

# Registros de conductividad y temperatura y flujos preferenciales en el campo de Dalías (Almería)

*Conductivity and temperature logs and preferential groundwater flows in The Campo de Dalías (Almería)*

L. Molina, A. Vallejos, A. Pulido-Bosch y F. Sánchez Martos

Departamento de Hidrogeología, Universidad de Almería, 04120 Almería

## ABSTRACT

Groundwater temperature and electrical conductivity logs were applied to gain an understanding of the hydrogeological behaviour of a complex system. This system, compartmentalized by a large number of fractures, is that of the Campo de Dalías (Almería). In addition to this complexity one must consider the different levels with aquifer properties and their varying lithologies, which in some cases are in direct contact with the sea. The various logs allow lateral correlation and provide information on the existence of both ascending and descending vertical flows, and the inflow of seawater into the system.

**Key words:** groundwater, temperature, conductivity, vertical sections

Geogaceta, 33 (2003), 103-106

ISSN:0213683X

## Introducción

El Campo de Dalías es una llanura litoral ubicada en el extremo suroriental de Andalucía. Ocupa una superficie cercana a 330 km<sup>2</sup> y se encuentra limitada por la Sierra de Gádor al Norte, mientras que los restantes bordes los ocupa el mar Mediterráneo (Fig. 1). Los materiales aflorantes más antiguos pertenecen a las unidades de Gádor y Felix (Complejo Alpujarride). Se caracterizan por presentar un tramo basal metapelítico y otro superior carbonatado. Sobre los materiales alpujarrides yacen materiales del Mioceno superior, que afloran de manera discontinua a lo largo del borde de la Sierra de Gádor. Los materiales pliocenos están ampliamente desarrollados en todo el Campo de Dalías (Aguirre, 1999). Están constituidos por un conglomerado basal sobre el que se deposita una potente formación margosa de hasta 1000 m, culminando la serie con unas calcarenitas que alcanzan potencias de 100 m. Al pie de Sierra de Gádor adquieren gran desarrollo los abanicos aluviales; además, existen depósitos limosos y fangosos en relación con salinas y playas antiguas (Fourniguet, 1977).

Desde el punto de vista hidrogeológico se diferencian tres unidades: Balerma-Las Marinas, Balanegra y Aguadulce (Pulido-Bosch *et al.* 1991; Molina, 1998). La unidad de Balerma-Las Marinas ocupa el centro-sur del Campo y está integrada

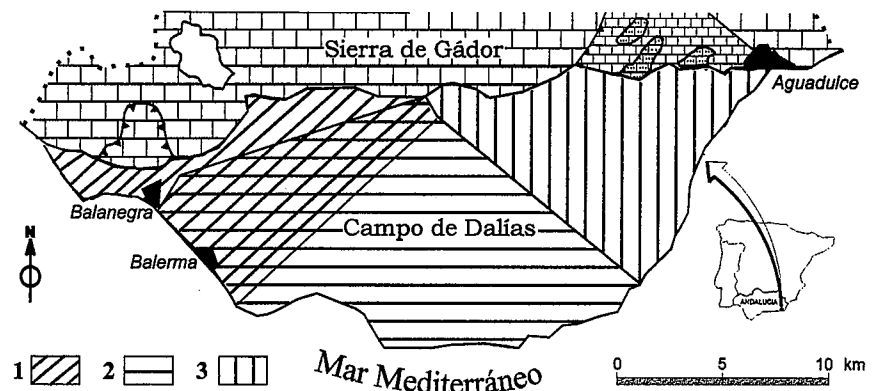


Fig.1.- Situación del Campo de Dalías y unidades hidrogeológicas. 1: U. Balanegra, 2: U. Balerma - Las Marinas, 3: U. Aguadulce.

