

# **ESTADO DE LA INTRUSION MARINA EN LA UNIDAD DE BALANEGRA (CAMPO DE DALIAS, ALMERIA)**

**Resumen**

**Introducción**

**El marco geológico**

**Principales rasgos hidrogeológicos**

**Parámetros controlados y principales resultados obtenidos**

***Distribución espacial de la conductividad***

***Algunas relaciones iónicas de interés***

***Muestreos diarios***

***Registros verticales de conductividad y temperatura***

***Prospección geofísica eléctrica***

**Conclusiones**

**Bibliografía**

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

**ESTADO DE LA INTRUSION MARINA EN LA UNIDAD DE  
BALANEGRA (CAMPO DE DALIAS, ALMERIA)**

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

\* Departamento de Geodinámica e IAQM, Universidad de Granada-CSIC

\*\* Departamento de Química Analítica, Universidad de Granada

\*\*\* Instituto Andaluz de Reforma Agraria, Delegación de Almería

**RESUMEN**

La gran complejidad hidrogeológica de este área, con existencia de diversas formaciones acuíferas triásicas, miocenas, pliocenas y cuaternarias, unida a la actuación de numerosas fracturas que compartimentan estas formaciones, hacen que la determinación de la posición del contacto agua dulce-agua salada sea extremadamente difícil de establecer. Se comentan los resultados obtenidos en las redes de control semestral, mensual, diario, perfiles de conductividad en piezómetros, así como el complemento de la prospección geofísica eléctrica realizada a lo largo de dos perfiles.

**INTRODUCCION**

Un grupo de investigadores de la Universidad de Granada lleva varios años estudiando la caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalias, con un énfasis especial en los procesos de intrusión marina. Dichos estudios se enmarcan en el convenio firmado por el Instituto Andaluz de Reforma Agraria y el ex-Departamento de Hidrogeología (actual Departamento de Geodinámica) de la Universidad de Granada, con la activa participación de miembros del Colegio Universitario de Almería.

Dentro del Campo de Dalias se diferencian, desde el punto de vista hidrogeológico, tres unidades, de características internas muy complejas en dos de ellas (IGME-IRYDA, 1977; IGME, 1982; THAUVIN, 1986; DOMINGUEZ y GONZALEZ, 1987); acuíferos de Balerna-Las Marinas, Balanegra y Aguadulce (PULIDO BOSCH et al., 1987); estas unidades coinciden sensiblemente con las denominadas por el IGME "acuífero superior central", "acuífero inferior occidental" y "acuífero del sector noreste", respectivamente.

Los datos aquí expuestos se refieren al acuífero de Balanegra (figura 1); esta unidad ocupa una superficie cernana a 195 km<sup>2</sup>, de los que aproximadamente la mitad se encuentran cubiertos por el acuífero de Balerna-Las Marinas, y separado de él por un tramo margoso que los individualiza en su mayor parte.

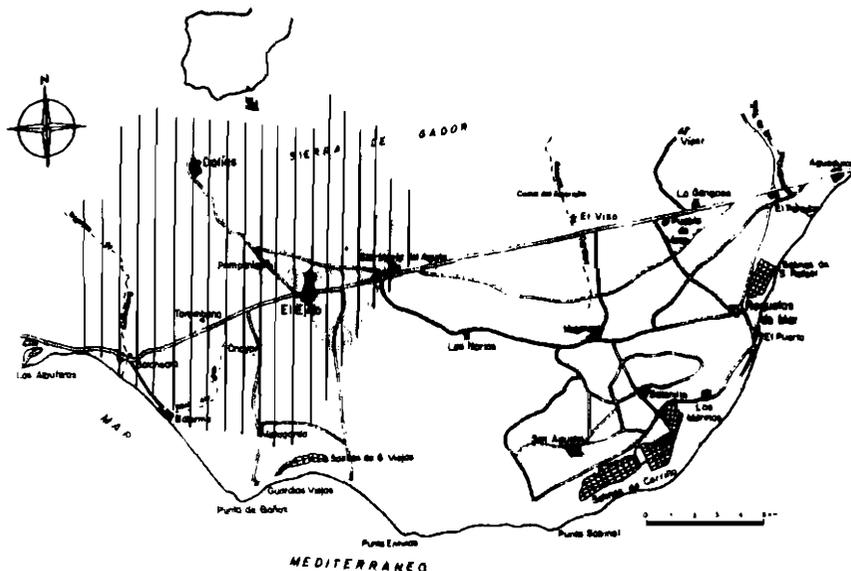


Figura 1.- Situación del acuífero de Balnearia (rayado vertical).

