

# Sondeos de investigación en un acuífero kárstico costero (Castell de Ferro, Granada)

Pulido Bosch<sup>(\*)</sup>, P. Pulido Leboeuf<sup>(\*)</sup>, A. Vallejos<sup>(\*)</sup>, M. L. Calvache<sup>(\*\*)</sup>, J. Gisbert<sup>(\*)</sup>, J. M. Andreu<sup>(\*\*\*)</sup>, F. Sánchez Martos<sup>(\*)</sup> y L. Molina<sup>(\*)</sup>.

<sup>(\*)</sup> Dep. Hidrogeología y Q.Q., Universidad de Almería, 04120 La Cañada (Almería)

<sup>(\*\*)</sup> Dep. Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada

<sup>(\*\*\*)</sup> Dep. Ciencias de la Tierra y M.A. Universidad de Alicante, 03080 Alicante

## Abstract

Data from 4 investigation boreholes, drilled in the marbles of the Castell de Ferro aquifer and separated some 5 m each one from the next one, are discussed. Several karstic discontinuities are detected at different depths depending on which borehole they are in. Flowmeter measurements show the presence of vertical flows at different positions. An electrical conductivity anomaly is detected and interpreted as a result of the drilling method.

**Key Words:** down the hole hammer, karst, well logging, vertical flows.

Geogaceta, 25 (1999), 167-169

ISSN: 0213683X

## Introducción

La intrusión marina es un grave problema que afecta a los acuíferos costeros del Mediterráneo español. Ello es debido, en numerosos casos, al aumento de las explotaciones que se ha producido por la introducción de los cultivos bajo plástico. El acuífero de Castell de Ferro es un claro ejemplo de este tipo de sistemas. Se trata de un acuífero detrítico ligado a los depósitos de las ramblas Ancha y de Gualchos; ocupa cerca de 6 km<sup>2</sup>. El espesor de los materiales acuíferos, aunque desconocido en detalle, se estima que no supera los 60m (Calvache, 1991). El sustrato está mayoritariamente constituido por materiales metapelíticos alpujarrides. En el área también existen afloramientos carbonatados de pequeña entidad superpuestos a los materiales metapelíticos.

Dos de estos afloramientos están en contacto con el acuífero detrítico y el mar, por lo que, debido a su alta karstificación, constituyen una vía preferencial para el flujo de agua dulce hacia el mar y de agua salada hacia el continente (Calvache y Pulido Bosch, 1994). Esta karstificación no es muy evidente en superficie, pero es conocido que en la zona de mezcla la solubilidad del carbonato cálcico y magnésico sufre notables variaciones en ambos sentidos (Back *et al.*, 1979) con periodos en los que el agua de mezcla está subsaturada y periodos en los que el agua de mezcla

