

CONSIDERACIONES SOBRE LA INTRUSION MARINA EN EL BORDE ORIENTAL DEL CAMPO DE DALIAS (ALMERIA)

Resumen

Introducción

El acuífero de Aguadulce

Estratigrafía

Tectónica

Hidrogeología

Características generales

El régimen del manto

Funcionamiento hidráulico

Características físico-químicas de las aguas

La intrusión marina

Variaciones espaciales

Variaciones temporales

Variaciones mensuales

Variaciones diarias

Registros de conductividad

Prospección geofísica eléctrica

Relaciones iónicas de interés

Conclusiones

Bibliografía

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

**CONSIDERACIONES SOBRE LA INTRUSION MARINA EN EL BORDE ORIENTAL
DEL CAMPO DE DALIAS (ALMERIA)**

Antonio PULIDO BOSCH*, Luis MOLINA*, Fernando NAVARRETE*,
José Luis MARTINEZ VIDAL**, Carlos ALONSO***,
José BENAVENTE* y Antonio MACIAS*

- Departamento de Geodinámica e IAGM, Universidad de Granada-CSIC
- ** Departamento de Química Analítica, Universidad de Granada
- *** Instituto Andaluz de Reforma Agraria, Delegación de Almería

RESUMEN

Se sintetizan los principales resultados obtenidos de los estudios llevados a cabo por investigadores del Departamento de Geodinámica y del Colegio Universitario de Almería, de la Universidad de Granada, en el marco del Convenio suscrito entre dicho organismo y el Instituto Andaluz de Reforma Agraria. Se comentan los resultados obtenidos en las redes de control hidrogeoquímico de periodicidad semestral, mensual y diaria, así como los resultados de los registros verticales de conductividad en algunos sondeos. Como complemento a los datos analíticos se muestran los resultados obtenidos en dos perfiles de SEV realizados ortogonalmente a la línea de costas, con los que se pretendió identificar el contacto agua dulce-agua salada.

INTRODUCCION

El Campo de Dalias se sitúa muy próximo al extremo suroccidental de la provincia de Almería, entre las cuencas vertientes de los ríos Adra y Andarax. Ocupa una superficie cercana a los 330 km². El límite septentrional está constituido por las estribaciones de la Sierra de Gádor, mientras que los bordes restantes los ocupa el mar Mediterráneo (figura 1).

Desde el punto de vista hidrogeológico se consideran tres unidades en el Campo (PULIDO BOSCH et al., 1987): Balerna-Las Marinas, que ocupa todo el sector central; Balanegra, que se sitúa en la mitad occidental; y Aguadulce, que corresponde aproximadamente con el área punteada de la figura 1.

Los estudios llevados a cabo por investigadores de la Universidad de Granada en el marco de un convenio de colaboración con el Instituto Andaluz de Reforma Agraria, han permitido caracterizar desde el punto de vista hidrogeoquímico a este sector del Campo. En esta comunicación sintetizamos los principales resultados obtenidos, haciendo un énfasis especial en lo relativo a los indicios de intrusión marina.

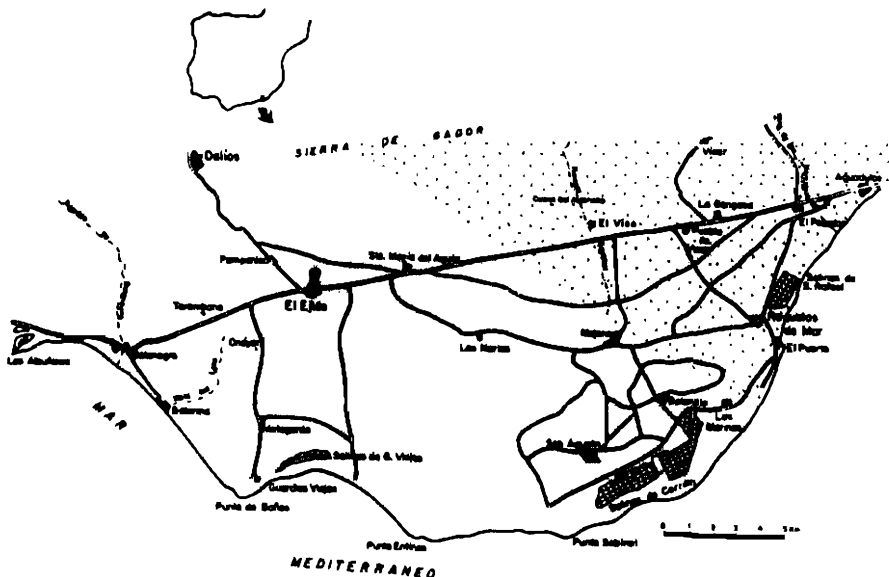


Figura 1.- El Campo de Dalías. El área punteada corresponde a la unidad de Aguadulce.

EL ACUIFERO DE AGUADULCE

El acuífero de Aguadulce está ubicado en el Noreste del Campo de Dalías y ocupa una superficie aproximada de 130 km². Desde el punto de vista geológico se localiza en el Sur de las Cordilleras Béticas y, dentro de éstas, en las zonas internas.

Estratigrafía

Los materiales aflorantes (figura 2), de más antiguos a más modernos, se pueden aglutinar en dos grandes grupos: materiales preorogénicos y materiales postorogénicos. Dentro de los primeros, afloran dos conjuntos de unidades alpujárrides (ALDAYA et al., 1983; BAENA et al., 1983): manto de Lújar (o Gádor; JACQUIN, 1970; ORZCO, 1972) y manto de Murtas (Felix).

Las unidades del manto de Lújar están constituidas por filitas, en la base, con intercalaciones de cuarcitas de colores azulados, que no afloran en el sector de Aguadulce; se les suele asignar una edad Permo-werfeniense. La transición de ese conjunto inferior hacia el tramo calizo-dolomítico superior se suele hacer mediante un tramo de calcosquistos y calizas margosas de color amarillo oscuro, con algunas intercalaciones dolomíticas. El resto superior de la serie es dolomítico con predominio de calizas hacia el techo. No se conoce la potencia precisa del conjunto carbonático, aunque posiblemente supere los 1.000 m. Su edad es Trías medio-superior.

