

# Consideraciones sobre las aguas termominerales del acuífero del Cabeço d'Or (Alicante)

## Considerations about the base temperatures of thermomineral waters of Cabeço d'Or (Alicante)

J. M. Andreu (\*), J.C. Cerón (\*\*), A. Pulido-Bosch (\*\*\*) y A. Estévez (\*)

(\*) Instituto del Agua y Medio Ambiente. Universidad de Alicante. 03080. Alicante.

(\*\*) Departamento de Geología. Universidad de Huelva. 21819. Palos de la Frontera. Huelva.

(\*\*\*) Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071. Granada.

### ABSTRACT

The principal physico-chemical characteristics of some thermomineral waters of Cabeço d'Or aquifer are studied. The waters have a temperature between 27-38 °C and they are calcium-sulphate type. The high concentrations of sulphates, calcium, strontium and boron show a probably relationship with the dissolution of evaporitic salts. Two samples have a low nitrate contents and possibly results of mixing processes with cold waters. The minor undersaturated in sulphate salts of well number one shows a water movement through plus highly soluble materials. Conventional chemical geothermometers show a base temperatures around 75 °C

**Key words:** Karstic aquifer, thermomineral waters, geochemical modelling, geothermometers.

*Geogaceta*, 21 (1997), 17-20

ISSN: 0213683X

### Introducción. Encuadre hidrogeológico

El acuífero del Cabeço d'Or se sitúa aproximadamente a 20 km al Noreste de la ciudad de Alicante (Fig. 1) y ocupa alrededor de 15 km<sup>2</sup>. En su parte meridional se encuentran los manantiales termales Del Baño, La Cogolla, Colladet, Balsa de los Romanos, La Mina y La Torreta. Madoz (1834) menciona la existencia de surgencias termales relacionadas con este acuífero en Busot y en el Cerro de Salmitre.

Desde el punto de vista geológico, el área estudiada se encuentra en las Cordilleras Béticas, dentro del denominado Prebético Meridional o Prebético de Alicante (Azema, 1977; Rodríguez-Estrella, 1977) que pertenece al dominio de las Zonas Externas. Las rocas que afloran (Fig.1) corresponden a calizas, de potencia superior a 400 m y edad Portlandiense-Berriasense (Azema, 1977; Estévez *et al.*, 1984; Granier, 1986 y 1987). Discordantemente sobre éstas se encuentran calcarenitas, areniscas y micro-conglomerados, con un espesor de alrededor de 50 m y de edad Berriasense-Valanginiense inferior (Estévez *et al.*, *op. cit.*; Granier, 1987). A continuación existe una serie rítmica formada por margas y margocalizas sobre la que se dispone una secuencia alternante de