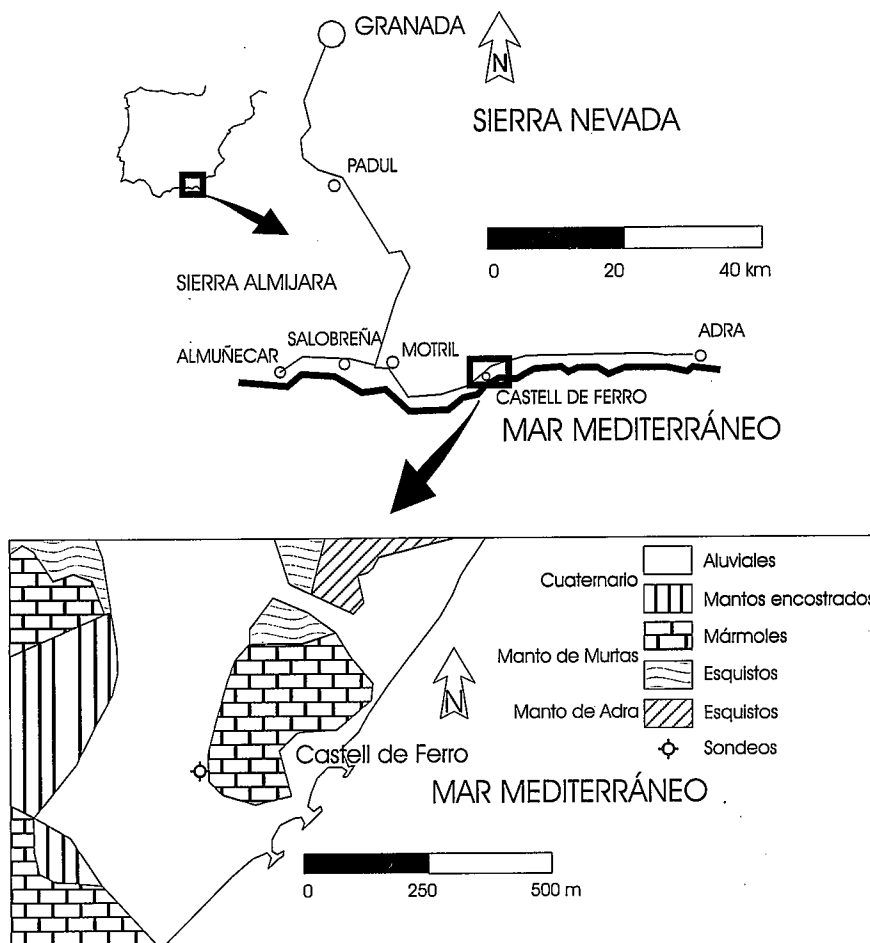


Figura 1.- Localización geográfica del área estudiada.

Figure 1.- Geographical situation of the studied area.

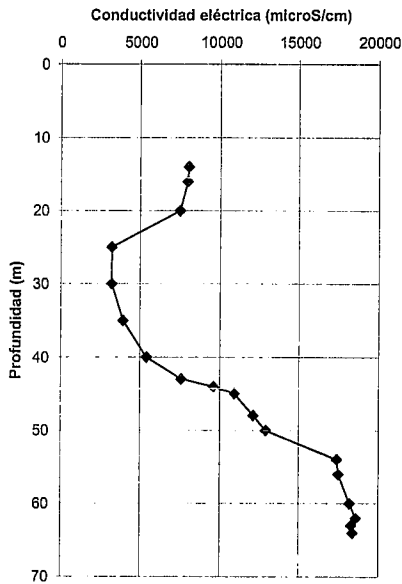


Figura 2.- Registro de conductividad eléctrica realizado en el sondeo S-1 inmediatamente después de la terminación de su perforación.

Figure 2.- Electric conductivity log of the S-1 borehole immediately after the drilling.

está sobresaturada, produciéndose disolución, precipitación, dolomitización o dedolomitización (Morell *et al.*, 1995). Con el objeto de poner de manifiesto la anisotropía de estos materiales y de llevar a cabo toda una serie de experiencias y observaciones, en abril de 1998 el Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental contrató cuatro perforaciones en el borde oeste del Cerrillo del Castillo, afloramiento marmóreo sobre el que se asienta el núcleo de Castell de Ferro.

**Descripción de las perforaciones**

Las perforaciones se encuentran dentro de una parcela municipal situada a unos 400 m de la línea de costas y están dispuestos en un perfil sensiblemente perpendicular a la línea de costas, separados entre sí unos 5m (Fig. 1). Todos ellos fueron realizados a rotoperforación.

Dos de los sondeos, el S-1 y el S-3 en el sentido de alejamiento de la línea de costas, tienen un diámetro de 250 mm, mientras que los sondeos S-2 y S-4 se realizaron con un diámetro de 320 mm. Los cuatro sondeos atraviesan unos 3 ó 4 m de relleno y materiales detríticos, correspondiendo el resto de la columna a los mármoles del manto de

Parámetro	S-1 (m)	S-2 (m)	S-3 (m)	S-4 (m)
C. E	44-46 51-52 54-55	42-48 52-53	44 49-50	47 51 54 58
Caliper	23-25 27-28 33 41 52 59	24 31 39 42-44 56-57 61-62	15'5 26 35-38 52-55 62'5	13 22 24-25 63'5-65'5 67'5
F.E.A.F.	32-34 40'5-42'5 50'5-54'5 57'5-59	29'8-31'8 38-43 51-52'5 56-62	24'7-26 29'2-31'2 35-37 38'5-41'8 48-49'2 51'5-54 61'5-62'5	23'5-25 31'5-47 54'5 62'5-64 67-68'5
G.N.	32-34 46-47'5 52'8-56'8	26-31'5 44-46 50'5-54 55-58 61'2-63'3	4'2-7 12-14 16-18 21-26'2 33'8-35 40'5-43 44'5-46'2 54'5-57'5	1'8-4 7-9 16-20'5 22-26 30-34'5 36'5-39'5 47-56 66-68'5
Flowmeter	43-45 51 54	45 52	43 49 52	42-54 58 64 68

Tabla 1.- Tramos (en m) que presentan anomalías en los parámetros reseñados: C. E.: conductividad eléctrica; F.E.A.F.: factor eléctrico aparente de formación; G. N.: gamma natural; Flowmeter: flujos verticales. Para mejor comprensión, ver texto.