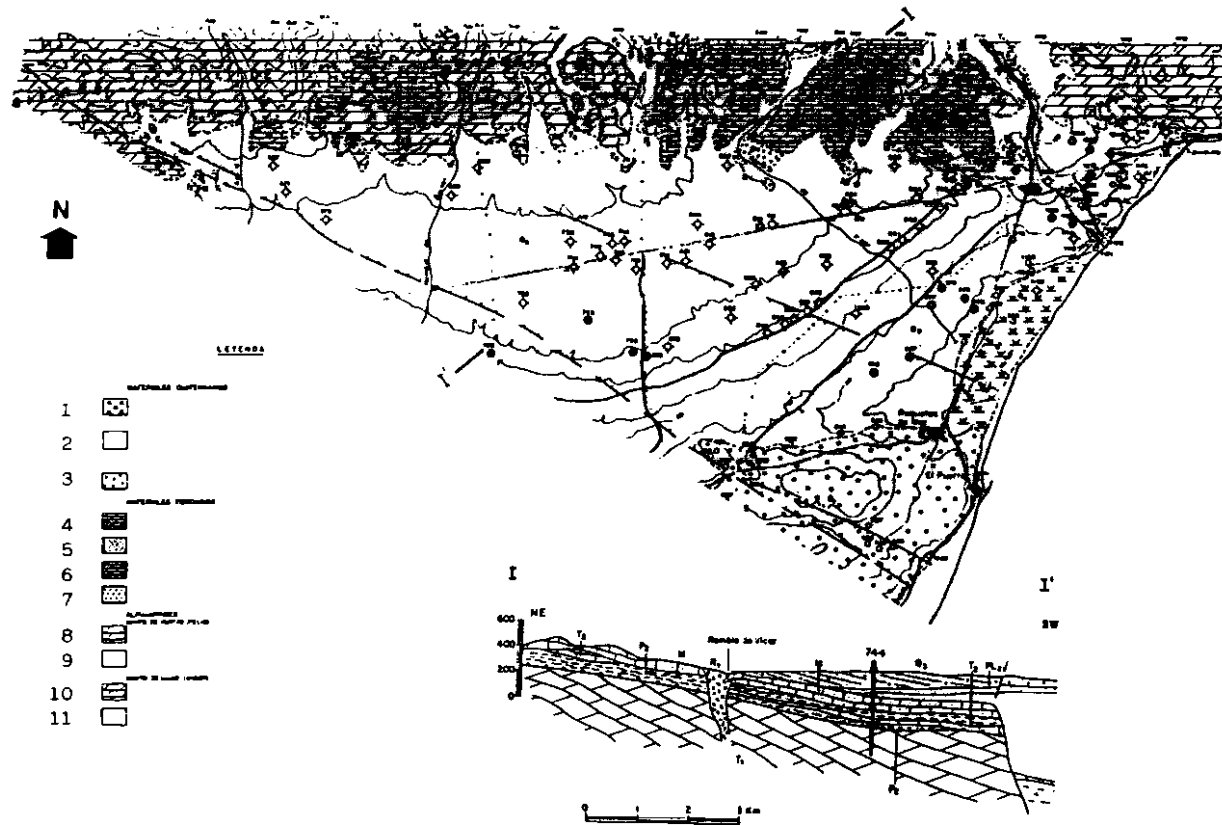


Figura 2.- Mapa y corte hidrogeológico. 1: Depósitos de marisma y albufera; 2: Gravas y arenas, grandes conos de deyección (Q_3); 3: Terrazas marinas; 4: Calcarenitas (PL_2); 5: Margas y margas arenosas; 6: Calcarenitas (M_1); 7: Rocas volcánicas (Rv); 8: Calizas y dolomías (T_1); 9: Filitas y cuarcitas; 10: Calizas y dolomías (T_2); 11: Filitas y cuarcitas (P_2).

En las unidades del manto de Murtas, al igual que en las del manto de Gádor, existe un tramo basal metapelítico y otro superior carbonático. El tramo basal está constituido por filitas, esquistos, arcillas y cuarcitas, de coloración morada y verdosa. Se intercalan algunos lechos de calcoesquistos amarillentos. El tramo carbonático superior presenta mucha menor potencia que su equivalente de Lújar, normalmente menos de 100 m. Lo constituyen dolomías y calizas recristalizadas, frecuentemente trituradas. Se le asigna edad Trías medio-superior.

Dentro de los materiales postorogénicos no se conocen en el área depósitos cuya edad esté comprendida entre el Trías superior y el Mioceno. Los materiales postorogénicos del Mioceno superior afloran de manera discontinua a lo largo del borde de la Sierra de Gádor, tanto sobre las calizas y dolomías como sobre las filitas y cuarcitas de ambos mantos. Tan sólo aparecen en las proximidades del pueblo de Vúcar sobre rocas volcánicas o conglomerados de cantos de lavas y tienen edad aproximada Tortoniense. La serie Tortoniense-Andaluciense está esencialmente constituida por dolomicritas o biomicritas con contenido variable en elementos detríticos (cantos de cuarzo y de rocas metamórficas y muchos restos de organismos) escasamente redondeados, con un tramo, sobre el conglomerado, que puede superar los 20 m de espesor. La potencia del conjunto miocénico puede ser superior a 100 m.

Los materiales pliocenos representan el Plioceno inferior y el medio sin que existan evidencias sobre el superior. Por datos de sondeos se conoce la existencia de un conglomerado basal, sobre el que se depositó una formación margosa marina, de espesor muy variable de unos puntos a otros que puede superar los 700 m; estas margas no afloran en el sector estudiado. Hacia el techo comienzan a aparecer elementos detríticos finos hasta dominar totalmente; son calcarenitas que culminan la formación. Llegan a sobrepasar 100 m de potencia y constituyen un relieve aflorante en toda la mitad meridional del Campo; no afloran en el sector de Aguadulce.

