

Consideraciones sobre la hidroquímica de las aguas termales de «los Baños de Sierra Elvira» (Granada)

Considerations about the hydrochemistry of thermal waters of Baños de Sierra Elvira (Granada)

J.C. Cerón (*) y A. Castillo (**)

(*) Departamento de Geología. Universidad de Huelva. 21819 - Huelva.

(**) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Univ. Granada). 18071 - Granada.

ABSTRACT

The principal physico-chemical characteristics of thermomineral waters of Baños de Sierra Elvira are studied (Middle Subbetic, Granada). The waters are calcium-sulphate type, with salinity around 2,5 g/l and temperature of 32 °C. By SOLMINEQ.88 program the thermodynamic equilibrium conditions in surface are studied. The waters are saturated in most of mineral studied and have a base temperature of 63 °C (silica-quartz themometry). The results obtained show a long-term residence of waters, affected with mixing processes of shallow fresh-waters with low nitrate values.

Key words: hydrochemistry, thermomineral waters, carbonatic aquifer.

Geogaceta, 19 (1996), 130-133

ISSN: 0213683X

Introducción. Encuadre hidrogeológico

«Los Baños de Sierra Elvira» pertenecen al acuífero kárstico de Sierra Elvira (Subbético medio; Granada), y corresponden a una simagruta abierta en calizas liásicas, por la que se accedía, hasta hace pocos años, al nivel saturado. El agua, hoy día, tiene que ser bombeada a través de un sondeo, realizado junto a la sima, al haber descendido los niveles por explotación por debajo del acceso histórico. Desaparecido el último establecimiento balneario, actualmente el aprovechamiento de las aguas se limita a instalaciones de baño al aire libre.

Debido al histórico aprovechamiento de estas aguas termales y minero-medicinales (32 °C, declaradas de utilidad pública en 1840), se trata de un lugar muy conocido del área metropolitana de Granada. La simagruta se localiza a 12 km al Noroeste de Granada capital, junto al km. 430,5 de la C.N. 432, en el término municipal de Atarfe (Granada).

Desde el punto de vista geológico, Sierra Elvira constituye uno de los macizos carbonatados pertenecientes al Subbético medio, dentro de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Los materiales que

aflojan en el área (Fig. 1) poseen una edad comprendida entre el Triásico y el Cuaternario, con litologías que van desde las carbonatadas a las arcillosas, evaporíticas o no. Su llamativo emplazamiento dentro de la depresión postorogénica de Granada, de la que emerge merced a una estructura tectónica tipo Horst, es su peculiaridad estética más significativa. La coincidencia en el enclave de valores didácticos de tipo stratigráfico, paleontológico y tectónico, entre otros, y, sobre todo, su cercanía a Granada capital, han hecho a esta pequeña sierra (18 km²) muy conocida entre promociones de geólogos y naturalistas granadinos. Mayores precisiones acerca de la geología de la zona pueden encontrarse en García-Dueñas (1967), Braga *et al.* (1979), Rivas *et al.* (1979), IGME (1988)...

Desde el punto de vista hidrogeológico, este punto de agua (Nº 1941-6-030, ITGE) está ligado al acuífero kárstico de Sierra Elvira (FAO/IGME, 1972; ITGE, 1989; Castillo, 1986, 1992; Diputación de Granada-ITGE, 1990...). Del conjunto de materiales que conforman la serie subbética, los carbonatados (calizas y dolomías), del Lías inferior-medio, son los que constituyen el acuífero kárstico, que se extiende sobre una

superficie permeable próxima a los 8,5 km². El espesor saturado es desconocido, aunque por datos relacionados con el origen del termalismo y con la estructuración tectónica del área, hay evidencias de que se trata de un macizo kárstico muy enraizado y transmisivo. El substrato impermeable debe estar constituido por materiales margo-yesíferos del Triás. Los límites laterales vienen impuestos por fallas normales de gran salto, que provocan una brusca caída de la permeabilidad por la presencia, en el labio hundido, de conglomerados con abundante matriz arcillosa del relleno de la Depresión de Granada. Sólo el borde Sur permite la conexión hídrica, al tratarse, en este caso, de materiales aluviales permeables del acuífero de la Vega de Granada (FAO/IGME, 1972; Castillo, 1986...).