## EL MARCO GEOLOGICO

Los materiales aflorantes se pueden englobar en dos grandes conjuntos: materiales preorogénicos y materiales postorogénicos (figura 2). Los primeros (ALDAYA et al., 1983; BAENA et al., 1983) corresponden al denominado Complejo Alpujárride, representado por las unidades del manto de Lújar o Gádor (OROZCO, 1972), que comprenden un conjunto basal constituido por filitas con intercalaciones de cuarcitas, de edad Permo-werfeniense, y un tramo carbonático -calizas y dolomías que pueden superar 1.000 m de potencia- en cuya base afloran calcoesquistos y calizas margosas.

Los materiales postorogénicos incluyen una gran variedad de litologías de distintas edades; los más antiguos corresponden al Mioceno superior, representado por una serie detrítica transgresiva (calcarenitas y calizas conglomeráticas fosilíferas, que llegan a alcanzar 130 m). Por datos de sondeos se sabe que estos materiales cambian lateralmente hacia margas con yesos, que descansan sobre un delgado conglomerado basal.

Los materiales pliocenos comprenden un paquete de margas que puede superar los 600 m de espesor que, hacia el techo, pasan gradualmente a calcarenitas. El Cuaternario (FOURNIGUET, 1975) está representado por conglomerados arenosos marinos, limos rojos continentales e importantes abanicos aluviales y conos de deyección que jalonan el borde de la sierra de Gádor; además existen formaciones recientes que constituyen las dunas, depósitos de marisma, salinas, playas, etc.

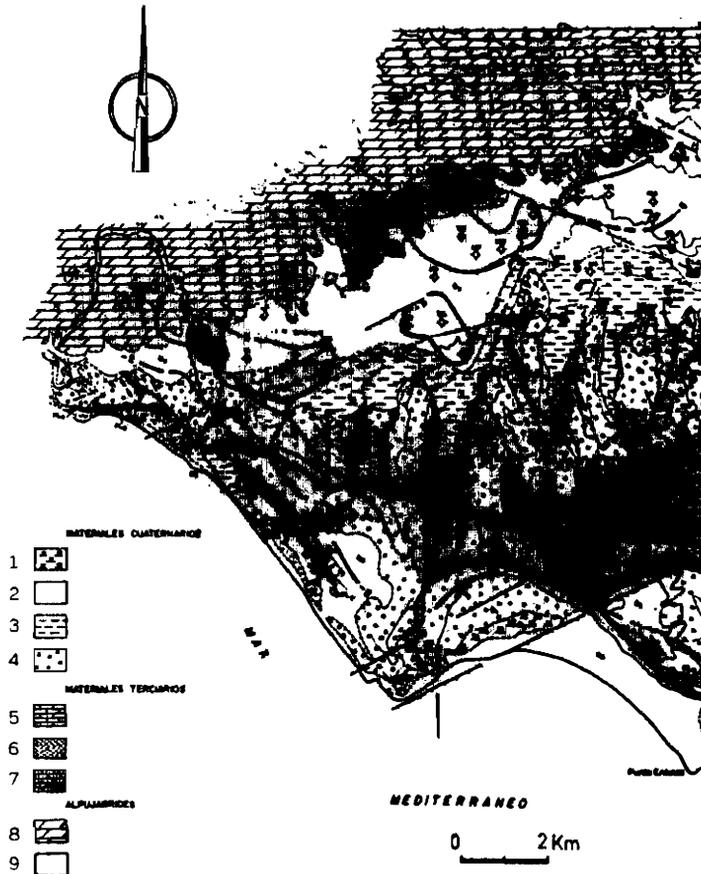


Figura 2.- Esquema hidrogeológico del acuífero de Balneario y sus bordes. 1: Marismas, salinas y albuferas; 2: Gravas y arenas, conos de deyección; 3: Limos rojos; 4: Terrazas marinas; 5: Calcarenitas; 6: Margas; 7: Calcarenitas; 8: Calizas y dolomias; 9: Filitas y cuarcitas. Se muestran las curvas isopiezas correspondientes a Febrero de 1984, trazadas con datos suministrados por el IGME y se incluye la situación del corte geológico de la figura 3.