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

esencialmente por 100-150 m de calcarenitas pliocenas. Las margas pliocenas constituyen el sustrato impermeable de esta unidad. La unidad de Balanegra se localiza en el extremo occidental. Tiene parte bajo el acuífero de Balerma-Las Marinas, estando separado de él por las margas pliocenas que actúan de techo confinante. Está constituida esencialmente por materiales carbonatados del manto del Gádor y localmente por depósitos miocenos y pliocenos. La Unidad de Aguadulce, ubicada en el extremo oriental del área, está integrada por los mate-

riales calizo-dolomíticos de los mantos de Gádor y Felix junto a calcarenitas y rocas volcánicas miocenas, margas y calcarenitas pliocenas y materiales cuaternarios. Esta diversidad litológica unida a su estructura confiere a la unidad una geometría muy compleja.

## Datos

Este trabajo se ha realizado a partir de registros verticales continuos de temperatura y conductividad en una treintena de sondeos, durante 1993. Los

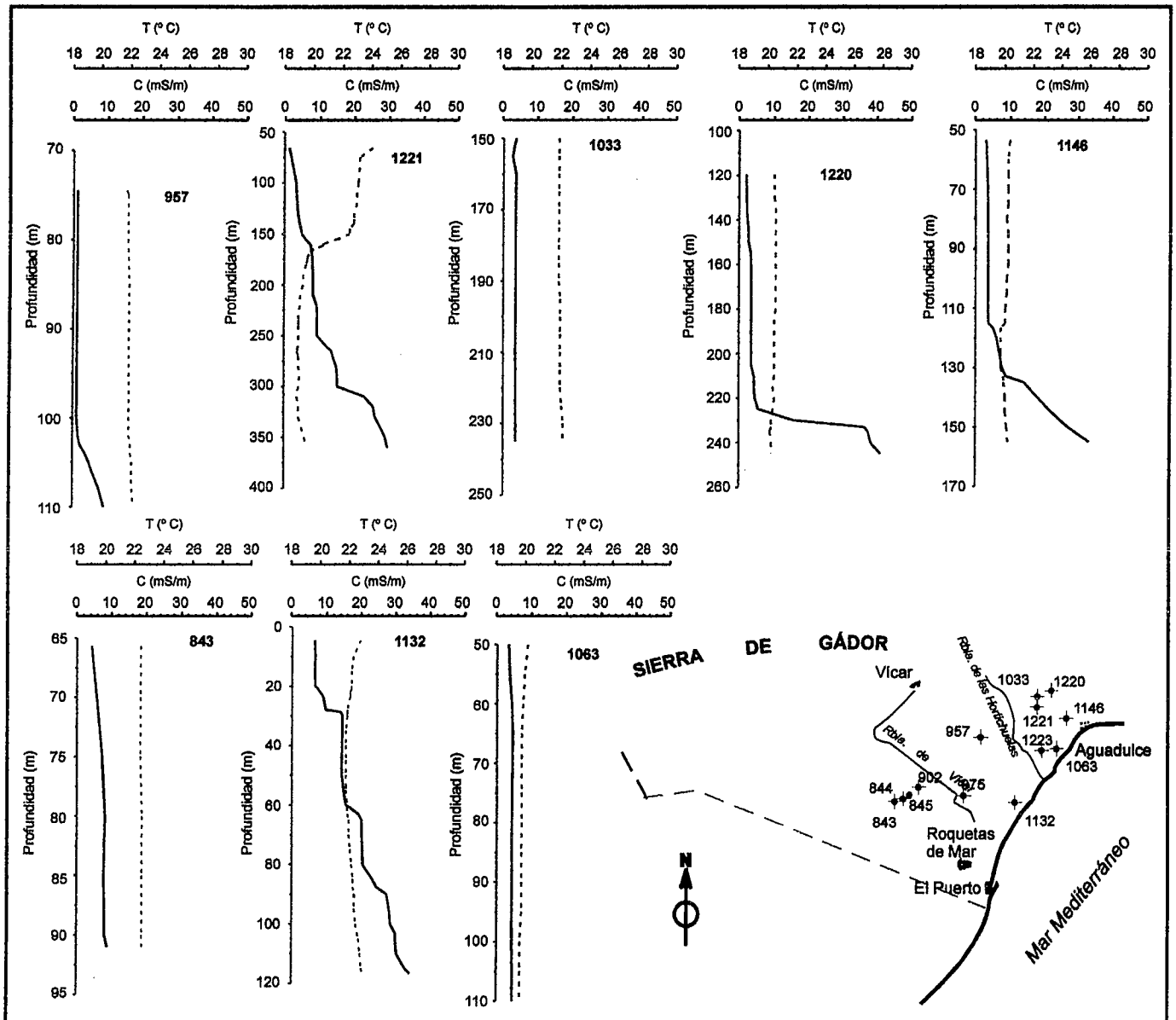


Fig. 2.- Situación de los pozos con registro de temperatura (línea discontinua) y conductividad (línea continua) en la unidad de Aguadulce

Fig. 2.- Location of the wells with temperature (broken line) and conductivity logs (solid line) in Aguadulce unit.

datos se han analizado de modo individual para detectar las anomalías puntuales de cada registro. La temperatura aporta información sobre flujos verticales ascendentes y descendentes. La conductividad arroja luz sobre la composición del agua, que a su vez da información de paleoprocesos, existencia de sales en el medio y origen del agua.