La alimentación proviene de la recarga pluviométrica sobre la superficie permeable, y verosímelmente de aportes externos adicionales. Los recursos se han estimado en unos 6 hm³/año. La descarga se produce tanto de forma oculta hacia el acuífero de la Vega de Granada, a través del borde de falla de «los Baños de Sierra Elvira» - Pinos Puente, como por las extracciones localizadas en dicho borde (del orden de 3 hm³/año en 1994-95).

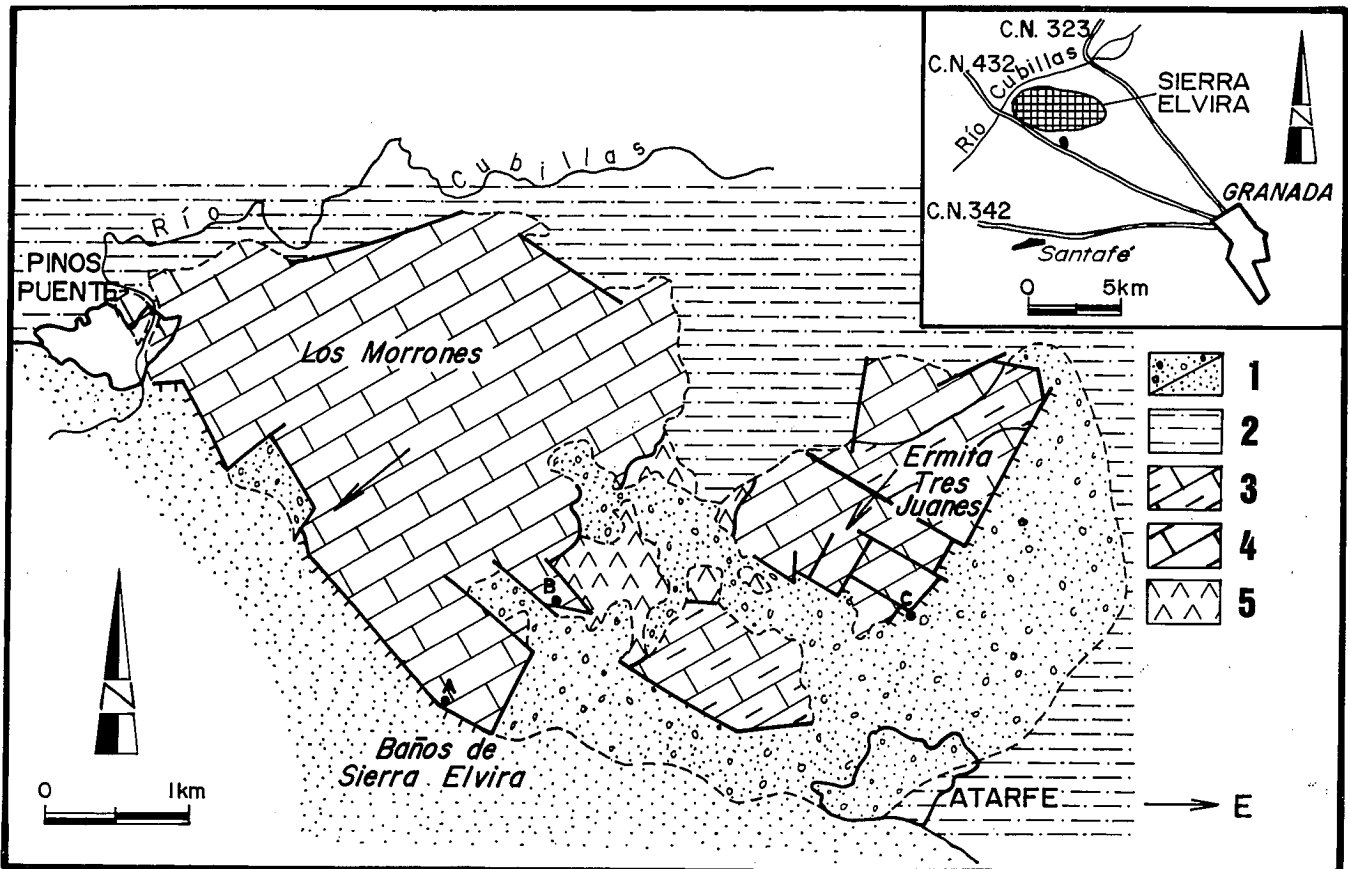


Fig. 1.- Situación geográfica y esquema hidrogeológico de Sierra Elvira. 1: Conglomerados arcillosos cuaternarios de pie de monte (acuitardo)/Gravas, arenas y limos aluviales (acuífero); 2: Conglomerados arcillosos y arcillas del Pliocuatnario (acuitardo); 3: Margocalizas y calizas margosas del Jurásico (acuitardo); 4: Dolomías y calizas, con eventuales tramos margocalizos, del Jurásico (acuífero de Sierra Elvira); 5: Margas con yesos del Triás (acuícludo); A: Baños de Sierra Elvira; B: Sima de Raja Santa; C: Sondeo del Ayuntamiento de Atarfe; E: Dirección del flujo. Adaptado del IGME (1988).

Fig. 1.- Location map and hydrogeological schema of Sierra Elvira. 1: Alluvial gravels, sands and silts (aquifer)/Quaternary piedmont clayey conglomerates (poor aquifer); 2: Plio-Quaternary clayey conglomerates and clays (poor aquifer); 3: Jurassic marly limestones and limestones (poor aquifer); 4: Jurassic dolomite and limestone with marly limestones intercalations (Sierra Elvira aquifer); 5: Triassic marls with gypsum levels; A: Baños de Sierra Elvira; B: Pit of Raja Santa; C: Well of Atarfe municipal government; E: Flow direction. Adapted from IGME (1988).