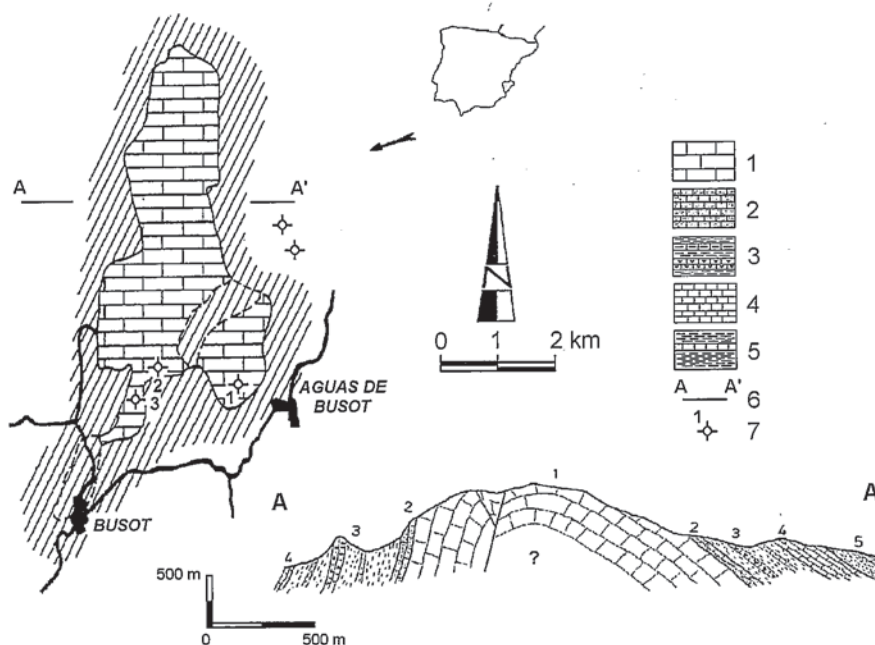


Fig. 1.- Esquema hidrogeológico del acuífero del Cabeço d'Or y corte geológico representativo. 1: calizas; 2: calcarenitas, areniscas y microconglomerados; 3: margas, margocalizas y calizas arrecifales; 4: calizas margoarenosas y margocalizas; 5: calizas y margas; 6: corte geológico; 7: sondeo y su número.

Fig. 1.- Hydrogeological scheme of Cabeço d'Or aquifer and representative geological cross-section. 1: limestones; 2: calcarenites, sandstones and microconglomerates; 3: marls, marly limestones and coral rich limestones; 4: limestones with sand and marls, marly limestones; 5: limestones and marls; 6: geological cross-section; 7: well and its number.

Sondeo	Temp.	Cond.	pH	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	38.0	2170	7.2	98	1038	186	339	79	98	3.5	0.0
2	27.1	1478	7.2	56	686	190	227	61	50	2.6	0.8
3	27.2	1520	7.3	54	735	190	242	68	53	2.6	0.6

Sondeo	Sr <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ba <sup>2+</sup>	Li <sup>+</sup>	P	B	Fe <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cl/SO <sub>4</sub>	Cl/Na	Ca/Mg
1	15	23	0.016	0.032	0.70	0.18	0.177	0.037	0.09	1.0	4.2
2	13	19	0.016	0.026	0.44	0.12	0.030	< 20	0.08	1.1	3.7
3	15	19	0.019	NA	0.59	0.12	NA	< 20	0.07	1.0	3.6

Tabla 1.- Variables hidroquímicas analizadas y algunas relaciones iónicas de interés. Temperatura en °C, Conductividad en  $\mu\text{Scm}^{-1}$  e iones en mg/l. NA: no analizado (Marzo, 1994).

Table 1.- Hydrochemical parameters analyzed and some ionic relations. Temperature in °C, Conductivity in  $\mu\text{Scm}^{-1}$  and ions in mg/l. NA: not analyzed (March, 1994).

calizas margo-arenosas, margas limosas y calizas arrecifales, y que terminan en otro tramo margoso y margocalizo; la potencia de este conjunto es superior a los 500 m y la edad está comprendida entre el Valanginiense superior-Hauteriviense y el Albense superior-Cenomaniense (Estévez *et al.*, *op. cit.*; Granier, *op. cit.*). Sobre todos ellos, y concordantemente sobre los materiales inmediatamente infrayacentes, o bien de forma discordante sobre otros más antiguos, aparecen calizas con intercalaciones de margas rojas o verdes, más frecuentes hacia techo, con una potencia cercana a 50 m en la parte oriental de la Sierra, de edad Senoniense (Azema *et al.*, 1975). Finalizando la serie, se encuentra una alternancia de margas, arcillas y margocalizas con intercalaciones de calcarenitas bioclásticas, con un espesor superior a los 300 m y edad Paleoceno-Mioceno inferior. Por último existen, siempre de manera discordante sobre toda la serie anterior, conglomerados y

arenas del Cuaternario. Todas estas rocas se disponen estructuralmente formando básicamente un anticlinal asimétrico, con dirección aproximada N-S y en el cual afloran las calizas jurásicas en su núcleo y el resto de la serie cretácica en ambos flancos.

