

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS DEL ACUIFERO DE BALERMA-LAS MARINAS (ALMERÍA)

A. Pulido Bosch \*, F. Navarrete \*, L. Molina \* y J. L. Martínez Vidal \*\*

### RESUMEN

El acuífero de Balerma-Las Marinas, esencialmente integrado por calcarenitas pliocenas, constituye una unidad hidrogeológica de las tres diferenciadas en el Campo de Dalías. Sobre la base de ciento ochenta análisis químicos de muestras de agua recogidas en otros tantos puntos acuíferos se llega a establecer la hidrogeoquímica del acuífero; el predominio de aguas de facies clorurada sódica es interpretado como relicto de movimientos relativos mar-continente, recientes, unido a la existencia de una serie de bloques que compartimentan el acuífero y que han hecho posible que permanezca atrapada el agua salobre. La escasa explotación a que está sometido el acuífero y la baja continuidad hidráulica existente entre el acuífero y el mar descartan los procesos de intrusión marina como responsables del alto contenido salino de las aguas. Consecuentemente con lo expuesto, las aguas tienen calidad mediocre a mala, tanto para consumo humano como para su uso agrícola.

**Palabras clave:** *Hidrogeoquímica, aguas salinas «fósiles», neotectónica.*

### ABSTRACT

The Balerma-Las Marinas aquifer, which features mainly Pliocene calcarenite rocks, is one of the three distinct hydrogeological units that have been identified in the *Campo de Dalías* area of Almería. Its hydrogeochemistry has been established by analysing one hundred and eight samples from different points along the aquifer. The high sodium chloride content of the water is put down to fairly recent relative changes in the sea and continent levels, which have left saline water trapped by a series of blocks that divide the aquifer into various separate compartments. This relative lack of hydraulic continuity between the aquifer and the sea, together with fact that its resources are not subject to overuse, make it very unlikely that marine intrusion is the cause of the high saline content of the water. The conclusion to be drawn is that these waters are not very suitable either for human consumption or for irrigation.

**Key words:** *Hydrogeochemistry, «fossil» salt waters, neotectonic.*

### Introducción

El Campo de Dalías (fig. 1) se sitúa próximo al extremo oriental de la costa mediterránea andaluza y al Oeste de la Bahía de Almería; constituye una llanura costera de unos 300 km<sup>2</sup> de extensión situada entre las cuencas vertientes de los ríos Adra y Andarax. De las tres unidades hidrogeológicas que se diferencian en el Campo (IGME, 1982; Pulido Bosch *et al.*, 1987 y 1989; Domínguez *et al.*, 1988), en este artículo describimos la que abarca la mayor parte del área: el acuífero de Balerma-Las Marinas. Como su

nombre indica se extiende entre estas dos localidades extremas situadas al Oeste y al Este del Campo de Dalías.

El área presenta un relieve poco accidentado con suave pendiente hacia el mar, rota por algunos escarpes y una serie de formas endorreicas, algunas de gran extensión. De la Sierra de Gádor, que constituye el límite septentrional del Campo de Dalías, parten numerosas ramblas que surcan el área, para terminar en alguna cuenca endorreica, o desaparecer en los materiales permeables. Sólo en los extremos oriental y occidental alcanzan la playa, dada la proxi-

\* Departamento de Geodinámica e IAGM, Universidad de Granada-CSIC. 18071 Granada.

\*\* Departamento de Química Analítica, CU de Almería. 04071 Almería.



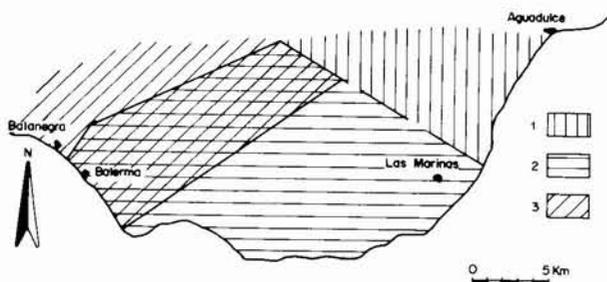


Fig. 2.—Unidades hidrogeológicas diferenciadas en El Campo de Dalías (1: de Aguadulce; 2: Balerna-Las Marinas; 3: de Balanegra).

milias de fallas que afectan a las calcarenitas e incluso a terrenos cuaternarios. Estas fallas son: a) de dirección N 20°-25° E o N-S, que dan escarpes visibles en el terreno y pueden llegar a 30 m de salto; b) de dirección E-W que apenas se observan en el campo y serían producto de reactivaciones de las fallas del Mioceno terminal. Ambos sistemas, el primero por producir inclinaciones hacia el Este y el segundo por hacerlo hacia el Norte, han dado lugar a una componente global de inflexión de la superficie de abrasión hacia el NE. La morfología resultante ha posibilitado el aumento de reservas del acuífero de calcarenitas pliocenas, ya que frena la escorrentía y produce mayor infiltración.

