

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-García* y A. Castillo**

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

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

ABSTRACT

El funcionamiento hidrogeológico del acuífero termal de Sierra Elvira presenta aún importantes incertidumbres, relacionadas fundamentalmente con el origen del termalismo y con la cuantía de sus recursos renovables. En el presente artículo se hacen algunas consideraciones sobre la hidroquímica, que no han sido concluyentes al respecto. Se presenta el quimismo tipo de estas aguas, junto a los resultados obtenidos de aplicar los programas SOLMINEQ y WATEQF. Para una aproximación a la temperatura de base se aplican los geotermómetros de NA-Mg y del cuarzo

Key words: *Hydrochemistry, thermomineral waters, carbonatic aquifer.*

Introducción. Encuadre hidrogeológico

Los "Baños de Sierra Elvira", lugar histórico de aprovechamiento de aguas termales, siempre estuvieron ligados al acceso a las aguas a través de una sima-gruta abierta en las calizas liásicas de Sierra Elvira (Subbético medio; Cordilleras Béticas); por dicho acceso se llegaba al nivel saturado del acuífero, a sólo unos ocho metros de la superficie del terreno. Desaparecido el último establecimiento balneario en 1944, hoy día el aprovechamiento de las aguas se limita a instalaciones de baño al aire libre. El agua tiene ya que ser bombeada a través de un sondeo, realizado junto a la sima, al haber descendido los niveles por debajo del acceso histórico.

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 capital. La sima-gruta se localiza a 10 km al Noroeste de Granada capital, junto a la carretera, en la parte central de la hoja topográfica 1:50.000 nº 1.009 (19-41: Granada). Su situación UTM es....y su altitud de....

Desde el punto de vista geológico, Sierra Elvira pertenece al Subbético medio (Cordilleras Béticas), representando el afloramiento más meridional de esta unidad (García Dueñas, 1967...). Su llamativo emplazamiento dentro de la depresión postorogénica de Granada, de la que sobresale merced a una estructura tectónica de Horst, es su peculiaridad estética más significativa. Los materiales que constituyen la serie abarcan un periodo de edad comprendido entre el Trías y el Mioceno, y poseen litologías variadas, que van desde las arcillosas-evaporíticas hasta las carbonatadas. La coincidencia en el enclave de valores didácticos de tipo estratigráfico, paleontológico y tectónico, entre otros, y, sobre todo, su cercanía a Granada capital, han hecho a esta pequeña sierra (18 km²) muy conocida entre las promociones de geólogos y naturalistas granadinos.

Desde el punto de vista hidrogeológico, este punto de agua (Nº 1941-6-031, ITGE) está ligado al acuífero kárstico de Sierra Elvira (IGME, 1972, 1986; Castillo, 1986, 1992; Diputación de Granada-ITGE, 1990...). Los tramos carbonatados de la serie (calizas y dolomías), del Lías inferior-medio, conforman el acuífero kárstico, que se extiende sobre una superficie permeable próxima a los

8,5 km²; el espesor saturado es desconocido, aunque por diversas evidencias, ligadas al termalismo y a la estructuración tectónica del área, se supone muy elevado. El substrato impermeable debe estar constituido por materiales arcilloso-evaporíticos del Trías. Los límites laterales coinciden con una fuerte disminución de la permeabilidad, al confrontar las fallas normales de borde a los materiales carbonatados con los detríticos (fundamentalmente conglomerados con abundante matriz arcillosa) del relleno de la Depresión de Granada. Sólo el borde Sur permite una conexión hidrica, al tratarse, en este caso, de materiales aluviales permeables del acuífero de la Vega de Granada (IGME-FAO, 1972, Castillo, 1986...).

Los recursos del sistema fueron estimados en unos 6 hm³/año (.....), incluyendo la recarga pluviométrica directa (2,5 hm³/año) y posibles aportaciones profundas (al menos otros 2,5 hm³/año). La descarga, de tipo oculto, se produce hacia el acuífero de la Vega de Granada (....), a través del borde de falla de "Los Baños de Sierra Elvira" - Pinos Puente. El grado de explotación actual se calcula en unos 3 hm³/año. El control de la evolución de niveles en varios piezómetros pertenecientes a la CHG, así como en el punto 1941-6-030 están suministrando información muy valiosa sobre el comportamiento hídrico del sistema. Los datos obtenidos hasta ahora, apuntan hacia una posible sobrevaloración de los recursos de la unidad, hecho que, de confirmarse, debe tener consecuencias sobre el origen 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 termales de proccencia externa y profunda.

Fig. 1.- Situación geográfica y mapa hidrogeológico de Sierra Elvira. LEYENDA: 1: Margas con yesos del Trías (acuicludo); 2.- Dolomías y calizas, con eventuales tramos margocalizos del Jurásico (acuífero de Sierra Elvira); 3.- Margocalizas y calizas margosas del Jurásico (acuitardo), 4.- Conglomerados arcillosos y arcillas del pliocuaternario (acuitardo); 5.- Arenas y gravas, con algo de matriz arcillosa (acuífero de la vega de Granada). a.- Baños de Sierra Elvira; b.- Sima de raja Santa c.- Sondeos de Pinos Puente d.- Sondeo de Atarfe. e: dirección del flujo. Adaptado del IGME (1988).

Fig. 1.- Location map and hydrogeological schema of the studied area. 1:clays with silts and conglomerates of Quaternary (poor aquifer); 2:conglomerates, sands, silts and clays of Plio-Quaternary (aquifer-poor aquifer); 3:limestones and dolostones of Liassic under-middle (aquifer); 4:riodacites of Trías; 5:marbles with gypsums of Triassic; 6:discordant contact; 7:mechanical contact; 8:fault; 9:normal fault; 10:flow direction. Adapted of IGME (1988).