El reciente control de niveles en varios piezómetros de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, así como en el punto 1941-6-030, está suministrando información muy valiosa acerca del comportamiento hídrico del sistema. Los datos obtenidos hasta ahora apuntan hacia una posible sobrevaloración de los recursos del sistema, hecho que, de confirmarse, hará replantearse el funcionamiento hidrogeológico y los factores condicionantes del termalismo. En este sentido, es posible que fenómenos de tipo convectivo y de inducción de calor tengan mayor protagonismo, en detrimento de importantes procesos de mezcla con aguas calientes de procedencia externa y profunda.

Características físicoquímicas de las aguas

Las aguas del acuífero kárstico de Sierra Elvira presentan como característica más representativa un claro termalismo, con temperaturas de emergencia próximas a los 32 °C, muy regulares a escala temporal y con moderadas variaciones espaciales (habituales entre los 26 y 34 °C). La salinidad, del orden de 2-2,5 g/l, ofrece valores de conductividad en torno a los 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (con oscilaciones espaciales entre 2.200 y 3.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Las facies son en todos los casos sulfatadas cálcicas ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- / \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$).

En la tabla 1 se muestran los resultados analíticos obtenidos por uno de nosotros (ACM) para las aguas de

«los Baños de Sierra Elvira» en distintas fechas (1-6), junto a un análisis promedio (7), y al análisis de otros dos puntos representativos del acuífero (8 sima de Raja Santa, en Martín *et al.*, 1994; 9 sondeo del Ayuntamiento de Atarfe, en Castillo, 1992).

La información analítica obtenida hasta el momento es reflejo de un sistema que posee gran homogeneidad y regularidad composicionales. En relación con los iones mayoritarios, destaca la elevada concentración en sulfatos (entre 650 y 1.000 mg/l), cloruros (entre 300 y 450 mg/l), calcio (entre 200 y 350 mg/l), magnesio (entre 90 y 170 mg/l) y sodio (170 y 225 mg/l).

La analítica de elementos minoritarios y traza (Granda, 1978;