Table 1.- Steps (in m) that show anomalies of the mentioned parameters: C.E., electric conductivity; F.E.A.F., aparent electric formation factor; G.N., natural gamma radiation; Flowmeter, vertical flow. For better comprehension, see text.

Murtas. Estos mármoles presentan tramos de color blanco, tramos de color gris y tramos con un bandeado muy característico de ambos colores. En las cuatro perforaciones se reconocen franjas más fracturadas, algunas de las cuales presentan pequeños rellenos arcillosos.

Como aspecto relevante a reseñar en relación con la perforación, destaca el hecho de que en la primera de todas el agua se alcanzó a los 16 m de profundidad, y al final de la misma se estabilizó a unos 12 m; además, el caudal fluyente durante las labores de perforación fue siempre en aumento, estimándose valores máximos de entre 40 y 80 l/s.

Terminadas las perforaciones, se llevó a cabo un registro de conductividad eléctrica y temperatura con una sonda WTW (Fig. 2). Se puso de manifiesto una inversión de gradientes de salinidad, que hemos interpretado como provocada por la emulsión detergente que se utilizó durante la perforación a rotoperforación. Como puede observarse, durante la perforación del primer sondeo no se llega a pasar de la zona de

mezcla. Ello es debido a que se trataba de un periodo de aguas altas, en un año bastante húmedo. El propio proceso de perforación, que conlleva una expulsión continuada de agua del acuífero, favoreció el avance de la posición del contacto agua dulce- agua salada, tal y como se recoge en la figura 3.

**Testificaciones realizadas**

Con el fin de determinar en detalle las características geométricas y litológicas de las perforaciones y su posible relación con los flujos de agua, en mayo se realizó una serie de reconocimientos geofísicos y videográficos en los cuatro sondeos. En ellos se registraron los siguientes parámetros: diámetro de la perforación, temperatura y conductividad eléctrica del agua, radiación gamma natural, potencial espontáneo, resistividad a 16" y 64", resistencia monoeléctrica y flujos verticales. En el cuadro se recogen las principales anomalías detectadas en cada uno de los parámetros medidos. La representación gráfica de los resultados se muestra en la figura 3.