Una gran parte del sector estudiado está ocupada por grandes conos de deyección cuaternarios que se desarrollan en la falda de la Sierra de Gádor; están constituidos por cantos angulosos, muy heterométricos y localmente encostrados y alcanzan más de 150 m de espesor. En las proximidades de Roquetas de Mar, existen depósitos cuaternarios marinos más antiguos (FOURNIGUET, 1975). Además de los sedimentos cuaternarios citados existen algunos otros, cuyo desarrollo es escaso: depósitos limosos y fangosos relacionados con las salinas, dunas más o menos estabilizadas y sedimentos de playa que bordean al litoral actual.

Tectónica

La complejidad tectónica del área es grande. No se tienen evidencias, en los límites del área de estudio, de deformaciones intratriásicas; por el contrario, han sido numerosas las fases que han dado lugar a distintos tipos de esquistosidad de diversa naturaleza. Sin lugar a dudas el paroxismo más importante, en lo que a consecuencias se refiere, es el que dió lugar a la traslación de los mantos, Murtas sobre Lújar, según una superficie que corta a la estratificación de Lújar; ello es indicativo de la existencia de un relieve más o menos irregular previo a la traslación.

Las deformaciones neotectónicas son las que más contribuyen a dar al área su actual disposición; se deducen etapas de fracturación, basculamiento

y abombamientos. Después del Mioceno superior, el alto fondo de Gádor se fractura según la dirección N 70 E, es decir, paralelo al actual borde de la Sierra. Se trata de fallas normales de gran salto que dan lugar a una serie de compartimentos dentro de la cuenca. Tras esta etapa distensiva se produce la transgresión pliocena, con grandes acumulaciones de depósitos marinos, que fosilizan el relieve anteriormente formado; tras la regresión finipliocena, la llanura de abrasión generada es afectada por fallas de las que se pueden diferenciar al menos tres generaciones:

- fallas de dirección N 25 E o N-S que dan escarpes, algunos muy notables, cuyo labio hundido es el occidental.
- fallas de dirección E-W responsables, en cierta medida, de la existencia de una gran cuenca endorréica central.
- fallas de dirección N 120 E; es la etapa de fracturación más reciente, afectando a los sedimentos marinos cuaternarios e incluso a los conos de deyección.

Hidrogeología

Características generales

El IGME -en su informe de 1982- denomina al acuífero en cuestión, acuífero del Sector Noreste. Le asigna un comportamiento de sistema multicapa con dos acuíferos, constituido el más inferior por las dolomías de Gádor y el superior por las formaciones terciarias y cuaternarias y, en su caso, por retazos dolomíticos del manto de Felix; estos últimos materiales, junto con la cobertera miocénica, son diferenciados recientemente por miembros del IGME (DOMINGUEZ et al., 1987) como acuífero intermedio del Sector Noreste. Por nuestra parte, tras analizar toda la información geológica e hidrogeológica disponible, hemos diferenciado una unidad hidrogeológica que coincide sensiblemente con la establecida por el IGME, aunque hemos preferido emplear el nombre local de acuífero de Aguadulce para su denominación.

En lo relativo al comportamiento hidrogeológico de los materiales del Campo, dentro de las unidades del manto de Lújar (o Gádor), las filitas y cuarcitas basales, así como el tramo de calcoesquistos y calizas margosas de la base de la serie carbonática, tienen comportamiento acuicludo; la serie carbonática del manto de Lújar, calizas y dolomías, se comporta como acuífero por fisuración y karstificación. En las unidades del manto de Murtas (o Felix), el tramo basal, constituido por filitas, esquistos arcillosos y cuarcitas con intercalaciones de calcoesquistos, tienen comportamiento acuicludo; el tramo carbonático tiene comportamiento acuífero, con elevada permeabilidad (IGME-IRYDA, 1977).

Los materiales postorogénicos más antiguos son las margas con yesos y conglomerados, sólo reconocidos en algunos sondeos profundos; las facies más distales pueden considerarse como de comportamiento acuicludo, pasando hacia acuitardo y acuífero pobre, a medida que nos aproximamos al borde de la cuenca. Las calcarenitas miocenas tienen comportamiento acuífero, con porosidad intergranular, fisuración y con procesos de karstificación, que contribuyen a incrementar su permeabilidad. Los conglomerados de rocas volcánicas y las propias rocas volcánicas, se comportan como acuífero pobre (OLLERO y GARCIA, 1981). El conglomerado basal plioceno, cuya geometría se

desconoce, se comporta como acuífero, y la potente serie margosa, como acuícludo. Las calcarenitas que culminan la serie de esta edad tienen comportamiento acuífero.

De entre los materiales cuaternarios presentes en este sector del Campo de Dalías, hay que destacar las gravas con arenas y con materiales más finos, localmente encostrados, que constituyen los conos de deyección que cubren la falda de Sierra de Gádor, tienen comportamiento acuífero y son altamente permeables por porosidad intergranular. Los depósitos limosos relacionados con las salinas tienen comportamiento entre acuitardo y acuícludo, mientras que los dunas y los depósitos de playa actuales se comportan como acuífero, aunque no adquieren desarrollo considerable.

Sin lugar a dudas esta unidad hidrogeológica tiene gran complejidad tectónica y su geometría no está bien conocida. En cortes verticales, se suceden varias formaciones acuíferas separadas por otras tantas de baja permeabilidad, dando lugar a un auténtico sistema multicapa; sin embargo, lateralmente se pueden acuñar algunas de ellas de manera más o menos brusca; en medio de todo esto se encuentran las rocas volcánicas, de geometría escasamente conocida.

En el acuífero de Aguadulce, los materiales del manto de Felix adquieren un amplio desarrollo y descansan sobre los de Gádor; el tramo carbonático de Felix, mucho menos potente que el de Gádor, está separado de éste por un tramo basal de filitas, por lo que cuando están presentes ambos, existen dos niveles acuíferos individualizados; en relación con los tramos carbonatados de uno u otro manto existen, en conexión hidráulica, las calcarenitas miocenas, éstas pueden estar a veces directamente sobre las filitas de Felix, allí donde el tramo carbonático no existe. Sobre ambos tramos carbonatados, con o sin las calcarenitas citadas, se pueden encontrar las margas pliocenas, sobre las que reposan calcarenitas pliocenas y materiales detríticos más modernos; en este caso se tendrá un primer acuífero libre, un acuífero intermedio y un acuífero inferior; lateralmente, donde no está presente el manto de Felix, existirá sólo el superficial y el profundo, aunque ambos están a veces en contacto hacia el borde septentrional, donde las margas pliocenas se acuñan.