Desde el punto de vista tectónico, se puede reseñar que con posterioridad a los grandes cabalgamientos ocasionados por la orogenia alpina, se produjeron varias fases de reajuste que se tradujeron en movimientos verticales. Además del sustrato alpujarride, también la cobertera neógena se encontró afectada por fallas de dirección WSW-ENE y WNW-ESE, probablemente subverticales. Dichas fracturas, a veces poco visibles en superficie, han sido puestas de manifiesto bajo el mar por métodos geofísicos (sísmica). En tierra el estudio detallado de las columnas de sondeos mecánicos existentes,

junto con la geofísica eléctrica, han evidenciado un mínimo de seis fallas, igualmente repartidas en las dos direcciones antes citadas. El salto de estas fallas está comprendido entre 100 y 300 m, generalmente, y suelen hundir los bloques más meridionales (figura 3).

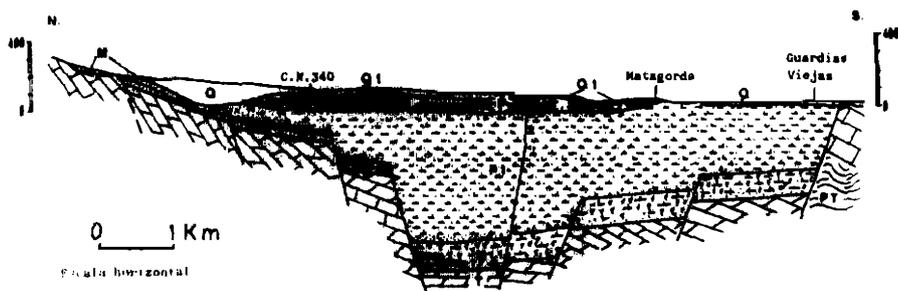


Figura 3.- Corte geológico representativo (modificado de BAENA et al., 1983). Q: conos de deyección, dunas, aluviales, etc; Q1: conglomerados, arenas y limos; P: calcarenitas; P1: marjas; M: calcarenitas; T: calizas y dolomías; PT: filitas y cuarcitas.

#### PRINCIPALES RASGOS HIDROGEOLOGICOS

Forman el acuífero, en su mayor parte, las dolomías alpujárrides del manto de Gádor, con potencias que varían entre 200 y 1.200 m, la primera en su extremo occidental; también, las calcarenitas miocenas y, ocasionalmente, las calcarenitas pliocenas y algunos depósitos recientes, que están conectados hidrogeológicamente con esta unidad, a través de "La Escama de Balsa Nueva", integran el conjunto acuífero. Las filitas basales del manto de Gádor constituyen el sustrato impermeable.

Esta geometría, relativamente sencilla, se complica en el extremo más occidental, donde el desplazamiento de una franja de filitas y cuarcitas ha separado dos tramos carbonáticos, a su vez fracturados, que forman pequeños conjuntos; tal es el caso de "la escama de Balsa Nueva".

THAUVIN (1986), y el informe del IGME de 1982, analizan en profundidad los límites del acuífero. El límite septentrional y occidental lo forman las filitas basales del manto de Gádor, de naturaleza impermeable. Al NE, una falla inversa, junto con una inyección de filitas, cortadas en la Galería de Los Lobos, y la existencia de milonitas, constituyen otro extremo. El límite SE corresponde con el borde final del horst de Guardias Viejas y cabe pensar que sea de intercambio hídrico nulo, al contactar los materiales carbonáticos del acuífero con las metapelitas de la base del horst. Por último, el límite SW no está muy claro, pues los afloramientos están fosilizados por glacia o recubiertos por "la escama de Balsa Nueva" y por los materiales neógenos.

De la interpretación de cinco pruebas de bombeo, la transmisividad obtenida para las calcarenitas miocenas y dolomías de Gádor varía entre 15.000 y 21.600 m<sup>2</sup>/día, mientras que la porosidad eficaz de las calcarenitas debe estar comprendida entre el 15 y el 20 % o quizás más (IGME, 1982).

Los continuados bombeos han provocado la inversión del gradiente hidráulico (figura 2), lo que crea una situación favorable para que se produzca intrusión marina. No obstante, la existencia de materiales metapelíticos cercanos a la costa ha dificultado, en parte, la penetración de la interfase que, por otro lado, avanza por los materiales postorogénicos (DOMINGUEZ y GONZALEZ, 1987). El acuñaamiento progresivo que sufren las filitas basales de "la escama de Balsa Nueva" (THAUVIN, 1986) hasta desaparecer, permite el contacto directo de las calizas y dolomías de la Sierra de Gádor con el "pasillo miopliocénico".