Características físico-químicas de las aguas

Las aguas del acuífero kárstico de Sierra Elvira presentan como característica más representativa un claro termalismo, con temperaturas de emergencia, muy regulares a escala temporal, próximas a los 32 °C (y variaciones espaciales habituales entre los 26 y 34 °C); la conductividad oscila entre 2.200 y 3.500 µS/cm, equivalente a un salinidad total del orden de 2,5 g/l. La facies es sulfatada cálcica (SO₄²⁻>Cl⁻>HCO₃⁻/Ca²⁺>Mg²⁺>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" (1-6), junto a un análisis promedio de las mismas (7), así como la analítica 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).

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

Mg²⁺	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	----	----
SiO₂	21	18	20	----	----	----	20	----	----
NO₃⁻	11	13	19	14	11	11	13	----	----
NO₂⁻	0	0	0	< 0,05	< 0,05	----	----	----	----
F⁻	2.1	1.5	1.8	2.5	----	----	----	----	----

Tabla 1.- Algunos 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 EC, conductividad en $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25 EC; constituyentes en mg/l).

Table 1.- Some analytical results of the Baños de Sierra Elvira waters (temperature in EC, conductivity in $\mu\text{s}/\text{cm}$ to 25 EC, Cu^{2+} and Zn^{2+} in $\mu\text{g}/\text{l}$; rest of ions in mg/l).

La información analítica obtenida hasta el momento indica que el sistema tiene una gran homogeneidad y regularidad composicional. 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), magnesio (entre 90 y 170 mg/l) y sodio (170 y 225 mg/l). Los iones nitrato y nitrito presentan valores de concentración inferiores a 20 mg/l y a 0,05 mg/l respectivamente. Finalmente, y en relación con los iones minoritarios y trazas, la sílice y el flúor se encuentra en concentraciones relativamente altas, próximas a los 20 mg/l y 2 mg/l, respectivamente.

Fig. 2.- Diagrama de Piper de las aguas de los Baños de Sierra Elvira.

Fig. 2.- Piper diagram of the Baños de Sierra Elvira waters.

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

Con los seis análisis disponibles sobre los Baños de Sierra Elvira, realizados con una misma metodología analítica, se obtuvo un análisis promedio. Sobre este análisis (7 de la tabla 1) se aplicaron los programas SOLMINEQ.88 (Kharaka *et al.* (1988) y WATEQF, a fin de conocer la situación de equilibrio termodinámico en las condiciones de surgencia y los índices de saturación para las principales especies minerales.

La aplicación del programa SOLMINEQ.88 mostró la existencia de sobresaturación en dolomita, saturación en calcita, aragonito, calcedonia, cuarzo y magnesita, y subsaturación en anhidrita, cristobalita, fluorita, halita y yeso. De forma complementaria, la utilización del programa WATEQF mostró sobresaturación en calcita, dolomita y magnesita, y niveles de práctica saturación para el resto de las especies minerales consideradas.

Los resultados obtenidos son 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 darse aportes profundos y externos, habría que pensar en tiempos de renovación muy altos en el sistema, y, por tanto, en la existencia de un sistema muy enraizado y con un importante volumen de reservas. Es de destacar, la existencia de concentraciones sensibles de nitratos (del orden de 10 mg/l), que serían reflejo de un noptable proceso de mezcla con aguas procedentes de zonas cultivadas.

Finalmente, se presenta una breve prospección acerca de la temperatura de base de estas aguas. Dada la baja concentración en potasio se descartó la aplicación de métodos del tipo Na/K. Tampoco se aplicó el método Na-K-Ca, al existir un aporte mayoritario del calcio a través de yesos y no de feldespatos cálcicos. Del resto de métodos disponibles, para los valores analíticos obtenidos, se aplicó el método de K-Mg de Giggenbach y el geotermómetro del cuarzo, para los que se obtuvieron valores de ... y ...°C, respectivamente. Es muy posible que las temperaturas de base estén infravaloradas, debido a los importantes procesos de mezcla con aguas frías que soporta el sistema.

Conclusiones

La respuesta hidrodinámica del acuífero frente a las extracciones parece evidenciar un menor valor de los recursos del que se suponía. 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 muy enraizado y transmisivo ganan protagonismo frente a la existencia de importantes procesos de mezcla con aguas calientes externas.

Las aguas termales y minero-medicinales de los "Baños de Sierra Elvira" presentan temperaturas de emergencia de 32, mientras que la temperatura de base calculada por los geotermómetros de Na-K y del cuarzo están alrededor de los 50 °C. La salinidad de las aguas es del orden de 2,5 g/l y la facies sulfatada cálcica. La aplicación de los programas hidroquímicos SOLMINEQ y WATEQF sobre los índices de saturación en distintas especies minerales no son del todo coincidentes, aunque sí manifiestan altos índices de saturación en casi todas las especies consideradas.

La investigación hidroquímica realizada hasta el momento no es determinante para concluir sobre el origen del termalismo, estando en fase de realización estudios isotópicos y la continuación de 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 (MOPT), así como de un Contrato de Asistencia Técnica de la Fundación Empresa-Universidad de Granada. Así mismo, se enmarca en los trabajos del proyecto de la CICYT AMB92-211.

Referencias

- 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.
- 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.
- Kharaka, Y., Gunter, W., Aggarwal, P., Perkins, E. y DeBraal, J. (1988). U.S. Geol. Surv., open file report, 419 p.
- 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.