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fecha	09-83	12-83	03-84	03-89	10-90	3-94		9-89	?-85
Temp.	32,0	32,0	30,5	31,5	-----	31,9	31,6	31,2	28
pH	7,1	7,2	6,9	-----	-----	7,1	7,1	6,8	-----
Cond.	2.391	2.450	2.160	2.810	3.050	2.753	2.602	3.240	3.500
Cl ⁻	344	320	298	369	462	348	357	341	373
SO ₄ ²⁻	983	680	784	862	967	851	855	1.231	1.286
HCO ₃ ⁻	326	300	296	290	275	272	293	244	201
Ca ²⁺	285	206	271	284	336	310	282	360	372
Mg ²⁺	112	176	127	124	97	99	123	102	142
Na ⁺	177	185	172	215	225	195	195	198	235
K ⁺	9	12	11	10	-----	10	10	-----	-----
SiO ₂	21	18	20	-----	-----	-----	20	-----	-----
NO ₃ ⁻	11	13	19	14	11	11	13	-----	-----
NO ₂ ⁻	0	0	0	< 0,05	< 0,05	-----	-----	-----	-----
F ⁻	2.1	1.5	1.8	2.5	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 1.- Valores analíticos de las aguas de «los Baños de Sierra Elvira» (1-6; 7 media) y de otros dos puntos representativos del acuífero de Sierra Elvira (8 sima de Raja Santa, en Martín et al., 1994, y 9 sondeo del Ayuntamiento de Atarfe, en Castillo, 1992). Temperatura en °C, conductividad en µS/cm a 25 °C e iones en mg/l.

Table 1.- Some analytical results of the Baños de Sierra Elvira waters (1-6; 7 mean) and two representative points of the Sierra Elvira aquifer (8 pit of Raja Santa, in Martín et al., 1994, and 9 well of Atarfe municipal government, in Castillo, 1992). Temperature in °C, conductivity in µS/cm to 25 °C and ions in mg/l).

Castillo, 1986) indica la existencia de concentraciones relativamente altas para constituyentes como litio, fluoruros o sílice, con valores de 1,5, 2 y 20-30 mg/l, respectivamente. Los elementos metálicos se encuentran en bajas concentraciones. Las aguas están exentas de indicios de contaminación, salvo en lo que respecta a los nitratos, que aunque en baja concentración, sobre 10-15 mg/l, son significativamente altos para aguas termales, e indicarían procesos de mezcla con agua superficiales. Finalmente, en la tabla 2 se pueden ver algunas relaciones iónicas de interés, obtenidas para el análisis promedio (7).

Consideraciones hidroquímicas sobre las aguas de "los Baños de Sierra Elvira"

A fin de profundizar en el conocimiento de la hidroquímica de «los Baños de Sierra Elvira» se

simularon los estados de equilibrio termodinámico en las condiciones de surgencia y se obtuvieron los índices de saturación de las principales especies minerales. Para ello se aplicó el programa SOLMINEQ.88 (Kharaka et al., 1988), utilizando los datos analíticos promedio obtenidos (Tabla 3, análisis 7). Así, se observa que existe una sobresaturación en cuarzo, saturación en calcita, aragonito, dolomita y calcedonia, y subsaturación en cristobalita, anhidrita, yeso y halita.

Los resultados obtenidos serían indicativos de altos periodos de residencia, junto al papel jugado por rocas carbonatadas y evaporíticas en el quimismo de las aguas. En el caso de no ser relativamente cuantiosos los aportes profundos termales, habría que invocar tiempos de renovación muy altos del sistema, y, por tanto, la existencia de un macizo bastante enraizado y transmisivo, con un importante volumen de reservas.

rMg ²⁺ /rCa ²⁺	0.72
rNa ⁺ +rK ⁺ /rCa ²⁺ +rMg ²⁺	0.36
rSO ₄ ²⁻ /rCl ⁻	1.77
rCl ⁻ /rHCO ₃ ⁻	2.10
rK ⁺ /rNa ⁺	0.03
ICB	0.13
SAR	2.4
Kr	3.3
Dureza total (°F)	121

Tabla 2.- Algunas relaciones iónicas de interés correspondientes al análisis promedio (7); r: meq/l.

Table 2.- Some ionic relations of the mean analysis (7); r: meq/l.

Para la determinación de las temperaturas de base se utilizaron los geotermómetros sílice-cuarzo y sílice-calcedonia. Se descartó la aplicación de geotermómetros de los tipos Na-K y Na-K-Ca, en el primer caso por los bajos contenidos en potasio, y en el segundo por la improcedencia del calcio a partir de feldespatos cálcicos. Los valores obtenidos oscilaron entre 63 °C (geotermómetro sílice-cuarzo) y 31 °C (geotermómetro sílice-calcedonia), siendo la temperatura de este último anómala por ser inferior a la de surgencia. Más información sobre el termalismo y las temperaturas de base de los acuíferos kársticos subbéticos puede hallarse en Cruz-Sanjulián y García-Rossell (1975), Cruz-Sanjulián y Granada (1979) o Benavente y Sanz de Galdeano (1985).