Al parecer esas fracturas afectan al Plioceno y a la superficie y depósitos de la terraza Siciliense. En profundidad, y después de la pequeña elevación epigenética, se instala la playa y plataforma Eotirreniense. Nuevamente parece existir una fase de fracturación, con direcciones desde N 150° E a N 170° E; las fallas resultantes son muy abundantes y visibles en el terreno. Posteriormente a esta fase, se instalan dos episodios marinos cuaternarios y se generan algunos conos de deyección. La estructura del sistema viene, pues, marcada por las condiciones de deposición y por los accidentes tectónicos.

### Principales rasgos hidrogeológicos

#### *Los materiales acuíferos y sus relaciones con las otras unidades del Campo de Dalías*

En el Campo de Dalías se diferencian las unidades hidrogeológicas de Balanegra, situada en el sector occidental; Aguadulce, en el oriental, y la que nos ocupa, Balerna-Las Marinas (Pulido-Bosch *et al.*, 1987; fig. 2). En esta última unidad existe un cambio progresivo de facies en la vertical desde las margas grises hasta las calcarenitas, pasando por diversas proporciones en la mezcla arenas-margas; es por ello que

se produce una evolución de la permeabilidad en la vertical que hace que el material acuífido pase a acuífido y paulatinamente a acuífero.

En lo concerniente a los límites del acuífero y su naturaleza, todo el borde meridional está constituido por el mar, y por tanto se trata de un límite a potencial constante; no obstante en ningún punto las calcarenitas se ponen en contacto con el mar, sino que son las margas arenosas o los sedimentos cuaternarios los que ocupan la franja costera; en realidad el borde meridional del acuífero se encuentra a una cierta distancia del litoral y está constituido por las margas arenosas, siendo por tanto un límite semipermeable.

El límite nororiental coincide sensiblemente con una fractura a lo largo de la cual y a ambos lados, se observan saltos piezométricos, dado que el potencial en este acuífero es mayor que en el de Aguadulce; se trata, por tanto, de un borde permeable de descarga. En los bordes restantes no existen las margas grises, sino que su trazado es coincidente con fracturas; las calcarenitas pliocenas se ponen en contacto con los materiales permeables infrayacentes, calcarenitas miocenas y/o dolomías y calizas alpujarrides; en las condiciones hidrodinámicas actuales este borde es permeable, de descarga, debido a que los potenciales de los materiales acuíferos con los que contacta son más bajos que en las calcarenitas pliocenas. En régimen natural muy probablemente sucedería lo contrario, es decir, habría una alimentación a partir de la Sierra de Gádor, con flujo de Norte a Sur.

#### *Características geométricas e hidráulicas*

Esta unidad constituye un manto de carácter libre, que ocupa una extensión de 225 km<sup>2</sup> en la zona centro-meridional del Campo de Dalías. Como hemos indicado, el material acuífero está integrado por las calcarenitas pliocenas (de 100-150 m de potencia), aunque existen depósitos cuaternarios sobre estos materiales que también tienen comportamiento acuífero. El espesor de los materiales pliocenos decrece en general de Norte a Sur, al tiempo que aumenta la proporción de elementos terrígenos.

El sustrato impermeable del acuífero está integrado por las margas grises pliocenas que llegan a superar 700 m de potencia. Debido a las deformaciones recientes que afectan a los materiales acuíferos la geometría de detalle puede complicarse sensiblemente, dando lugar a sectores «colgados», al encontrarse las margas por encima del nivel piezométrico o a sectores «aislados» en los bloques de calcarenitas saturadas rodeados de margas.

La transmisividad presenta valores muy variables, desde típicos de acuífero pobre hasta característicos

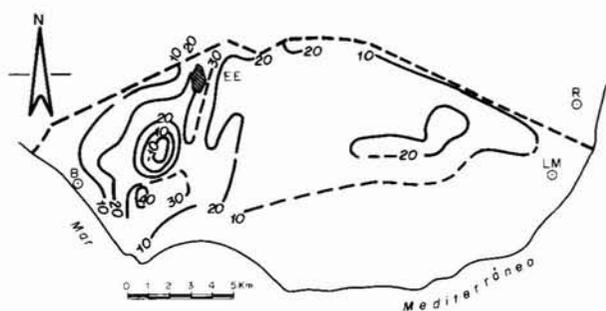


Fig. 3.—Isopiezas de Febrero de 1981 (IGME, 1982; B: Balerma; EE: El Ejido; LM: Las Marinas; R: Roquetas).

de buen acuífero. En el sector de Onáyar se han medido valores comprendidos entre 120 y 240 m<sup>2</sup>/día; en las cercanías de Balanegra próximos a 250 m<sup>2</sup>/día y en los alrededores de Balerma son muy bajos. Entre El Ejido y Tarambana se midieron valores de 190 m<sup>2</sup>/día; los más elevados se obtienen al Sur de Santa María del Aguila, y están comprendidos entre 1.000 y 1.800 m<sup>2</sup>/día; al NW de este sector varían entre 335 y 360 m<sup>2</sup>/día, y entre 440 y 1.200 al Norte; por último, los valores varían entre 200 y 800 m<sup>2</sup>/día al Este (IGME, 1982). Lógicamente tanta dispersión en los valores obtenidos en las diferentes pruebas, es reflejo de heterogeneidad litológica, de manera que, cuando dominan tramos areno-margosos se obtienen los valores más bajos, mientras que los valores más elevados corresponden a los tramos calcareníticos con mayor espesor saturado.

