acuífero. Los Δ ió-

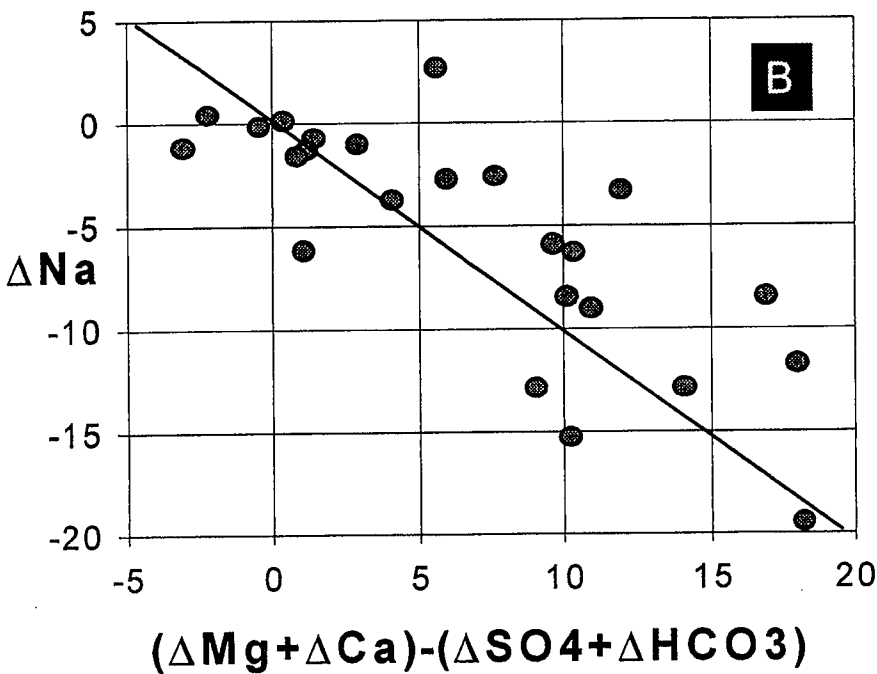
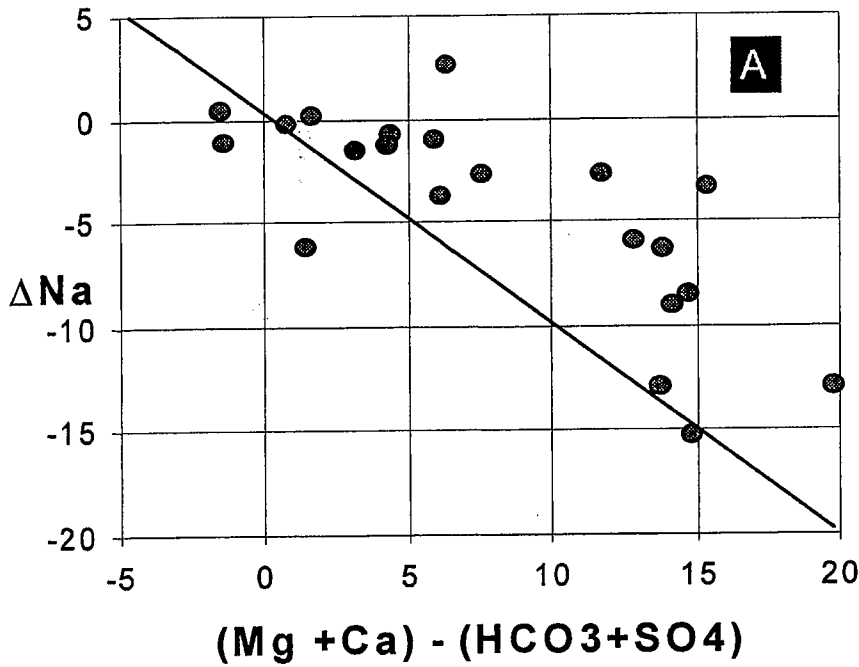


Figura 4.- A) Relación entre ΔNa^+ y la concentración entre $(Mg^{2+}+Ca^{2+}) - (HCO_3^-+SO_4^{2-})$. B) Relación entre ΔNa^+ y la concentración entre $(\Delta Mg^{2+}+\Delta Ca^{2+}) - (\Delta HCO_3^-+\Delta SO_4^{2-})$. Se ha señalado la recta 1:1. (Valores en meq-L⁻¹).

Fig. 4.- A) Relationship between ΔNa^+ and $(Mg^{2+}+Ca^{2+}) - (HCO_3^-+SO_4^{2-})$. B) Relationship between ΔNa^+ and $(\Delta Mg^{2+}+\Delta Ca^{2+}) - (\Delta HCO_3^-+\Delta SO_4^{2-})$. The line represents the relation 1:1. (Values in meq-L⁻¹).

nicos son de gran utilidad en la identificación de los procesos modificadores asociados a la intrusión marina ya que muestran, de modo directo, las anomalías respecto al comportamiento teórico de un proceso simple de mezcla entre las aguas del acuífero y el agua de mar (Giménez, 1994).