Conclusiones

La respuesta hidrodinámica del acuífero a las cuantiosas extracciones a las que se está sometiendo, manifestada por la evolución piezométrica, parece evidenciar la existencia de un menor valor de los recursos estimados, junto a una extraordinaria transmisividad del macizo kárstico. Ello arroja nuevas incertidumbres sobre el origen del termalismo, en el que los fenómenos de inducción de calor y de circulación convectiva, en un afloramiento

Fuerza Iónica	0.054
PCO ₂ (bares)	0.022
Anhidrita	-0.92
Aragonito	0.25
Calcita	0.43
Calcedonia	0.33
Cristobalita	-0.69
Dolomita	0.27
Halita	-8.20
Yeso	-0.60
Cuarzo	0.64

Tabla 3.- Valores de los índices de saturación, fuerza iónica y PCO₂ correspondientes al análisis promedio (7).

Table 3.- Saturation index, ionic strengths and PCO₂ values of the mean analysis (7).

verosíblemente muy enraizado y transmisor, ganan protagonismo frente a la existencia de importantes procesos de mezcla a través de flujos profundos y calientes.

Las aguas termales y minero-medicinales de «los Baños de Sierra Elvira» presentan temperaturas de emergencia de 32 °C, mientras que la temperatura de base obtenida con el geotermómetro sílice-cuarzo es de 63°C. La salinidad de las aguas es del

orden de 2,5 g/l y la facies sulfatada cálcica. La aplicación del programa SOLMINEQ.88, para el estudio de los estados de equilibrio termodinámico en las condiciones de surgencia, refleja una saturación en todas las especies minerales carbonatadas estudiadas, además del cuarzo. También se pone de manifiesto la existencia de un notable proceso de mezcla con aguas recientes superficiales.

La investigación hidroquímica realizada hasta el momento no es determinante sobre el origen del termalismo, estando en fase de realización estudios isotópicos y la continuación de los registros piezométricos.

Agradecimientos

Este trabajo se benefició de dos contratos de investigación (039/87 y 066/89) suscritos entre la Universidad de Granada y la Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPTMA), así como de un Contrato de Asistencia Técnica de la Fundación Empresa-Universidad de Granada. Asimismo, se enmarca en los trabajos del proyecto de la CICYT AMB92-211.

Referencias

- Benavente, J. y Sanz de Galdeano, C. (1985). *Est. Geol.*, 47, 177-188.
- Braga, J.C., Jiménez, A.P. y Rivas, P. (1979). *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 10, 597-604.
- Castillo, A. (1986). *Tesis Doctoral*. IGME-Univ. Granada, 658 p.
- Castillo, A. (1992). *Naturalia Baética*, 4, 73-80.
- Granda, J.M. (1978). *Tesis Doctoral*. Univ. Bilbao (inédita). 263 p.
- Cruz-Sanjulián, J. y García-Rossell, L. (1975). *Bol. Geol. y Min.*, 86, 179-186.
- Cruz-Sanjulián, J. y Granda, J.M. (1979). *II Simp. Nac. Hidrogeología*, V: 547-567.
- Dip. Prov. Granada e ITGE (1990). *Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Granada*. Ed. Dip. Prov. Granada. 107 p.
- FAO/IGME (1972). *Utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada*. (inf. restringido). 204 p. Madrid.
- García-Dueñas, V. (1967). *Tesis Doctoral*. Univ. Granada (inédita). 534 p.
- IGME (1988). *Mapa Geológico a escala 1:50.000, y memoria, de la hoja nº 1.009 (Granada)*. Madrid.
- ITGE (1989). *Vega de Granada*. Col. Manual de Utilización de Acuíferos.
- Kharaka, Y., Gunter, W., Aggarwal, P., Perkins, E. y DeBaal, J. (1988). *U.S. Geol. Surv., Open File Report*, 419 p.
- Martín, W., Martínez, J.M., Pérez, J.D. y Morillas, J. (1994). *Espeleotemas*, 4, 43-60.
- Rivas, P., Sanz de Galdeano, C. y Vera, J.A. (1979). *Itinerarios geológicos en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Itinerarios: Granada-Jaén y Cabra-Loja*. Secretariado de Publicaciones, Univ. Granada. 87 p.