#### El régimen, el manto

Las observaciones llevadas a cabo por el IGME en el área al inicio de la década de los setenta y proseguidas hasta la actualidad, con ciertas lagunas en determinadas épocas, permiten tener una clara idea de la evolución de los niveles piezométricos en el tiempo y en el espacio. La superficie piezométrica en febrero de 1981 (IGME, 1982) presentaba las características siguientes (fig. 3): las mayores cotas se encontraban al Oeste de Matagorda (superiores a 40 m), en las proximidades de El Ejido (30 m) y entre Las Norias y La Mojonera (con un umbral de más de 20 m s.n.m.); mientras que en la mitad oriental el trazado de las curvas resulta bastante tranquilo, en la mitad occidental se observan muchas peculiaridades; en efecto, junto a los valores máximos ya reseñados de Matagorda y El Ejido se tiene un gran conoide en Onáyar, de elevado gradiente y con valores mínimos de más de 20 m por debajo del nivel del mar.

En febrero se constata una notable disminución de la profundidad del conoide del sector de Onáyar, que sigue registrando un vértice bajo el nivel del mar, pero muy reducido, y se mantiene el umbral de La Mojonera-El Ejido con valores de 20-30 m s.n.m. Los datos de niveles tomados por nosotros en mayo de 1986 parecen confirmar la reducción del gran conoide de Onáyar, ante la disminución de las extracciones. Los valores máximos relativos se localizan al SE de El Ejido. En la figura 4, correspondiente a noviembre de 1986, se observa que el conoide de Onáyar presenta valores de más de 5 m bajo el nivel del mar; entre este conoide y el mar se observa la existencia de un umbral piezométrico a cota superior a 5 m s.n.m. Los valores máximos están comprendidos entre 20 y 30 m s.n.m., y corresponden a un sector al NE de El Ejido, a otro en La Mojonera y, por último, a un punto al NNE de Las Marinas. Llama la atención la existencia de una línea de umbrales (divisoria) de trazado curvilíneo que pasa por el Norte de El Ejido, Las Norias, Mojonera y NE de Las Marinas.

Por otro lado, las evoluciones piezométricas puntuales medidas en una serie de pozos-testigo, por el organismo citado, recogen igualmente esta tendencia generalizada a la subida de los niveles piezométricos. Ello se debe en gran medida a la disminución que han sufrido las extracciones en esta unidad, unido a un progresivo aumento de la alimentación, esencialmente por retorno del regadío, el cual ocupa una amplia porción de la superficie del acuífero.

#### Funcionamiento hidráulico y balance

El funcionamiento hidráulico actual del sistema es diferente al que debió de tener en régimen no influenciado, aunque muchos de los elementos que intervienen en el mismo mantienen su contribución inicial.

En lo relativo a los límites del acuífero de Balerma-Las Marinas y su naturaleza, se deduce que entre el NE de El Ejido y Santa María del Aguila existe un límite de flujo nulo, al encontrarse el sustrato impermeable (margas grises) por encima de la franja saturada. Todo el borde del mar, considerado como límite del acuífero de potencial constante, es matizado en aquellos sectores en donde las margas arenosas afloran, que hacen que éstas constituyan un límite impermeable. El borde Noroeste se puede considerar como límite permeable de descarga. El borde Norte, en el sector de los Alacranes, es un límite de naturaleza permeable con intercambio hídrico; dado que los niveles piezométricos del acuífero infrayacente son inferiores a los del acuífero de Balerma-Las

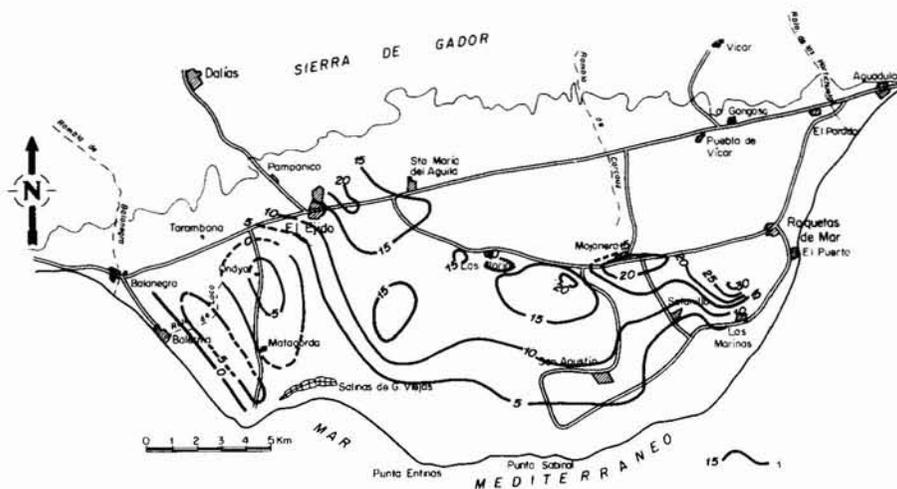


Fig. 4.—Isopiezas correspondientes a noviembre de 1986. (1: curva isopieza y su valor en m s.n.m.).

Marinas, el flujo se establece desde éste al calizo-dolomítico (Thauvin, 1986).