En cuanto a las características hidrogeológicas, las calizas jurásicas y las calcarenitas y areniscas del Cretácico inferior presentan un comportamiento acuífero y constituyen el acuífero del Cabeço d'Or. Las calizas senonienses, el tramo de calizas arrecifales y los materiales cuaternarios también presentan un comportamiento acuífero pero, dada la escasa superficie que ocupan y su disposición estructural, carecen de interés hidrogeológico. Las margas cretácicas y la serie terciaria pueden considerarse como acuícludo, siendo el contacto lateral con las rocas acuíferas de tipo mecánico o estratigráfico, de tal forma que limitan el sistema acuífero. La geometría del sustrato impermeable resulta difícil de esta-

blecer dado que los sondeos existentes no llegan a atravesar el conjunto carbonatado; estudios regionales establecen un tramo margoso de edad Kimmeridgiense superior como el impermeable de base (IGME-IRYDA, 1978; IGME-Dip. Alicante, 1982). La transmisividad está comprendida entre 160 y 2400 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento entre 1,7 y 2,8 % (IGME, 1987). Inicialmente, el área de descarga natural del acuífero se encontraba en su parte meridional, pero la intensa explotación del sistema a partir de la década de los 60 provocó un rápido descenso del nivel piezométrico, por debajo de los 250 m con respecto a su nivel original, que afectó a las surgencias naturales - hasta el punto de quedarse secas - y con la consiguiente sobreexplotación del acuífero (Pulido-Bosch, 1991). Actualmente, a pesar de que el sistema ha dejado de estar sobreexplotado (Andreu *et al.*, 1992; Pulido *et al.*, 1995), el nivel del agua aún se encuentra a una profundidad superior a los 270 m.

#### Características fisicoquímicas de las aguas

Los sondeos Balneario (1), Salmitre-Cantera (2) y Salmitre (3) son los únicos que actualmente explotan el acuífero. Las características fisicoquímicas de cada uno de ellos se muestran en la Tabla 1. Las aguas son de facies sulfatada cálcica, las cuales se han mantenido con ligeras variaciones en las concentraciones desde hace varios años (Pulido-Bosch *et al.*, 1995). La conductividad está comprendida entre 1470 y 2170  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , la temperatura entre 27,1 y 38 °C y el pH entre 7,2 y 7,3. Con respecto a los iones analizados, destacan las concentraciones anómalamente elevadas de sulfato (más bajas a medida que nos desplazamos hacia

Mineral	Balneario (1)	Salmitre-Cant. (2)	Salmitre (3)
Anhidrita	-0.446	-0.789	-0.749
Calcita	0.353	0.130	0.246
Celestina	-0.116	-0.266	-0.183
Dolomita	1.500	1.010	1.262
Yeso	-0.263	-0.517	-0.478
Halita	-6.757	-7.237	-7.233
Cuarzo	0.435	0.490	0.488

Tabla 2.- Valores de los índices de saturación de las aguas analizadas.

Table 2.- Saturation index values of analyzed waters.

Geotermómetro	Método	Balneario (1)	Salmitre-Cant. (2)	Salmitre (3)
Sílice-Cuarzo	Kharaka y Mariner (1989)	76	69	69
Na-K	Fournier y Truesdell (1973)	89	119	114
Na-K-Ca	Fournier y Truesdell (1973)	104	113	111
Na-Li	Kharaka y Mariner (1989)	100	118	—
Calcita-Dolomita	Marini <i>et al.</i> (1986)	72	42	34

Tabla 3.- Temperaturas de base (°C) estimadas con diferentes geotermómetros químicos.