Mediante la temperatura de las aguas subterráneas se han identificado procesos de intrusión marina en áreas costeras debido al diferente gradiente térmico que presentan las aguas salinas y dulces (Tulipano y Fidelibus, 1989; Caló y Tinelli, 1995; Taniguchi, 2000). Para obtener una visión espacial hemos construido una sección horizontal a par-

tir de todos los datos de los perfiles verticales.

**Resultados e interpretación**

Los registros verticales muestran las características térmicas de los acuíferos y permiten diferenciar una serie de sectores con evoluciones muy diferentes, en relación con la existencia o ausencia de agua caliente o flujos de diferente origen (Chengjie, 1988). Dado que los problemas más relevantes suceden en Aguadulce, ahí se centra el mayor número de registros.

En la figura 2 se muestra la situación de los puntos acuíferos que han sido objeto de registro de temperatura y

conductividad en la unidad de Aguadulce, de los cuales comentaremos los más significativos. En el sector más oriental, al norte de la localidad de Aguadulce, en los sondeos 1220, 1146 y 1063 la temperatura se mantiene aproximadamente constante en todo el registro, en torno a los 20 °C. La conductividad comienza a subir a partir de los 115 m en el sondeo más próximo a la costa (1146), alcanzando valores superiores a los 30000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a 150  $\mu$  de profundidad. El sondeo 1220 registra agua con una conductividad muy próxima a la del agua marina a los 225 m. El sondeo 1063, debido a que tiene poca profundidad, no permite observar la posible entrada de agua de mar en el