Los elementos que contribuyen a la alimentación del acuífero son esencialmente la infiltración procedente de las precipitaciones caídas sobre el mismo acuífero, de la escorrentía generada en los bordes del acuífero y que pasa a él, del regadío con aguas superficiales, de la cuenca del río de Adra (embalse de Benínar), o subterráneas, de captaciones en los otros acuíferos del Campo de Dalías, y de las aguas residuales urbanas de los núcleos ubicados en el acuífero. Todas las entradas se estiman en  $27,5 \text{ Hm}^3/\text{año}$ . Las salidas principales (bombeos y salidas laterales ocultas hacia otros acuíferos) son de  $26 \text{ Hm}^3/\text{año}$ . Por tanto se da un aumento neto medio de reservas de  $1,5 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

### Características físico-químicas de las aguas

#### Aspectos generales

La caracterización hidrogeoquímica de este acuífero se va a hacer sobre la base del muestreo de 108 puntos acuíferos distribuidos en todo el área; el muestreo que hemos tomado de base con tal fin es el efectuado a finales de noviembre-principios de diciembre de 1986, aunque en algunos casos haremos alusiones a un muestreo, de características similares, llevado a cabo en mayo de 1986.

La temperatura de las aguas presenta valores que oscilan entre  $18$  y  $25^\circ \text{C}$ , con un valor medio calculado de  $21,6^\circ \text{C}$ . El coeficiente de variación es ligeramente inferior al  $5\%$ ; los valores presentan una distribución marcadamente normal. Parece, pues, claro que una gama tan amplia de valores cubre des-

de aguas «normales» hasta otras que presentan un ligero termalismo; estas últimas guardan estrecha relación con el funcionamiento hidráulico del sistema y deben tener su origen en la existencia de una alimentación procedente de los materiales alpujárrides infrayacentes ya sea a través de fracturas o facilitado por sondeos mal acabados que conecten ambos acuíferos.

La distribución de los valores obtenidos de conductividad eléctrica presenta la moda en el intervalo de  $4.000\text{-}5.000 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ . El valor medio es de  $3.650 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ . La gama de valores medidos es muy amplia y queda comprendida entre menos de  $1.000$  y algo más de  $5.000 \mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Pulido Bosch *et al.*, 1989).

Las características químicas de las aguas de este acuífero, en lo que se refiere a los constituyentes mayoritarios, se representan en el diagrama triangular de la figura 5; se aprecia cómo a nivel aniónico dominan los cloruros mientras que dentro de los cationes existe una variedad de sodio y calcio, esencialmente. Del diagrama logarítmico de Schoëller-Berkaloff, se deduce que la facies tipo del acuífero es la clorurada sódica (fig. 6). Este aspecto es de gran interés, tal y como expondremos más adelante.

Los dos iones mayoritarios, cloruro y sodio, registran una media respectivamente de  $764$  y  $410 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con  $55$  y  $57\%$  de coeficiente de distribución; la distribución de frecuencias en ambos es normal y muestra gran parecido con la de la conductividad eléctrica. Con la excepción de los iones de sulfato y nitrato, el resto de las variables presenta una distribución tipo normal. Las medias de ambos iones son  $226$  y  $69 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y el coeficiente de variación  $60,5$  y  $65,5\%$ , respectivamente.

El valor medio de los nitratos alcanza  $69,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,

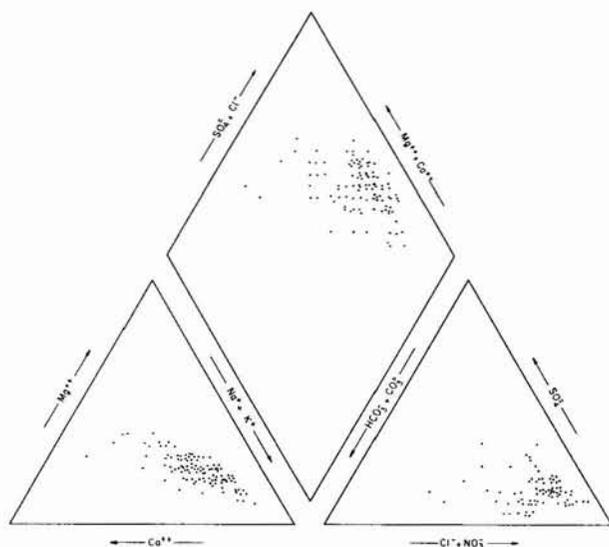


Fig. 5.—Diagrama de Piper de las aguas del acuífero (mayo/junio de 1986).

con un coeficiente de variación de 65,5 %. La variabilidad del contenido del ion nitrato es superior a la de los iones mayoritarios antes comentados, y alcanza el 290 %. El potasio, por último, presenta gran variabilidad también del orden del 240 %, con unos valores medios de  $19 \text{ mg.L}^{-1}$ .

#### Variaciones espaciales

##### Conductividad eléctrica

En la figura 7 se muestra la distribución espacial de conductividad de las aguas; los valores mínimos, inferiores a  $1.000 \mu\text{mhos.cm}^{-1}$ , se encuentran en los alrededores de El Ejido; la conductividad crece hacia la costa por el SW, alcanzando valores superiores a  $4.000 \mu\text{mhos.cm}^{-1}$  en los alrededores de Balerma; también crece hacia el SE y alcanza valores superiores a  $5.000 \mu\text{mhos.cm}^{-1}$  en una banda que va desde el Norte de Las Norias hasta el Noreste de La Mojonera; después decrece, para volver a subir junto a la costa.