El régimen del manto

A partir de datos suministrados por el IGME, fue posible obtener unos trazos orientativos de las curvas isopiezas correspondientes a Febrero de 1984. Su aspecto más significativo es la existencia de un gran conoide situado junto al borde de la carretera nacional en Mojonera, donde se miden valores por debajo de 20 m; dicho conoide tiene un radio de más de 3 km, todo bajo el nivel del mar, con un gradiente en sentido W-E de 0,6 %. Hacia el W de esta depresión se miden valores superiores a 5 m s.n.m. en las estratificaciones de la Sierra de Gádor. En las proximidades de Aguadulce se observa que la curva cero se encuentra a algo menos de 1 km de la costa.

De los datos disponibles en Mayo de 1986, en una franja paralela al mar de algo más de 2 km, entre Roquetas de Mar y Aguadulce, se constata que se ha producido un cambio notable en la piezometría, con valores generalizados bajo el nivel del mar, aunque no más de 1 m. Los datos obtenidos no permiten reconocer la evolución del gran conoide puesto de manifiesto anteriormente. Algo similar sucede con los valores medidos en Noviembre de 1986. De un

periodo a otro se observa una mayor inversión del gradiente mar-continente (0,1 % de valor medio), o si se quiere un posible avance de la cuña salina hacia el interior del continente; en las proximidades de Aguadulce en Febrero de 1984 se medían valores de 1 a 2 m s.n.m., mientras que en Noviembre de 1986 todo el sector se encuentra bajo el nivel del mar.

Se ha detectado la existencia de una tendencia general al descenso, más amortiguado en el área de Roquetas de Mar, por su mayor proximidad al mar. Las fluctuaciones máximas interanuales e hiperanuales se localizan en el área del Aguila (entre + 3 m y + 5 m), seguido del área del Viso, con medidas bajo el nivel del mar a partir del año 1977. De todo lo expuesto parece claro que esta unidad hidrogeológica está sometida a sobreexplotación, lo cual trae consigo el descenso más o menos continuado de los niveles, con el consiguiente riesgo de intrusión marina.

Funcionamiento hidráulico

El funcionamiento hidráulico general de esta unidad es muy complejo, reflejo de la complejidad geométrica, y exagerado en la actualidad como consecuencia de la sobreexplotación. En efecto, muy posiblemente, en régimen natural, el conjunto presentaba un nivel piezométrico único, con salida hacia el mar concentrada en el área de Aguadulce. Los acusados bombeos han individualizado niveles acuíferos en una misma vertical, al ceder agua las formaciones presentes con diversa velocidad; el resultado puede ser la generación de apilamiento de formaciones acuíferas "multilibres" con drenajes diferidos a lo largo de las paredes de las propias formaciones o por goteo a través de los tramos semiconfinantes.

Las calizas y dolomías de Gádor, frecuentemente unidas a las calcarenitas miocenas, constituyen la formación acuífera principal y definen una subunidad confinada en la mitad meridional del área, y libre en el resto, salvo bajo parte del recubrimiento de los materiales del manto de Felix.

El IGME (1982) dedujo que las fuentes de alimentación son: infiltración a partir de la lluvia caída sobre la unidad y de la escorrentía procedente de los bordes; retorno de regadíos y de aguas residuales urbanas; y entradas laterales ocultas. Las salidas en la actualidad se ciñen prácticamente a las extracciones por bombeo, dado que las salidas subterráneas hacia el mar pueden considerarse despreciables.

Según el citado organismo las entradas por infiltración, tanto de la lluvia como de la escorrentía de los bordes, son del orden de $11 \text{ Hm}^3/\text{año}$, que corresponden en su mayor parte a alimentación del acuífero "Superior"; la alimentación lateral oculta, a partir del acuífero de Balerna-Las Marinas, con el que se pone en contacto a lo largo del borde suroccidental, se calcula, a partir de la ley de Darcy, en $0,4-1,3 \text{ Hm}^3/\text{año}$. El retorno de regadío se considera comprendido en el intervalo $1-2 \text{ Hm}^3/\text{año}$. Las entradas medias anuales serían cercanas a 15 Hm^3 . Las extracciones fueron evaluadas detenidamente en los años 1980-81 y 1981-82, obteniendo un valor similar en ambos, en torno a 45 Hm^3 de los que aproximadamente la mitad se estima que proceden del acuífero superior.

Estas cifras muestran un notable desequilibrio entre entradas probables y salidas reales, traducido en el descenso continuado de los niveles con vaciado de las reservas.

Características físico-químicas de las aguas

A lo largo de dos muestreos semestrales se ha determinado la temperatura del agua subterránea en 169 puntos. El valor medio obtenido es de 21,2°C. El rango de valores de la conductividad eléctrica, está comprendido entre 400 y 33.000 micromhos/cm; el valor medio es de 3.850 micromhos/cm. Los valores más elevados corresponden, en su mayoría, a piezómetros de la red de control de la intrusión marina realizados por el IGME y destinados, sobre todo, a ilustrar las variaciones espaciales y temporales en la posición de la interfase agua dulce-agua marina. Eliminados estos puntos, se ha comprobado que la conductividad eléctrica registra una notable disminución; el límite superior, que es ahora de 15.000 micromhos/cm, indica que existen otras captaciones en el acuífero con influencia neta del agua salobre de la interfase, además de los piezómetros destinados específicamente a su control.

Debido a la existencia de una gran variedad de formaciones dentro de la unidad, se detectan contenidos salinos muy diversos en las aguas subterráneas. Las aguas en relación con los materiales más transmisivos (dolomías de Gádor, calcarenitas miocenas, tramo carbonático del manto de Felix) presentan bajo contenido total de sólidos disueltos, en general inferior a 750 mg/l, y facies bicarbonatada cálcico-magnésica o magnésicocálcica. En relación con los materiales pliocenos, de menor valor de transmisividad y por tanto de flujo mucho más lento, las aguas presentan mayor contenido salino, creciente en el sentido de la escorrentía subterránea. Hacia el borde marino, donde existen sectores con salinas y depósitos cuaternarios limosos empapados en aguas salobres, aumenta aún más la concentración salina del agua, que llega a tener facies clorurada sódica. Esta facies, que tenía un origen natural, comienza a detectarse también en relación con posibles procesos de intrusión marina, como se expondrá más adelante.