En la figura 3 se representan los Δ iónicos de los puntos muestreados en el delta, separando los sectores central y oriental. Las diferencias hidroquímicas entre estos dos sectores son notables y se relacionan con los procesos que se desarrollan en la relación agua-sedimento. En

general se aprecia cómo todos los puntos muestran ΔSO_4^{2-} , ΔCa^{2+} y ΔMg^{2+} positivos mientras que los ΔNa^+ y ΔK^+ son negativos. Los incrementos positivos ΔSO_4^{2-} , ΔCa^{2+} y ΔMg^{2+} ponen en evidencia un enriquecimiento de estos iones con respecto a la mezcla teórica agua dulce agua de mar. Este enriquecimiento, en el caso del ΔSO_4^{2-} , tiene una fuerte componente espacial; los valores más altos corresponden al sector central y los más bajos a los puntos más cercanos a la costa, donde también se alcanzan los ΔNa^+ y ΔK^+ más bajos y las concentraciones en Cl^- más elevadas. Los ΔNa^+ y ΔK^+ tiene una tendencia opuesta a la de los ΔCa^{2+} y ΔMg^{2+} . Este hecho se relaciona con la interacción entre el agua y el sedimento como consecuencia de los procesos de intercambio iónico entre las aguas salinizadas por intrusión marina y los depósitos limoso-arcilloso (Fidelibus, *et al.*, 1992), muy abundantes en los materiales pliocuaternarios que se extienden en el delta. La ligera concordancia de las variaciones de ΔCa^{2+} y ΔMg^{2+} con los valores de ΔSO_4^{2-} también induce a pensar en la posibilidad del origen común para los tres iones, probablemente asociados a la disolución de sales sulfatadas presentes en los materiales acuíferos.

De acuerdo con estos datos, los principales factores que modifican la composición química en las aguas del delta del río Andarax corresponden a la disolución de sales, intrusión marina y a los procesos de intercambio iónico anexas. Para identificar estos procesos se intenta cuantificar el exceso de Ca^{2+} y Mg^{2+} , no asociado directamente a la concentración en HCO_3^- y SO_4^{2-} . Este exceso, que previsiblemente se deberá a procesos de intercambio iónico, puede expresarse mediante la diferencia $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$. La relación de este dato con el ΔNa^+ muestra una relación lineal inversa entre estos dos parámetros (Fig. 4 A). Sin embargo, los puntos se sitúan ligeramente por encima de la línea 1:1, alejándose de esta recta los puntos con ΔNa^+ más negativos que poseen contenidos más altos en Cl^- . Este exceso puede asociarse a la influencia del agua de mar, si bien en estos datos no se tiene en cuenta la situación de los puntos con respecto a la línea de mezcla agua dulce - agua de mar. Para considerar este hecho se han representado las mismas relaciones pero considerando en los dos casos los Δ iónicos (Fig.4B). Por tanto la diferencia $(\Delta Ca^{2+} + \Delta Mg^{2+}) - (\Delta HCO_3^- + \Delta SO_4^{2-})$ representa el aporte de Ca^{2+} y Mg^{2+} que realiza el agua de mar en el proceso de mezcla. En este caso el ajuste de los puntos a la recta 1:1 es bastante más cla-

ro que en el caso anterior, donde no se consideran los Δ iónicos.

La influencia marina sobre las aguas subterráneas del delta del río Andarax es notable, especialmente en aquellos sectores donde en algunas épocas del año se alcanzan cotas piezométricas negativas y están alejados de la zona preferencial de alimentación subterránea procedente de los depósitos aluviales más cercanos al cauce. En estos sectores los procesos de

intercambio iónico modifican la concentración en Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ en las aguas

Referencias

- Carrasco, A. y Martín, G. (1988): TIAC'88. Vol II: 37-67
Fidelibus, M.D., Giménez, E., Morell, I. y Tulipano, L. (1992): In Custodio, E. y Galofré, A. (Eds.). *Proc. 12th SWIM*: 267-283
Giménez, E. (1994): *Tesis Doctoral*.

- Univ. de Granada.
Pulido Bosch, A. A.; Sánchez Martos, F.; Navarrete, F. Martínez Vidal, J.L. y Perez Parra, J., (1994). *Congreso «Análisis de la evolución y contaminación de las aguas subterráneas»*. Vol II: 179-196
Sánchez Martos, F. (1997): *Tesis Doctoral*. Univ. de Granada.
Tellam, J.H. y Lloyd, J.W. (1986). *Quarterly Journal of Engineering Geology*. 19 (6): 389-398