##### Aniones

La distribución espacial del contenido en cloruros es semejante a la de conductividad. Los valores más bajos (menos de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ ) se midieron en el NE de El Ejido (fig. 8). El crecimiento se produce igualmente hacia los bordes costeros (SW y SE) del acuífero; en el primer caso se tienen valores superiores a  $1.000 \text{ mg.L}^{-1}$  en una banda paralela a la costa desde Guardias Viejas hacia el Noroeste y desciende a

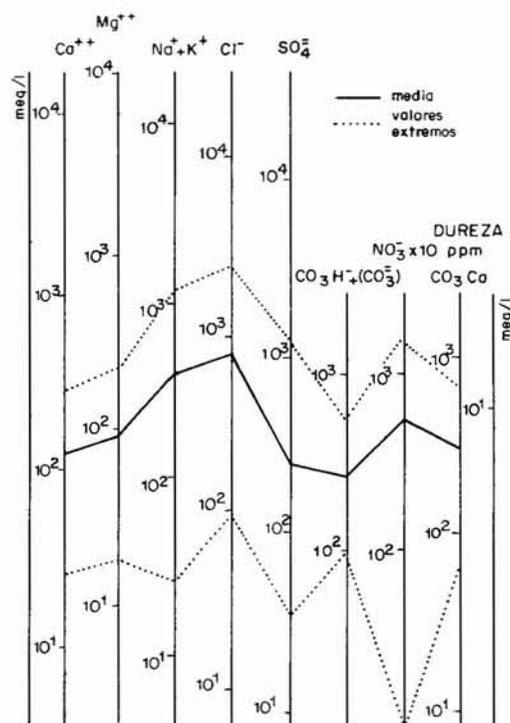


Fig. 6.—Diagrama logarítmico vertical.

valores inferiores a 500 junto al mar. Hacia el Este, por encima de La Mojonera, hay una banda de valores superiores a 1.000, para descender a valores inferiores a  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , y ascender de nuevo hasta valores superiores a  $2.000 \text{ mg.L}^{-1}$ .

En la figura 9 se incluye la distribución espacial de los valores del ion sulfato; al NNW de El Ejido corresponden los valores inferiores, extendiéndose hasta cerca de La Aldeilla. Hay un crecimiento continuado hasta valores superiores a  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  en la franja costera desde Balerma a Guardias Viejas. En el sector de La Aldeilla-Las Norias se produce un aumento, con dos umbrales en Las Marinas y en la franja E-W al Norte de la carretera de Las Norias.

En la figura 10, correspondiente a los bicarbonatos, se observa que los valores más bajos (inferiores a  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ ) se encuentran al Norte y Sureste y en algún punto en el sector central del acuífero. Los valores más altos se detectan en los alrededores de Balerma, Guardias Viejas y Las Norias y entre La Mojonera y Las Marinas.

##### Cationes

La distribución de valores de sodio más potasio es similar, como era de esperar, a la del ion cloruro. Los valores mínimos se registran en los alrededores

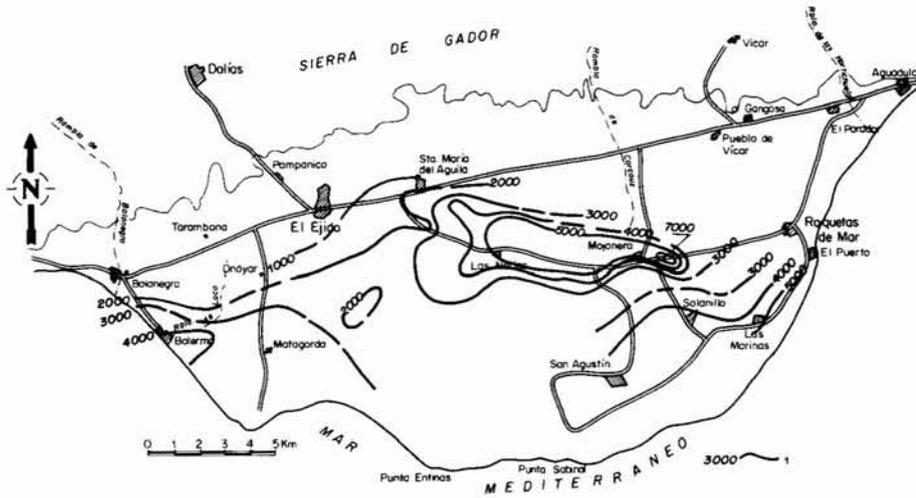


Fig. 7.—Distribución espacial de la conductividad (1: curva de igual valor de la conductividad en microS/cm).