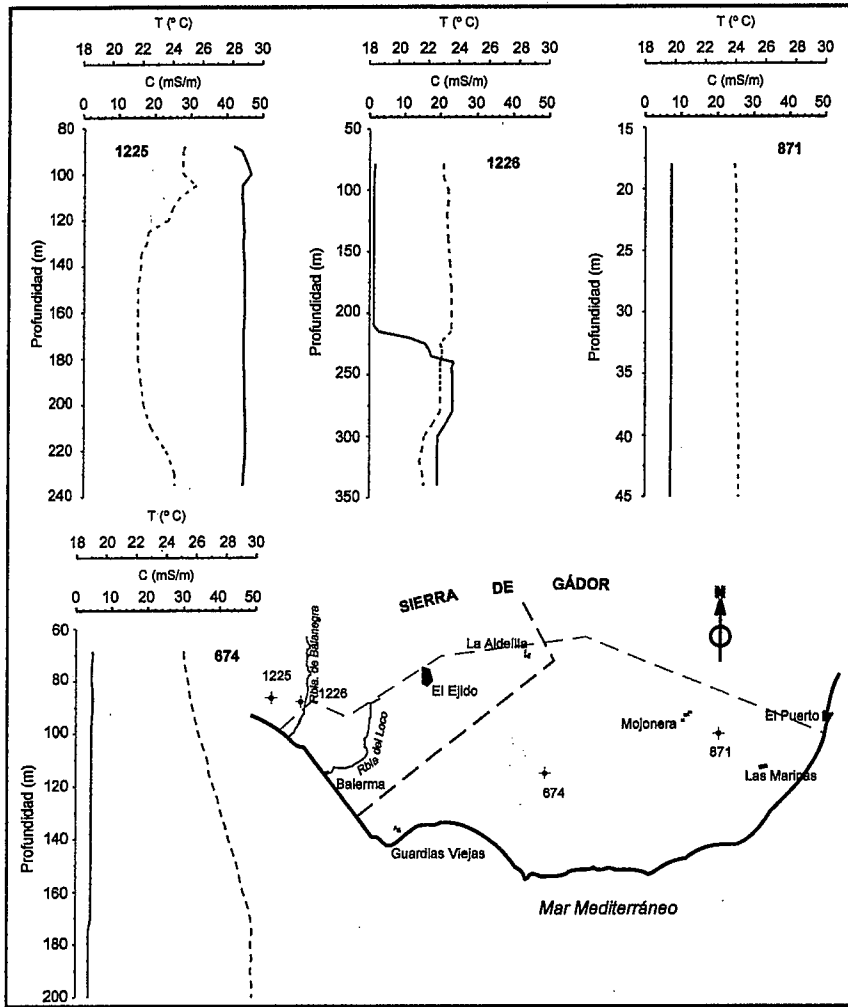


Fig. 3.- Situación de los pozos con registro de temperatura (línea discontinua) y conductividad (línea continua) en las unidades de Balerna-Las Marinas y Balanegra.

Fig. 3.- Location of the wells with temperature (broken line) and conductivity logs (solid line) in Balerna-Las Marinas and Balanegra units.

sector. En general la temperatura del agua de los materiales calizos oscila entre los 20-22 °C. Entre los metros 100-150 se detecta un descenso en la temperatura hasta los 18 °C en algún caso, debido a la entrada de agua fría y salina, como consecuencia de los intensos bombeos que ha soportado el área (intrusión marina, muy posiblemente).

No es posible establecer una tendencia generalizada para un espacio reducido como es el entorno del municipio de Aguadulce. Así el sondeo 1033, situado muy próximo al 1220, no refleja variación alguna en los dos parámetros registrados, a pesar de alcanzar hasta 230 m de profundidad. Los puntos acuíferos 1221 y 1223 muestran registros con forma similar: la conductividad del agua sube al tiempo que se produce un descenso en la temperatura de la misma. El descenso de

temperatura es más notable en el sondeo 1221. El agua en los primeros metros del registro se encontraba a 24.1 °C, en el metro 160 desciende bruscamente hasta los 19 °C, manteniéndose en torno a los 20 °C hasta los 350 m. La conductividad eléctrica asciende paulatinamente hasta los 160 m; a partir de esa profundidad el aumento en conductividad es más acusado, siendo la subida muy notable a partir de 300 m, donde en pocos metros se llegan a registrar valores de conductividad superiores a 30000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Se detecta claramente la entrada de agua de mar, aguas más frías y salinas, en el interior del acuífero.

Del grupo de sondeos localizados al norte del municipio de Roquetas de Mar, seleccionamos un único registro (843) dado que todos ellos muestran los mismos resultados. Todos tienen poca profundidad y, al igual que el sondeo 1132, captan los materiales del Plioceno, marcando temperaturas entre los 23 y 24 °C, algo elevadas para la escasa profundidad de las perforaciones, pero probablemente debido a flujos ascendentes más calientes.