Table 3.- Base temperatures (°C) obtained with different chemical geothermometers.

el extremo Suroeste del acuífero), calcio, estroncio y boro, y que parecen indicar una relación con sales sulfatadas (¿Keuper?), supuesto que podría confirmarse con las dataciones isotópicas que se están realizando. Los valores de las relaciones  $Cl/Na^+$  (1),  $Cl/SO_4^{2-}$  (0,07 a 0,09) y  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  (3,6 a 4,2) indican que las características geoquímicas de los tres sondeos son similares, aunque podría existir un cierto grado de mezcla con aguas más superficiales en el n° 2 y el n° 3, como parece indicar su menor temperatura y la presencia de nitratos.

#### Consideraciones sobre los estados de equilibrio termodinámico e hidrotermalismo.

Las temperaturas de campo medidas, superiores a 27 °C, indican que los tres sondeos son claramente termales. El hecho de que el sondeo n° 1 tenga, con respecto a los otros dos, los valores más elevados de temperatura (38 °C) y de concentración de los iones analizados, hace suponer que el agua ha tenido un tiempo de residencia mayor, que ha permitido un tiempo de contacto con la roca más prolongado, así como un aumento de su temperatura. Mediante la aplicación del programa Solmineq.88 (Kharaka *et al.*, 1988) se determinaron los estados de equilibrio termodinámico en las condiciones de surgencia, con objeto de establecer una "estructura hidrogeoquímica" que pudiera explicar la interrelación entre la litología atravesada por las aguas y su composición química. De acuerdo con esto, se obtuvo el índice de saturación, definido como  $IS = \log(P_{ai} / K_i)$ , del fluido con respecto a los minerales representativos de las condiciones litológicas del acuífero, según el pH y la temperatura de campo (Tab. 2).

Se puede ver que las tres muestras están saturadas en cuarzo, similar a lo que sucede en otras áreas relativamente próximas (Cerón *et al.*, 1993; Cerón, 1995), al igual que en calcita y en dolomita. Con respecto a los minerales sulfatados -anhidrita, yeso y celestina - y la halita, todas están subsaturadas, aunque el grado de subsaturación no es el mismo; así, el sondeo n° 1 es el que menos subsaturado está con respecto a estos minerales, y podría ser el resultado de la circulación del agua por rocas de características más salinas, con una mayor capacidad de solubilización.

Los resultados de la utilización de diferentes geotermómetros se muestran en la Tabla 3. El geotermómetro sílice-cuarzo señala temperaturas de base relativamente similares, comprendidas entre 76 y 69 °C; los contenidos en sílice anormalmente elevados podrían indicar que existe un posible equilibrio de la sílice en profundidad controlado por el cuarzo. Las temperaturas de base obtenidas con los geotermómetros Na-K, Na-K-Ca y Na-Li, comprendidas entre 89 y 119 °C, resultan más elevadas que las indicadas por la geotermometría de la sílice. Este hecho tendría su explicación en lo señalado por Michard (1979) y Saxena y Gupta (1985), que consideran que la aplicación de las geotermometrías de la sílice siempre dan temperaturas más bajas que las de Na-K; por otro lado, Auqué *et al.*, (1986) hacen notar que la presencia de concentraciones elevadas de sulfatos también pueden sobrevalorar las temperaturas del geotermómetro Na-K. Sin embargo, parece también probable que se deba a que el control del  $Na^+$  en el acuífero está determinado por la presencia de sales cloruradas y no por la existencia de feldespatos, como requiere la base teórica de estos geotermómetros.

El geotermómetro específico calcita-dolomita, utilizado para acuíferos evaporítico-carbonatados, proporciona una temperatura en el sondeo n° 1 de 72 °C, muy próxima a la del geotermómetro sílice-cuarzo; sin embargo, consideramos que las indicadas para los sondeos n° 2 y n° 3 no serían correctas. Los geotermómetros sílice-calconia, sílice-cristobalita y Mg-Li dieron resultados anómalos, con temperaturas de base por debajo de las de surgencia, mientras que el geotermómetro Na-K-Ca con corrección de Mg no se pudo aplicar en ninguno de los tres sondeos. Luego, los resultados obtenidos parecen señalar que la temperatura de base más probable estaría en torno a los 75 °C.