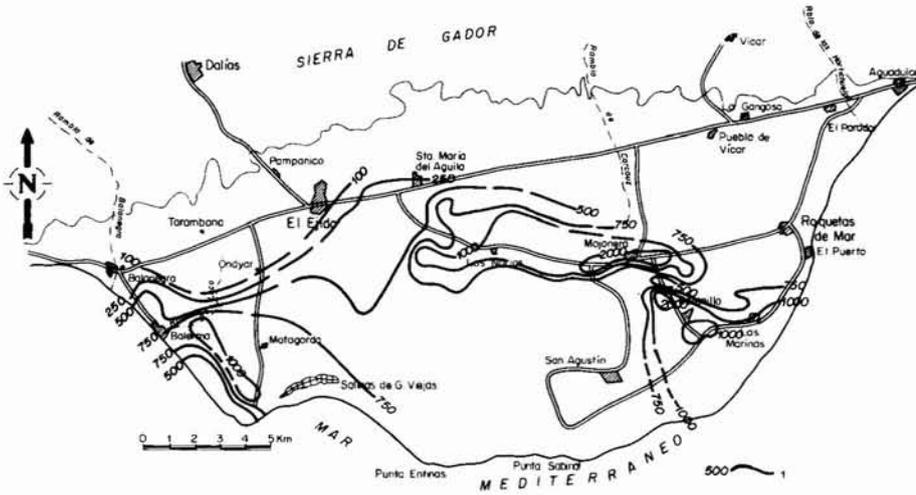


Fig. 8.—Variación espacial del contenido en ion cloruro (1: curva de igual concentración expresada en mg/l).

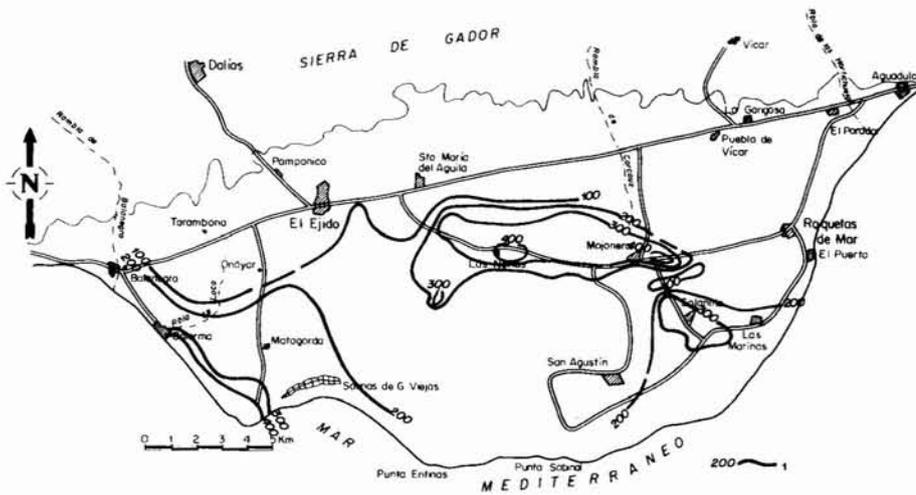


Fig. 9.—Variación espacial del contenido del ion sulfato (1: valores en mg/l).

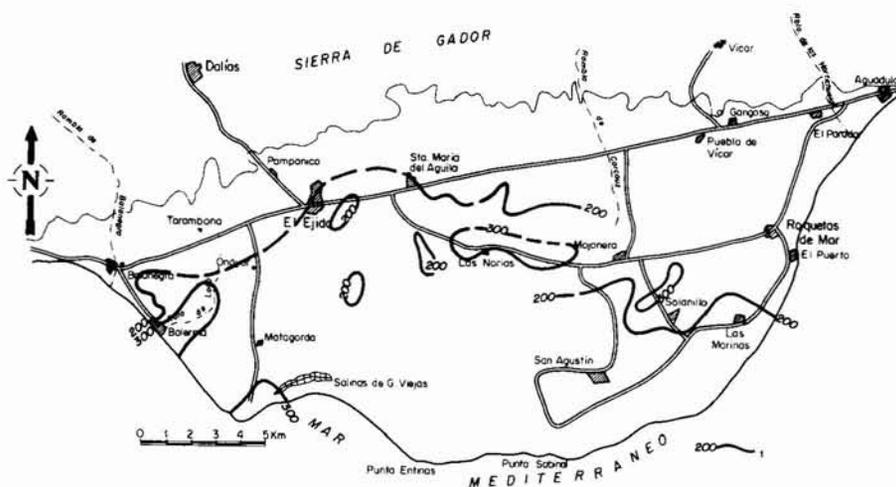


Fig. 10.—Variación espacial del contenido en ion bicarbonato (1: valores en mg/l).

de El Ejido y los más altos se sitúan en los alrededores de La Mojenera; el más elevado alcanza  $1.150 \text{ mg.L}^{-1}$  en esta última área. En cuanto al ion magnesio los valores más bajos se detectaron en el sector costero y en el borde NE del acuífero. Crecen hacia la costa de Balerna y hacia Las Marinas, con un umbral entre La Mojenera y Roquetas de Mar.

Los valores máximos de ion calcio se sitúan en los umbrales dibujados entre La Mojenera y Las Norias. El valor mínimo medio fue de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$ .