De acuerdo con los diagramas elaborados (PULIDO BOSCH et al., 1987), en lo que respecta a los aniones, se constata que predominan claramente (del orden del 80 % de los puntos) las aguas de facies clorurada. En el resto de los puntos domina la facies mixta o la bicarbonatada. El sodio es el catión predominante (70 %).

Los valores medios de las concentraciones de cloruros y de sodio son de 950 mg/l y de 500 mg/l, respectivamente, mientras que los de bicarbonato y de calcio, varían alrededor de 200 a 250 mg/l y de 75 a 125 mg/l respectivamente. Los dos iones mayoritarios menos abundantes en el acuífero son sulfato y magnesio, con contenidos medios de 180 mg/l para el primero y 80 mg/l para el segundo. Los nitratos son el constituyente iónico secundario de mayor importancia; su contenido varía entre 140 mg/l y 84 mg/l. El potasio registra valores medios de concentración del orden de 15 mg/l.

LA INTRUSION MARINA

Como ya hemos indicado en otra comunicación (PULIDO BOSCH et al., 1988), se diseñó una red de control semestral y otra mensual, de 169 y 14 puntos acuíferos respectivamente, para la caracterización hidrogeoquímica, espacial y temporal del Campo de Dalias; expondremos algunos de los datos obtenidos y desarrollaremos más ampliamente los aspectos que aportan más información en este sentido.

Variaciones espaciales

En la figura 3 se observa que los valores de conductividad, correspondientes al muestreo Noviembre-Diciembre de 1986, de las aguas del acuífero de Aguadulce, aumentan en general de Oeste a Este, desde valores superiores a 500 micromhos/cm hasta valores comprendidos en el intervalo 4.000 a 7.000 micromhos/cm junto a la costa. Existe un umbral desde La Gangosa hacia el Suroeste, con un máximo de 14.500 micromhos/cm, aparte de los piezómetros del IGME.

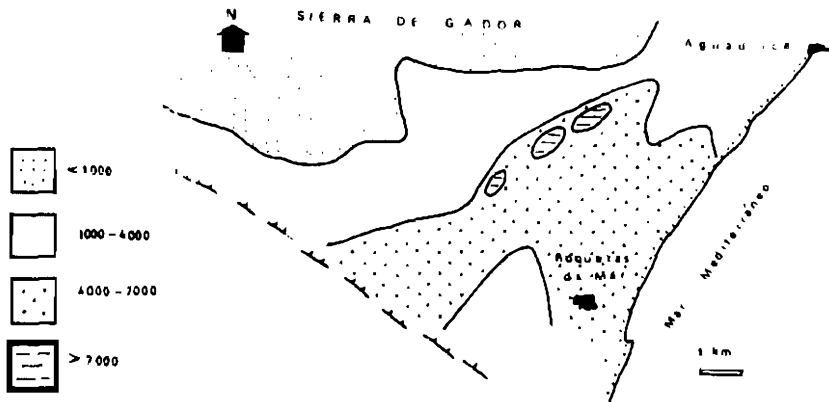


Figura 3.- Distribución espacial de los valores de la conductividad de las aguas (micromhos/cm).

La distribución areal de estos valores (figura 4) se corresponde sensiblemente con la distribución de la conductividad. Los valores más bajos se sitúan al Oeste del sistema; hacia el Este se registra un crecimiento del contenido en este ión; en el área de La Gangosa hay una franja de valores por encima de 1.000 mg/l, con dos umbrales superiores a 2.000 mg/l; más hacia levante tenemos valores en el intervalo 500 a 1.000 mg/l, para ascender en el sector próximo a Roquetas de Mar con valores superiores a 2.000.

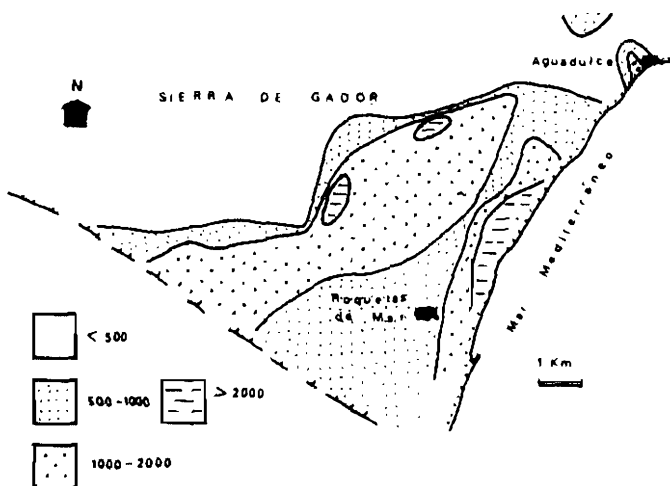


Figura 4.- Contenido en ión cloruro de las aguas (mg/L).

Variaciones temporales

Variaciones mensuales

De los puntos en que se ha mantenido un control mensual, las variaciones de conductividad registradas presentan pautas diferentes. Para algunos puntos no se identifican, para el citado nivel de control, oscilaciones importantes en los valores de conductividad eléctrica; en los gráficos que representan la evolución de esta variable se denota un ligero y progresivo ascenso, de manera que los valores del final del control son semejantes o algo superiores a los del comienzo. Algunos de los puntos presentan un ascenso progresivo, con algunas fases de estabilización (PULIDO BOSCH et al., 1987).

En lo que respecta a las variaciones de los iones controlados mensualmente, cabe señalar que el ión predominante (cloruro) sigue una evolución sensiblemente similar a la ya descrita para la conductividad; el catión predominante en el acuífero (sodio) está relacionado con la evolución del anión cloruro. En la figura 5 se puede observar la evolución mensual de los valores de conductividad y del contenido en los distintos iones, obtenidos durante un año de muestreo y referentes al punto acuífero nº 956, situado en los alrededores de Gangosa.