## PARAMETROS CONTROLADOS Y PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

### Distribución espacial de la conductividad

El contenido salino de las aguas de esta unidad, caracterizado por la conductividad, es mediano a bajo; la conductividad está comprendida, en la gran mayoría de los puntos muestreados, entre 500 y 1.500 micromhos/cm (figura 4), y tan sólo algo más del 5 % superan los 4.000. El contenido mayor corresponde a la franja costera, parcialmente intruida por agua del mar. Los valores mínimos se miden en el borde de la Sierra de Gádor y comienzan a subir de forma brusca a partir de los sondeos del Sector IV del IARA, hacia el mar.

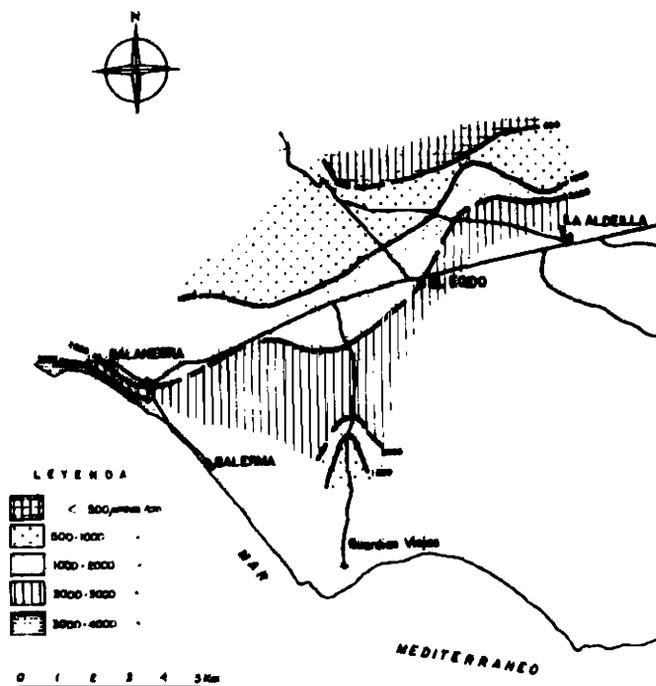


Figura 4.- Distribución espacial de la conductividad de las aguas (Nov. Dic. 1986).

### Algunas relaciones iónicas de interés

En lo referente a la relación  $rMg^{++}/rCa^{++}$ , tan sólo muy localmente supera el valor de 1.5 y siempre en las cercanías del borde costero, motivo por el cual concluimos que esta relación no aporta, en este caso, criterios determinantes en lo que a caracterización de la intrusión marina se refiere. La relación  $rCl^{-}/HCO_3^{-}$  es bastante más expresiva, pues se alcanzan valores superiores a 15; en idéntico sentido apuntan los datos obtenidos para la relación  $rSO_4^{--}/rCl^{-}$ , que vienen a confirmar que en este acuífero, a pesar de estar sometido a sobreexplotación y encontrarse el nivel piezométrico en amplias áreas por debajo del nivel del mar, la intrusión marina se cifra a una estrecha faja costera.

### Muestras diarias

Fueron dos los puntos controlados diariamente, uno situado a 4 km de la línea de cota y otro a 12. Aunque están relativamente lejos del mar, se sitúan en áreas de gran explotación y con depresiones piezométricas que alcanzan en ocasiones -10 m. El periodo de control comenzó el 18 de Julio de 1986 y terminó al cabo de un año. El seguimiento consistió en la determinación de la conductividad y del contenido en  $Cl^{-}$ . Los resultados obtenidos durante el periodo de control en estos puntos no parecen indicar evidencias de salinización; esto no ha de tomarse como señas de ausencia de procesos de intrusión marina, ya que los datos piezométricos señalan precisamente lo contrario.

### Registros verticales de conductividad y temperatura

Los registros se realizaron en 10 puntos acuíferos, coincidiendo con los dos muestreos semestrales. En la figura 5 se muestran los correspondientes a los puntos nº 5 y 11, situados a menos de 250 m del litoral, al Oeste de Balanegra (figura 6). Salvo en tres de los puntos, en el resto se detectó la presencia de la interfase o incluso el agua salada.