#### Valores de algunas relaciones iónicas

Los valores de la relación  $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$  están comprendidos entre 0,48 y 2,02. Recordemos que esta relación varía entre 0,3 y 1,5 en aguas continentales y es del orden de 5,2 para el agua de mar. Los valores mínimos en la relación  $r \text{Cl}^{-}/r \text{HCO}_3^{-}$  se sitúan en el borde NW del acuífero, entre Balanegra y El Ejido. Desde este sector, crecen hacia Balerna, Guardias Viejas y Las Marinas. Precisamente hacia Las Marinas se presentan tres umbrales con valores superiores a 10. Este índice hidrogeoquímico en aguas continentales varía entre 0,1 y 5, mientras que en agua del mar alcanza entre 20 y 50. Para este acuífero se obtienen valores próximos a este intervalo.

En la figura 11 se observa que los valores más bajos de la relación  $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^{-}$  se sitúan entre Las Norias y La Mojenera y el Sur de El Ejido; desde aquí se produce un aumento de valores hacia el Oeste entre Balerna y Guardias Viejas y entre Balanegra y El Ejido; también aumentan hacia el Este, dando un umbral entre El Ejido y Santa María del Águila; desde aquí hacia el Este la relación decrece, para

posteriormente ascender en los alrededores de Las Marinas.

#### Calidad en las aguas para diferentes usos

##### Calidad química para consumo humano

La práctica totalidad de las aguas de este acuífero (algo más del 95 %) resultan no potables. De manera general, refiriéndose a la composición media de las aguas de este acuífero, puede establecerse aproximadamente que los valores de conductividad eléctrica y del contenido en cloruro, sodio y magnesio duplican los límites máximos de potabilidad. Por el contrario, el calcio y el sulfato están por debajo. En lo que a componentes no deseables se refiere la concentración media de nitrato supera el máximo establecido; aunque en muchos puntos hay ausencia de nitrato, en otros se registran concentraciones muy altas; la media resulta ser ocho veces superior al límite máximo tolerable, de acuerdo con la Reglamentación Técnico-Sanitaria (1982).

##### Calidad para uso agrícola

Las aguas de este acuífero están incluidas en cinco grupos diferentes dentro de las normas Riverside. Desde el punto de vista de los valores de conductividad eléctrica, el riesgo de salinización del suelo es alto o muy alto. El índice SAR indica peligro de alcalinización del suelo desde bajo a alto.

Más del 75 % de las muestras analizadas en este acuífero presentan valores de conductividad superiores a  $2.200 \mu\text{mhos.cm}^{-1}$ , lo que las incluye en el gru-

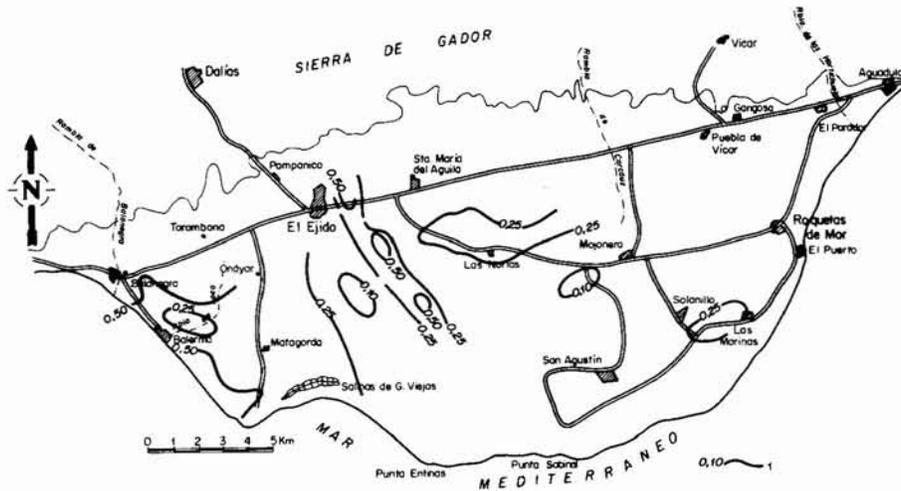


Fig. 11.—Variación espacial de los valores de la relación  $rSO_4^-/rCl^-$  (1: curva de igual valor).

po C<sub>4</sub>. El 60 % de las muestras de este acuífero registran valores del índice SAR entre 4 y 8. Así pues, las aguas corresponden mayoritariamente al grupo C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub> seguidas del C<sub>4</sub>-S<sub>3</sub>.

**Discusión final**

Resulta sorprendente que las aguas de un acuífero escasamente explotado en la actualidad registren valores de conductividad que localmente llegan a superar los  $8.000 \mu mhos.cm^{-1}$  (cercanía de Las Norias) y predominen las aguas de facies clorurada sódica. La hipótesis de pensar en procesos actuales de intrusión marina no tiene ninguna consistencia al no darse la condición hidrodinámica clave para ello («inversión del gradiente» continente-mar), ni concurrir otro elemento básico: existencia de continuidad hidráulica entre las calcarenitas y el mar.