Variaciones diarias

El análisis de los registros diarios de conductividad eléctrica y del contenido en cloruros (figura 6), pone de manifiesto incrementos significativos en estas dos variables durante el periodo de control. Se pueden distinguir diferencias en las evoluciones diarias de unos sectores a otros. Las evidencias más alarmantes proceden, sobre todo, de las captaciones del sector de Gangosa.

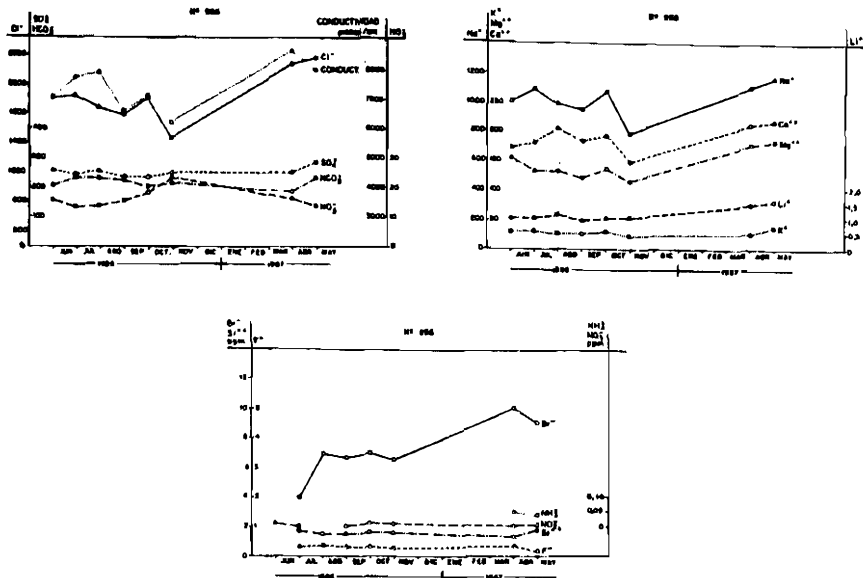


Figura 5.- Evolución mensual de parámetros físicos y químicos de las aguas del punto 956.

Los puntos de control números 845, 959 y 961 señalan tendencias a lo largo del periodo de registro que suponen incrementos del orden de 700 micromhos/cm de conductividad y de 400 mg/l de cloruros. Estas tendencias se superponen a los ya de por sí muy altos valores absolutos en tales variables. Así, por ejemplo, en los puntos controlados en este sector, la conductividad supera los 5.000 micromhos/cm. Algo semejante sucede, aunque con incrementos más moderados en cloruros, en la mitad oriental de este acuífero (puntos acuíferos números 1035, 1063 y 1092).

En cualquier caso, los datos de los controles diarios ponen de manifiesto una progresión del proceso de salinización del agua aluminada en estas captaciones, por influencia de la zona de mezcla en relación con la interfase agua dulce-agua marina. Este proceso debe de estar inducido por la formación de conos de ascenso del agua salobre que subyace bajo las captaciones, por haberse sobrepasado un cierto caudal crítico de explotación en las mismas.

Registros de conductividad

Se han hecho registros verticales de conductividad y temperatura en ocho captaciones del acuífero de Aguadulce. A modo de ejemplo, describimos el gráfico de registro vertical del punto acuífero n° 1132 (figura 7).

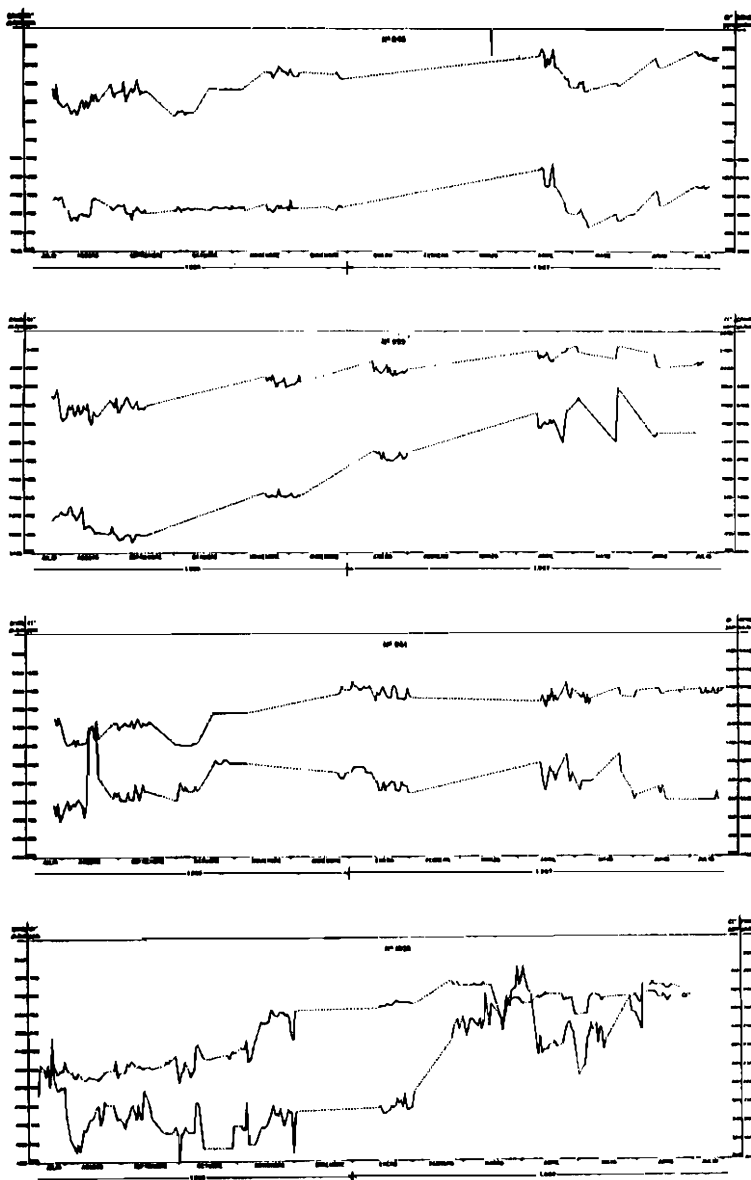


Figura 6.- Variaciones de la conductividad y Cl^- en las aguas de cuatro puntos de la red diaria.