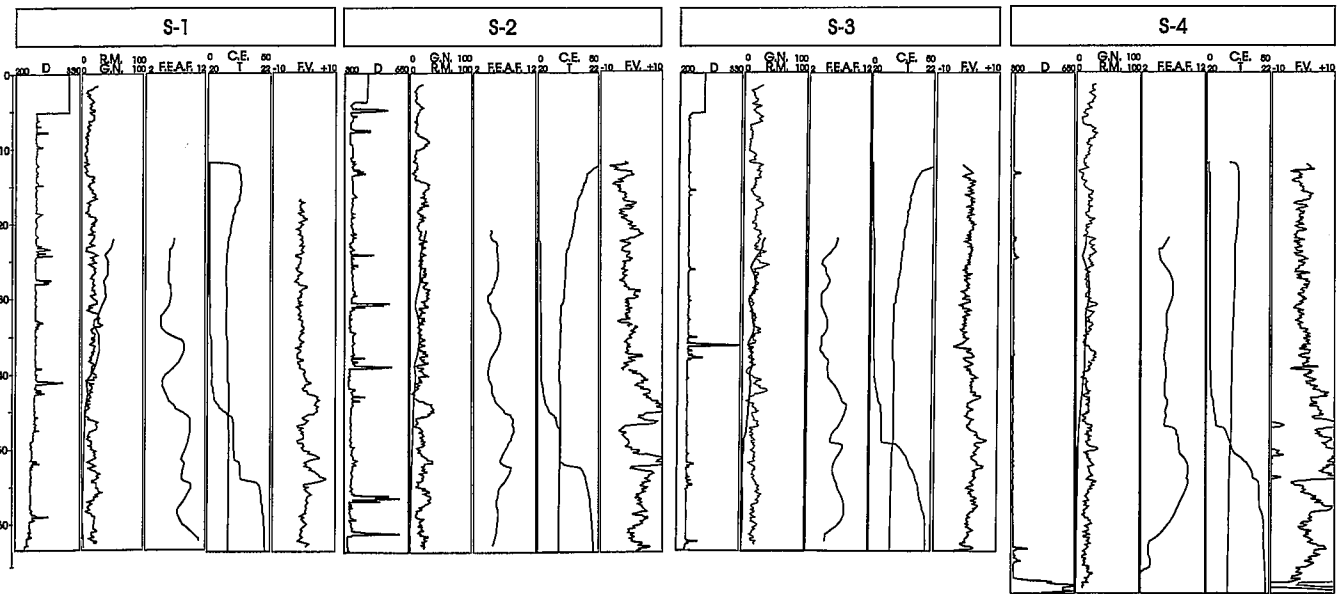


Figura 3.- Registros de diámetros (D), resistencia monoelectrónica (R.M.), gamma natural (G.N.), factor eléctrico aparente de formación (F.E.A.F.), conductividad eléctrica (C.E.), temperatura (T) y flujo vertical (F.V.). Valores en mm, ohm, CPSI, adimensional, mS/cm, °C y l/s, respectivamente.

Figure 3.- Logs of caliper (D), monoelectrode resistance (R.M.), natural gamma radiation (G.N.), aparent electric formation factor (F.E.A.F.), electric conductivity (C.E.), temperature (T) and vertical flow (F.V.). Values in mm, ohm, CPSI, dimensionless, mS/cm, °C and l/s, respectively.

La sonda CALIPER se utilizó para medir el diámetro de los sondeos. Se detectaron ensanchamientos coincidentes esencialmente con fracturas más o menos karstificadas. A partir de los ensayos eléctricos, se calculó el factor eléctrico aparente de formación (F.E.A.F.), que varía según la porosidad de la roca, por lo que informa sobre la presencia de fracturas y cavernas. A partir del registro de la radiación gamma natural se pueden diferenciar dos tipos de materiales, los mármoles y los mármoles con algo de arcillas rellenas huecos y fisuras.

En el registro de conductividad eléctrica y temperatura del agua se observa que los cuatro sondeos atraviesan una columna de agua suficientemente grande para que se obtengan valores propios del agua de mar. El tránsito agua dulce- agua salada no es gradual, sino que presenta dos o tres escalones más o menos bruscos, debido a que la

circulación se produce a través de vías prioritarias. En el registro de flujos verticales se puede detectar la situación de las principales células de circulación.

#### Consideraciones finales

Como puede verse, se detectan grandes diferencias en distancias extremadamente cortas, indicativo de la gran variabilidad espacial de las discontinuidades, de la fracturación y del flujo en el medio kárstico. El dispositivo de sondeos construido constituye una parcela experimental muy adecuada para llevar a cabo experiencias tendentes a caracterizar el funcionamiento hidrodinámico e hidrogeoquímico del contacto agua dulce-agua salada y de su franja de transición. La etapa siguiente será la adecuada instrumentación de los sondeos mediante aparatos de registro en continuo, tipo "data logger".

#### Agradecimientos

La investigación ha sido llevada a cabo en el marco del proyecto AMB 95-0493 (CICYT). Las perforaciones fueron realizadas por PERSOND S.A. y los registros por Pozos Reunidos S.A.

#### Referencias

- Back, W., Hanshaw, B.B., Pyle, T.E., Plummer, L.N. y Weidie, A.E., (1979): *Water Resour. Res.*, 15, 1521-1535.
- Calvache, M.L. (1991): *Tesis Doctoral* Univ. Granada. 317 p.
- Calvache, M.L. y Pulido Bosch, A., (1994): *Ground Water* 32 (5): 767-777.
- Morell, I., Fagundo, J.R., Pulido Bosch, A., Rodríguez, J.E., López Chichano, M., Calvache, M.L., Giménez, E., (1995): *Karst Waters and Environmental Impacts pp*: 191-198. Balkema.