Por todo ello se hace preciso invocar la existencia de otros procesos, estrechamente relacionados con la historia geológica más reciente del área (Pulido Bosch *et al.*, 1989); en efecto, tal y como indicamos en el epígrafe de geología, el área ha sufrido movimientos muy recientes (Goy *et al.*, 1986a y b). En el sector Guardias Viejas-Roquetas «... se ha producido desde hace 700 ka un basculamiento casi constante hacia el Norte de toda la zona costera a partir de un eje de flexión situado aproximadamente entre El Ejido y Roquetas de Mar. Ello ha cortado el acceso al mar de los barrancos que drenan la Sierra de Gádor» (Dabrio y Zazo, 1988). «Desde el Tirreniense (180 ka) se comenzaron a generar sistemas de islas barrera y lagoon en la Bahía de Guardias Viejas favorecidas..., sobre todo, por la presencia de fallas funcionales que enmarcan la bahía...» (*op. cit.*).

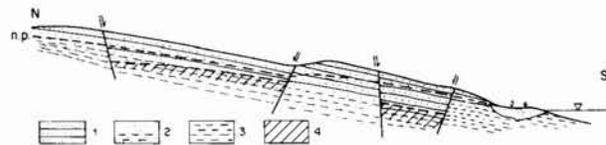


Fig. 12.—Corte esquemático mostrando la posible existencia de sectores saturados en aguas de elevado contenido salino (4) «entrampadas» por fallas. 1: calcarenitas; 2: arenas y margas (facies de transición); 3: margas azules.

La existencia de depósitos de playa a cotas variables dentro del campo unido a manifestaciones tectónicas recientes y a las peculiaridades litológicas del acuífero pueden estar en la base de las explicaciones de las anomalías hidrogeoquímicas detectadas. En efecto, ya indicamos que las calcarenitas alcanzan espesores variables de unos puntos a otros y dejan, en profundidad, de estar cementadas al tiempo que existe toda una facies de transición entre las arenas y las margas azules infrayacentes. Ello se traduce en la disminución notable de la permeabilidad en profundidad. La existencia de numerosos bloques dentro de las calcarenitas escasamente drenados explicaría los cambios hidrogeoquímicos más o menos bruscos, según el esquema conceptual de la figura 12.

De todo ello resulta, además, que algo más del 95 % de las muestras no son potables, de acuerdo con la normativa recogida en la Reglamentación Técnico-Sanitaria; superan los límites tolerables de conductividad, cloruro, sodio, magnesio y nitrato. En cuanto a su uso en regadío, la gran mayoría de las aguas plantean problemas de salinización del suelo y peligro de alcalinización medio alto.

## Referencias

- Aldaya, F.; Baena, J., y Ewert, K. (1983). Memoria y hoja geológica de Adra (1/50.000). MAGNA (1057). IGME. Madrid, 60 págs.
- Baena, J., y Ewert, K. (1983). Memoria y hoja geológica de Roquetas de Mar (1/50.000). MAGNA (1058). IGME. Madrid, 34 págs.
- Dabrio, C. *et al.* (1988). Riesgos geológicos en zonas litorales. En: *Riesgos geológicos*. IGME, 227-250.
- Domínguez, P.; Franqueza, P., y González, A. (1988). Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías y su entorno. TIAC'88, II: 69-144. Almuñécar (Granada).
- Fourniguet, J. (1975). *Néotectonique et Quaternaire marin sur le littoral de la Sierra Nevada, Andalousie (Espagne)*. Tesis Univ. Orléans, 234 págs.
- Fourniguet, J. (1977). Sur le Quaternaire marin et la néotectonique du Campo de Dalías (Andalousie, Espagne). *Acta Geol. Hispánica*, 12: 90-97.
- Goy, J. L., y Zazo, C. (1982). Niveles marinos cuaternarios y su relación con la neotectónica en el litoral de Almería (España). *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.)*, 80: 171-184.
- Goy, J. L., y Zazo, C. (1986). Western Almería (Spain) coast line changes since the last interglacial. *J. Coastal Research*, 1: 89-93.
- Goy, J. L. *et al.* (1986). Evolution des systèmes de lagoons-îles barrières du Tyrrehénien à l'actualité à Campo de Dalías (Almería, Espagne). *ORSTON. Lab. Trav. Doc.*, 197: 169-171.
- IGME (1982). Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería), 13 tomos (difusión restringida).
- Orozco, M. (1972). Los alpujárrides en Sierra de Gádor occidental. Tesis Doctoral Univ. Granada, 379 págs.
- Ovejero, G., y Zazo, C. (1971). Niveles marinos pleistocenos en Almería (SE de España). VIII Congreso INQUA, Roma. *Quaternaria*, 15: 145-159.
- Pulido Bosch, A. *et al.* (1987). *Caracterización hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería)*. IARA-Dpto. de Geodinámica de la Universidad de Granada, 238 págs., anex. y 56 pl.
- Pulido Bosch, A. *et al.* (1989). Consideraciones sobre algunas anomalías hidrogeoquímicas existentes en la unidad Balerna-Las Marinas (Campo de Dalías, Almería). *Geogaceta*, 6: 14-16.
- Reglamentación Técnico Sanitaria (1982). BOE.
- Thauvin, J. P. (1986). *Etude hydrogéologique, modélisation et gestion des aquifères du Campo de Dalías (province d'Almería, Espagne)*. Tesis Doctoral Univ. Niza, 525 págs.

Recibido el 12 de febrero de 1990  
Aceptado el 25 de julio de 1990