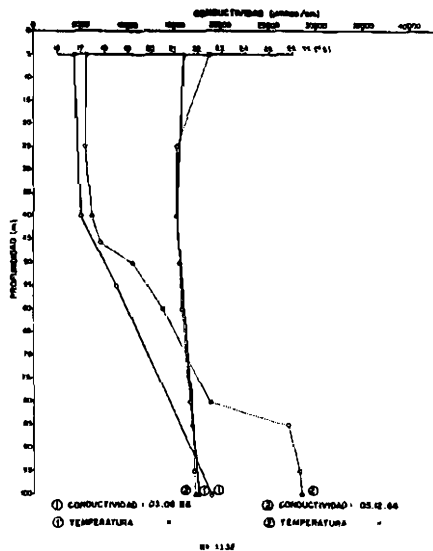


Figura 7.- Evolución en profundidad de la temperatura y la conductividad de las aguas del punto 1132.

Este sondeo de investigación del IGME, perforado para control de la intrusión marina, tiene una profundidad de 135 m; su cota de referencia es 4,9 m. En la fecha 3.06.86 se encontró el nivel piezométrico a 4,85 m de profundidad, donde la conductividad medida era de 4.200 micromhos/cm. El valor de este parámetro aumenta hasta 19.310 micromhos/cm a 100 m de profundidad. Los valores de temperatura medidos a lo largo de esos 100 m de columna eran próximos a 21,5°C. El 5.12.86 la conductividad medida a la profundidad de 4,9 m, donde se encontraba el nivel piezométrico fue de 5.480 micromhos/cm, para crecer hasta 28.800 micromhos/cm a 100 m. La temperatura medida fue del orden de 21,5°C. Este punto, pues, capta agua salobre y la cuña salina se corta a partir de una profundidad próxima a 50 m. Sin embargo, cuando se realizó, en Mayo de 1981, captaba agua dulce.

Prospección geofísica eléctrica

Se realizaron nueve SEV para el seguimiento del contacto agua dulce-agua salada; su situación se muestra en la figura 8. La interpretación cualitativa ha consistido en la realización de perfiles de resistividad. La morfología de las curvas isorresistivas es como sigue: en el Perfil III, bajo los SEV 10, 11, 12 y 13 los valores medidos son superiores a 50 ohmios.m; sin embargo en el SEV 14 no se llegan a medir valores superiores a 10 ohmios.m, como consecuencia de la existencia de fangos limosos posiblemente saturados en agua de elevado contenido salino. En el Perfil IV los valores máximos y mínimos medidos corresponden al SEV 17; la existencia de gravas no saturadas en superficie, con escaso contenido en elementos finos,

justifica los valores superficiales elevados de la resistividad. En los SEV 15 y 16 de este perfil se constata la existencia de un suelo inicial arcilloso-limoso que da lugar a valores bajos de la resistividad en superficie.

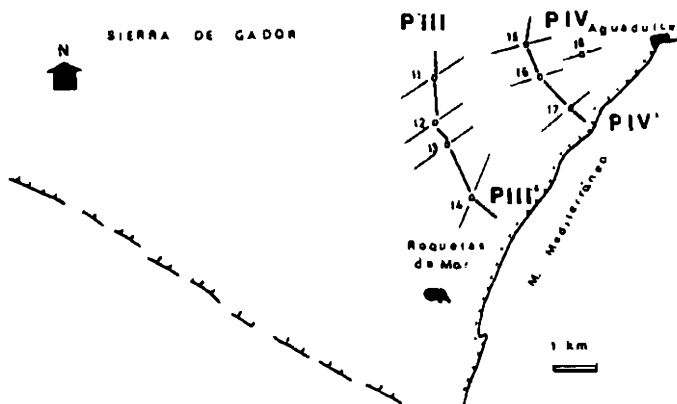


Figura 8.- Localización de los SEV realizados.

En resumen, los dos perfiles de resistividad, trazados con los datos de los SEV realizados, muestran como se produce una disminución generalizada de los valores de la resistividad desde el interior del continente hacia el borde del mar y de superficie a profundidad.

Con los datos finalmente aceptados como válidos, hemos elaborado los cortes geoelectricos que se muestran en la figura 9, los cuales han sido también interpretados desde el punto de vista geológico. En los dos perfiles representados se ha dibujado toda una franja ocupada por un conductor que ha sido asimilado a un material saturado en agua de elevado contenido salino. Además de esa capa geoelectrica, cuyos valores son en general inferiores a 10 ohmios.m, aunque se han incluido algunos de hasta 20 ohmios.m, hemos diferenciado otras cuatro; una capa superficial integrada por gravas y arenas, con proporciones variables de limos y arcillas, que hace que cubran una gran gama de valores de resistividad. En efecto, se han incluido dentro de ella valores de 6.200 ohmios.m, junto a otros de menos de 50; los extremos corresponderían a gravas secas y arenas arcillosas, respectivamente, con todas las mezclas intermedias que permitan cubrir tan amplia gama de valores de resistividad.