#### Conclusiones

Las aguas del acuífero del Cabeço d'Or muestran una clara anomalía termal, con temperaturas comprendidas entre 27 y 38 °C. Se encuentran concentraciones anormalmente elevadas de sulfatos, calcio, estroncio y boro, y que parecen indicar una relación con sales sulfatadas existentes en la base del acuífero. Las relaciones  $Cl/Na^+$ ,  $Cl/SO_4^{2-}$  y  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  señalan unas características geoquímicas relativamente similares en los tres sondeos. En los sondeos n° 2 y n° 3, con temperaturas más bajas que el n° 1 y contenidos en ion nitrato, podría existir un cierto grado de mezcla con aguas más superficiales. El menor grado de subsaturación en los distintos minerales sulfatados que muestran las aguas del sondeo n° 1 se interpreta como la existencia de una circulación preferente por materiales más salinos, con mayor capacidad de solubilización. El estudio de las temperaturas de base señala como temperatura más probable un valor cercano a los 75 °C.

**Agradecimientos**

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto AMB95-0493, financiado por la CICYT.

**Referencias**

- Andreu, J.M., Estévez, A., Pulido-Bosch, A. y Rodríguez, L. (1992): *V Simp. Hidrog. Recursos. Hidricos*. Alicante, XV: 77-87.
- Auqué, L., Sánchez, V. y Fernández, J. (1986): *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, 41: 161-183.
- Azema, J. (1977): *Thèse de doctorat*. Université Pierre et Marie Curie. Paris. 395 pp.
- Azema, J., Leclerc, J. y Leret, F. (1975): *Bol. Geol. Min.*, 86, 2: 135-141.
- Cerón, J.C. (1995): *Tesis Doct.* (inédita). Universidad de Granada, 259 pp.
- Cerón, J.C., Pulido-Bosch, A. y Padilla, A. (1993): *Estudios Geol.*, 49: 49-61.
- Estévez, A., García-Hernández, M., Pina, J.A. y Auernheimer, C. (1984): *I Congr. Esp. Geol.*, V: 189-197.
- Fournier, R. y Truesdell, A. (1973): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37: 1255-1275.
- Granier, M. (1986): *Mediterránea*, 5: 5-95.
- Granier, M. (1987): *Thèse doctorat*. Université Pierre et Marie Curie. Paris, 360 pp.
- IGME-IRYDA (1978): PIHCBS-PNAS, *Informe técnico nº 7*: 200 pp.
- IGME-Dip. Prov. Alicante (1982): *Informe técnico*, 754 pp.
- IGME (1987): *Informe técnico*, 70 pp.
- Kharaka, Y., Gunter, W., Aggarwal, P., Perkins, E. y DeBraal, J. (1988): *U.S. Geol. Surv. Open File Report*, 419 pp.
- Kharaka, Y. y Mariner, R. (1989): In Naeser, N. y McCulloh (Eds.): *Springer-Verlag*, 99-117.
- Madoz, P. (1834): In *Excma. Dip. Prov. Valencia* (Ed., 1982).
- Marini, L., Chiodini, G. y Cioni, R. (1986): *Geothermics*, 15: 77-86.
- Michard, G. (1979): *BRGM*, III, 2: 183-189.
- Pulido-Bosch, A. (1991): *XXIII Congr. A. I. H. "Sobrexplotación de acuíferos"*: 557-561.
- Pulido-Bosch, A., Andreu, J.M. y Estévez, A. (1995): *Hydrogéologie*, 3: 31-37.
- Saxena, V. y Gupta, M. (1985): *Jour. Volcanol. Geother. Res.*, 25: 181-191.
- Siever, R. (1962): *J. Geol.*, 70: 127-150.
- Rodríguez-Estrella, T. (1977): *Bol. Geol. y Min.*, LXXXVIII-IV: 183-214.