En la figura 3 se representan los registros más significativos realizados en las unidades de Balerna-Las Marinas y Balanegra. Del sector central son representativos los puntos acuíferos 871 y 674. Se localizan sobre la unidad acuífera de Balerna-Las Marinas. Están realizados en los materiales del Plioceno, estando situado el 674 sobre el horst de Guardias Viejas, donde se observa como la temperatura asciende con la profundidad hasta los 30 °C, a

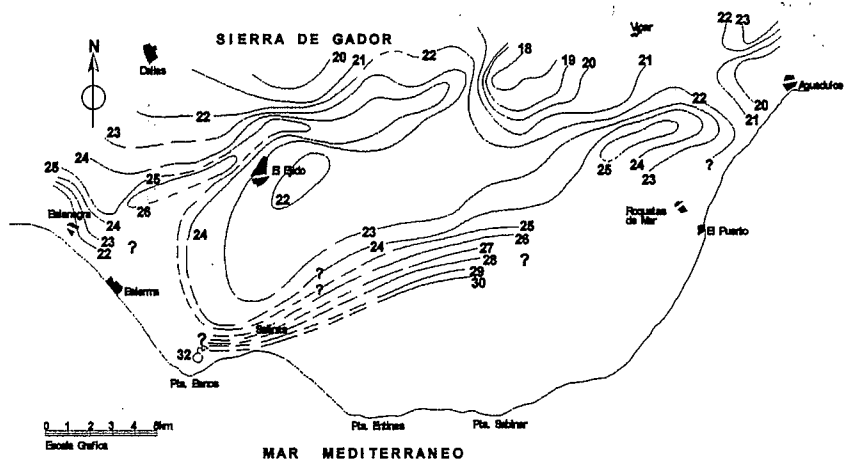


Fig. 4.- Mapa de isotermas a -100 m s.n.m.(°C)

Fig. 4.- Map of isotherms in °C at a depth of 100 m.

consecuencia de la entrada de agua profunda de salinidad normal. En el sector occidental del Campo de Dalías los sondeos 1225 y 1226 atraviesan los materiales del Plioceno y Mioceno, llegando a alcanzar las calizas y dolomías de la unidad de Gádor. El sondeo 1225 se encuentra totalmente salinizado debido a intrusión marina; la temperatura en él muestra la influencia de este agua marina de menor temperatura que la que se encontraba previamente almacenada en el acuífero. En el sondeo 1226 se detecta el efecto de esa intrusión a partir de los 210 m de profundidad.

Para identificar, al menos de forma orientativa, los posibles flujos preferenciales realizamos un mapa de curvas isotermas a 100 m bajo el nivel del mar (figura 4). Para ello, en cada perfil vertical, a una profundidad de 100 m bajo el nivel del mar, se calculan las isotermas que cortan el perfil y se representan en una sección horizontal. El siguiente paso es ir uniendo todos los puntos que cortan a la misma isoterma en todos los perfiles; para ello hay que ajustar las isotermas a la misma profundidad, considerando que en todas las secciones la interpretación sea correcta. Existen numerosos factores que pueden complicar el régimen termal de las aguas tales como fracturas, influencia de acuíferos profundos, recubrimiento sedimentario, y la intrusión marina. Conviene señalar que la densidad de datos no es la idónea para conseguir el mejor trazado posible; no obstante, los resultados obtenidos son bastante coherentes y arrojan alguna luz sobre la organización del flujo en una sección horizontal de las unidades del Campo de Dalías. En la zona sur no hay mucha información, por lo que no se ha podido completar el trazado de las isotermas.