Otro nivel diferenciado ha sido el correspondiente a valores de resistividad inferiores a 30 ohmios.m, interpretado como constituido por arcillas y limos esencialmente; dado que ha sido asignado a una litología dada, su posición puede ser variable de unos SEV a otros; es decir, puede tratarse de edades diferentes en cada caso. Los otros dos niveles diferenciados serían resistivos, aunque se han estimado edades diferentes; en efecto, se trata de las calcarenitas pliocenas y de las calcarenitas

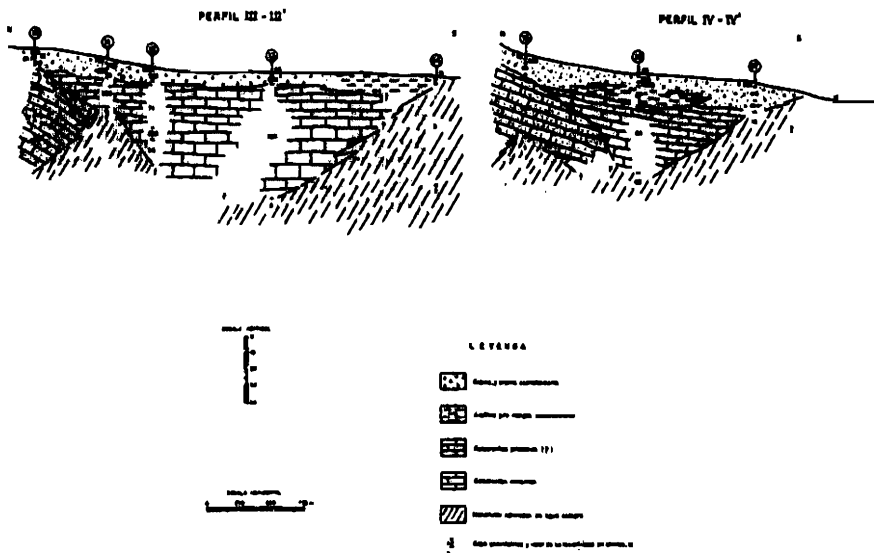


Figura 9.- Interpretación geológica de los perfiles geoelectricos.

miocenas, aunque la asignación se hace con todas las reservas. Los valores de resistividad para cada nivel se solapan ampliamente; en el caso de las calcarenitas pliocenas se han considerado valores comprendidos entre 950 y 54 ohmios.m; el límite inferior correspondería a la existencia de lechos margosos intercalados. El tramo asignado a calcarenitas miocenas presenta valores de resistividad comprendidos entre 390 y 207 ohmios.m.

En los dos perfiles realizados se considera muy acusada la influencia de la interfase. En efecto, bajo el SEV 11, ubicado a unos 3 km del litoral, se detecta la existencia de un conductor a escasa profundidad, interpretado como un cono salino relacionado con los bombeos intensivos de los sondeos de ese sector. Bajo el SEV 12, más cercano al mar, por el contrario, el conductor se detecta a mucha mayor profundidad (unos 75 m), aunque también debe corresponder a agua salobre. En el perfil IV y bajo el SEV 15 parece detectarse un esquema similar al del Perfil III, con existencia de un cono salino cuyo vértice se encontraría a 50 m de profundidad.

Relaciones iónicas de interés

Los valores de la relación rMg/rCa alcanzan 3,7 en el mismo área anteriormente señalada como afectada por conos salinos, al tiempo que la superficie ocupada por el intervalo 1-2 es muy amplia; parece pues que los valores de esta relación iónica corroboran lo que otros métodos denuncian. En este sentido apuntan los valores de la relación rCl/rCO_3H que confirman la existencia de los conos salinos, al tiempo que arrojan valores muy altos en los piezómetros de control de la intrusión marina del IGME. La relación rSO_4/rCl confirma lo deducido para las otras dos relaciones.

CONCLUSIONES

La geometría de la unidad de Aguadulce es quizás la más compleja de las tres diferenciadas en el Campo de Dalías. Los indicios de sobreexplotación son muy acusados, con existencia de amplias áreas que registran niveles piezométricos por debajo del nivel del mar. La conductividad de las aguas de esta unidad cubre un rango de valores comprendido entre 400 y 35.000 micromhos/cm, con un valor medio de 3.500. Aunque en esta unidad se registra una gran gama de facies, son más abundantes las muestras que presentaban facies clorurada sódica, siendo también ésta la facies media resultante; tan sólo los puntos más cercanos al borde de la Sierra de Gádor presentan facies bicarbonatada cálcico-magnésica.

El proceso de contaminación más grave en todo el Campo de Dalías es el debido al desplazamiento del agua dulce continental por agua marina. Hay numerosas evidencias, tanto hidrodinámicas (inversiones del gradiente hidráulico) como hidrogeoquímicas (aumentos notables de la conductividad y de los cloruros de las aguas), de intrusión marina en la unidad de Aguadulce; es mucho más visible desde el punto de vista hidrogeoquímico y se manifiesta tanto en el avance de la interfase a lo largo del borde litoral como en la aparición de conos salinos; tal es el caso de las captaciones próximas a Gangosa en los que se ha puesto de manifiesto el progresivo aumento del proceso de salinización, en base a los resultados de los muestreos diarios y los otros tipos de controles.

BIBLIOGRAFIA

- ALDAYA et al. (1983). Memoria y Hoja Geológica de Adra 1/50.000. MAGNA. IGME, 60 p. Madrid.
- BAENA, J. et al. (1983). Memoria y Hoja Geológica 1/50.000 Roquetas de Mar. MAGNA. IGME, 34 p. Madrid.
- DOMINGUEZ, P. y GONZALEZ, A. (1987). Intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). Hidrogeol. y Rec. Hidr. XII: 101-115. Mallorca.
- FOURNIGUET, J. (1975). Néotectonique et Quaternaire marin sur le littoral de la Sierra Nevada, Andalousie (Espagne). Tesis Univ. Orléans, 234 p.
- IGME-IRYDA (1977). Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur. Almería (Difusión restringida).
- IGME (1982). Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería). (Difusión restringida).
- JACQUIN, J.P. (1970). Contribution à l'étude géologique et minière de la Sierra de Gádor (Almería, Espagne). Tesis Univ. Nantes. 501 p.
- OLLERO, E. y GARCIA, J. (1981). Posición de las rocas volcánicas en el Campo de Dalías (Almería), su incidencia en el comportamiento hidrogeológico del sector. Simp. Agua Andalucía, I: 357-369. Granada.
- OROZCO, M. (1972). Los alpujárrides en Sierra de Gádor Occidental. Tesis Univ. Granada. 379 p.

PULIDO BOSCH, A. et al. (1987). Caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalias (Almería). IARA-Dpto. de Geodinámica, Univ. de Granada.

PULIDO BOSCH, A. et al. (1988). Metodología del estudio de intrusión marina del Campo de Dalias (Almería). TIAC'88.