En el nº 5, en el muestreo inicial, se encontraba el nivel a 21 m de profundidad, y la conductividad en ese lugar era de 1.100 micromhos/cm, valor que aumentó paulatinamente hasta los 30 m donde se alcanzaron 2.860, para aumentar bruscamente hasta 14.320 micromhos/cm. En el segundo registro (04.12.86) la conductividad en superficie fue de 1.220, con aumento progresivo hasta 3.600 a 32,3 m, con incremento hasta 12.000 a los 35 m. Se detecta, pues, el techo de la interfase a unos 30 m de profundidad.

En el punto nº 11, el 29.05.86, el nivel piezométrico se encontraba a 7,5 m de profundidad; la conductividad era de 12.000 micromhos/cm, dando un salto a 18,2 m hasta 28.000 micromhos/cm; sigue el aumento hasta 39.000 a 58,2 m, donde la temperatura había disminuido hasta 20,4°C. El día 04.12.86 el nivel piezométrico estaba a 7,8 m y la conductividad medida fue de 11.000 micromhos/cm y la temperatura de 22,8°C. La conductividad aumenta con la profundidad hasta alcanzar 28.400 micromhos/cm a 30 m, punto en el que hay 19,5°C. Desde esta cota la conductividad aumenta, lentamente, hasta 38.000 micromhos/cm a 78,7 m en que la temperatura era de 20,7°C; a partir de ahí, la conductividad sufre un descenso inmediato a 30.300 micromhos/cm y la temperatura empieza a ascender; luego decrece lentamente la conductividad hasta 26.000 micromhos/cm

a 90 m para crecer nuevamente a 27.500 a 100 m, donde la temperatura era de 24,2°C. Este punto acuífero está intruido en toda su columna de agua y presenta una curiosa inversión de la salinidad cuya posible explicación esté en relación con la existencia de pequeños niveles confinados saturados de agua de menor contenido salino.

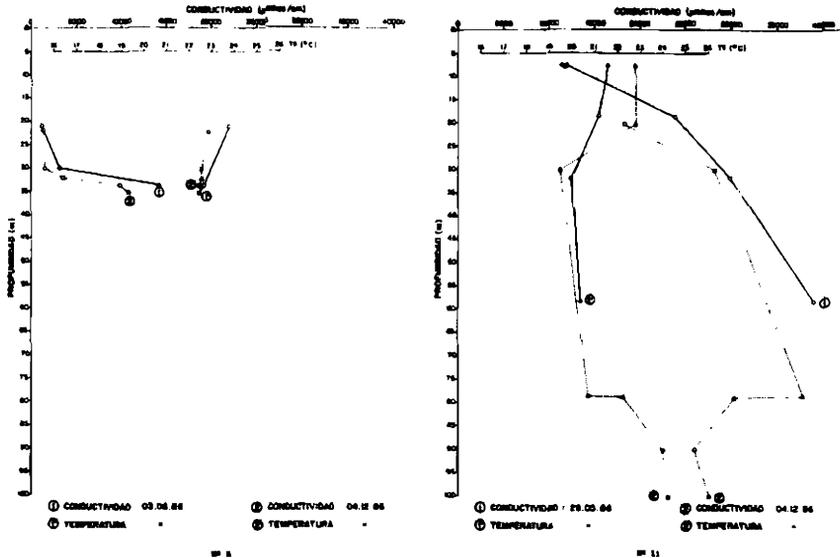


Figura 5.- Registros verticales de conductividad y temperatura.

**Prospección geofísica eléctrica**

Se han realizado nueve SEV distribuidos en dos perfiles geoelectricos (figura 6) aproximadamente perpendiculares a la línea de costas, con abertura de alas paralela a ella. De la interpretación cualitativa de las mismas se detecta la existencia de niveles cada vez más conductores desde el interior hacia el borde del mar, aunque de forma mucho más acusada en el perfil II; en efecto, en el I se suceden valores inferiores a 50 ohmios.m bajo el SEV 4, mientras que en los restantes la gran mayoría de los valores medidos superan los 300 ohmios.m. Por el contrario, en el Perfil II, bajo el SEV 9 se llegan a detectar valores inferiores a 10 ohmios.m, reflejo de la influencia de un conductor no muy profundo.