Al N de El Ejido se sitúan las isotermas de menor temperatura, que aumentan hacia el S y el SW; aquí las isotermas tienen forma cerrada y alcanzan los 26 °C, disminuyendo en el sector costero de Balerna, hasta 22 °C. En el sector central del mapa se produce

una disminución local de la temperatura para aumentar más hacia el sur, en el horst de Guardias Viejas, donde adoptan una disposición alargada en dirección N60E y donde alcanzan el valor máximo. Al W de Vúcar se localiza la isoterma de menor temperatura, 18 °C; hacia el SE se registra un aumento de la temperatura, adoptando las isotermas forma alargada y llegando a alcanzar 25 °C. Al N de Aguadulce se registran temperaturas de hasta 23 °C que disminuyen a 20 °C, junto a la costa.

En la parte occidental del mapa, concretamente al norte de El Ejido, hay una entrada de aguas de infiltración a 20 °C, coincidiendo con la fracturación N120E que alimenta al acuífero más profundo y posiblemente al acuífero superior (Plioceno) en este área. Al oeste de la localidad de Vúcar se observa un flujo superficial de aguas frías, de dirección N45E, que alimenta al centro del Campo, y otro de dirección N140E, de circulación rápida hacia el sur, que es la alimentación preferencial del acuífero carbonatado profundo y del pliocuaternario. Estos flujos son interrumpidos por otros más profundos, verticales y más calientes, de dirección N60-70E, que más al sur afectan a los materiales pliocenos y miocenos. En el sector de Aguadulce se observa una entrada de aguas del acuífero carbonatado de unos 23 °C, que es interrumpida por aguas más frías, debido al proceso de intrusión que se produce en este sector.

En el acuífero de Balerna-Las Marinas, en su parte central, la temperatura es de unos 22 ó 23 °C, quizá debido a la influencia del acuífero profundo. En Guardias Viejas hay un ascenso vertical de flujo que en los Baños alcanza 32 °C, indicador de una circulación profunda. Desde Guardias Viejas y en dirección N60-70E, coincidiendo con el horst y su prolongación, hay un ascenso de flujos verticales a través de los planos de fracturas. En Balanegra la entrada de aguas frías está relacionada con la intrusión que se está produciendo actualmente. En general se observan valores elevados

de temperatura que están relacionados con la tectónica.

### Consideraciones finales

La complejidad tectónica del área es muy grande y tiene gran importancia en el funcionamiento hidrogeológico del Campo de Dalías. El tratamiento de los datos de temperatura y conductividad del agua subterránea proporciona gran información sobre la interrelación entre los distintos acuíferos descritos y el fenómeno de intrusión marina. En el horst de Guardias Viejas se detectan flujos anómalos con temperaturas relativamente elevadas. El flujo a partir de la Sierra de Gádor es muy importante y constituye la principal fuente de alimentación al Campo de Dalías. Por otro lado, la dirección del flujo se ha visto invertida en los sectores costeros oriental y occidental, con la consiguiente entrada de agua de mar.

### Agradecimientos

El presente estudio se ha hecho en el marco del proyecto HYD99-0597-CO2-O2 (CICYT).

### Referencias

- Aguirre, J. (1999): *Rev. Soc. Geol. de España* 11 (3-4), 297-315.
- Caló, G.C. y Tinelli, R. (1995): *J. of Hydrol.* 165, 185-205.
- Chengjie, Z. (1988): *IAH 21<sup>st</sup> Congress*. Guilin, China. II, 1127-1135.
- Fourniguet, J. (1977): *Acta Geológica Hispánica*, XII, 4-6, 90-97.
- Molina, L. (1998): Tesis Doctoral. Univ. de Granada. 340 p. Inédita
- Pulido-Bosch, A.; Navarrete, F.; Molina, L. y Martínez-Vidal, J.L. (1991): *Water Science and Technology* 24 (11), 87-96.
- Taniguchi, M. (2000): *Geophys. Res. Lett.* 27 (5), 713-716.
- Tulipano, L. y Fidelibus, M.D. (1989): *Proceedings of 10<sup>th</sup> Salt-Water Intrusion Meeting*, 308-316.