Los datos obtenidos en campo han sido también interpretados cuantitativamente siguiendo un procedimiento clásico en una primera etapa, con posterior ajuste más preciso, de forma automatizada. El modelo inicial sirvió de base a la interpretación automatizada, mediante el programa APASEV (DIAZ et al., 1984). Dicho programa utiliza el Análisis de Sensibilidad para aproximar el resultado satisfactorio. Con los datos finalmente aceptados

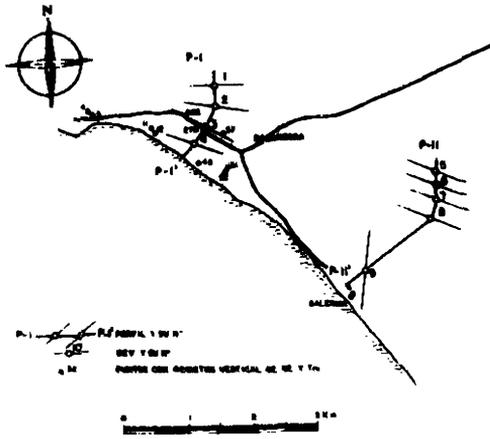


Figura 6.- Situación de los SEV realizados y puntos con registro vertical.

como válidos hemos elaborado los cortes geoelectricos que se muestran en la figura 7, los cuales ha 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

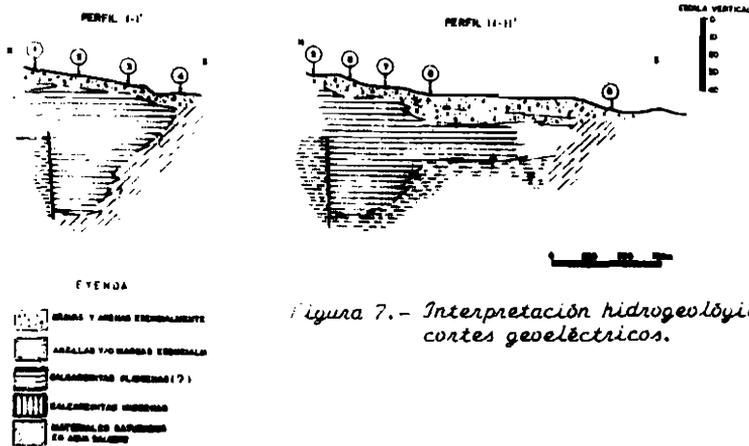


Figura 7.- Interpretación hidrogeológica de los cortes geoelectricos.

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 hasta valores de hasta 6.200 ohmios.m, junto a otros de menos de 50.

Otro nivel diferenciado ha sido el correspondiente a valores de resistividad inferiores a 30 ohmios.m, interpretado como constituido por arcillas y limos esencialmente. Puede tratarse de edades diferentes. Los otros dos niveles diferenciados serían resistivos, aunque se han estimado edades distintas; en efecto, se trata de las calcarenitas pliocenas y de las calcarenitas miocenas; sin embargo 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 ha considerado un margen de valores entre 950 y 54 ohmios.m; el límite inferior correspondería a la existencia de lechos margosos intercalados. El tramo asignado a las calcarenitas miocenas presenta valores de resistividad comprendidos entre 207 y 390 ohmios.m.

En los dos perfiles se detecta la existencia de una falla geoelectrica entre los SEVs 1-2 y 5-6, que enfrenta tramos margosos a resistivos, interpretados como calcarenitas pliocenas. Bajos los SEVs 2, 3, 4 (Perfil I) y 9 (Perfil II), se deduce la presencia del techo de la cuña salina.

#### **CONCLUSIONES**

En el acuífero de Balanegra, las evidencias hidrogeoquímicas demuestran que existe intrusión marina. Esta se ciñe a la franja costera cercana al núcleo que da nombre a la unidad y es detectable en una serie de registros de conductividad eléctrica realizados a lo largo de la columna de sondeos existentes. Los mapas de isocontenidos en cloruros, conductividad sodio, etc, indican de manera fehaciente las áreas que están siendo afectadas por el mar.

La presencia de tramos impermeables metapelíticos entre el mar y las calizas y dolomías de Gádor, ha protegido hasta el momento a la mayor parte del acuífero; no obstante, se mantienen las condiciones que favorecen el avance de la cuña salina, con el correspondiente riesgo.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- ALDAYA, F. 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.
- DIAZ, E., PADILLA, A. y PULIDO BOSCH, A. (1984). Aplicación del análisis de sensibilidad a la interpretación automatizada de SEV. Congr. Nac. Geol. III: 318-332. Segovia.
- 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).**

**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 Dalías (Almería). IARA-Dpto. de Geodinámica, Univ. de Granada.**

**THAUVIN, J.P. (1986). Etude hydrogéologique, modélisation et gestion des aquifères du Campo de Dalías (province d'Almería, Espagne). Tesis Doct. Univ. Nice. 3 vol. 436 p.**