

## AGUAS SUBTERRANEAS Y TERMALISMO EN SIERRA ELVIRA

Sierra Elvira es una pequeña elevación montañosa carbonatada, de 18 km<sup>2</sup> de superficie, que emerge a modo de isla (horst tectónico en el argot geológico) dentro de la extensa planicie de la depresión de Granada, a tan solo 10 km al noroeste de esta ciudad; limita al sur con la C.N. 432 y al norte y oeste con el río Cubillas.

Rodeada por todos sus bordes por materiales detríticos postorogénicos (de edad pliocuaternaria), Sierra Elvira está constituida esencialmente por rocas carbonatadas preorogénicas (de edad jurásica), pertenecientes al Subbético (medio) de las Cordilleras Béticas; los materiales subbéticos representan el basamento del relleno de la depresión de Granada en ese sector. Para mayores precisiones sobre la geología de esta sierra, puede consultarse el capítulo correspondiente dentro de este libro.

Las rocas carbonatadas (dolomías y calizas) constituyen un buen acuífero kárstico de gran transmisividad; si se mira con detenimiento su superficie o, mejor aún, si se exploran sus entrañas, se comprueba que la roca posee multitud de fracturas, y que estas se hallan ensanchadas, en mayor o menor grado, por la acción disolvente de las aguas de precipitación; los conductos abiertos en la roca, muchos de ellos practicables para el hombre, permiten la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas. Este libro trata precisamente sobre la vertiente espeleológica de esta sierra (Martín-Rosales *et al.*, 1994), dotada de multitud de simas, galerías y conductos de todo tipo, muchos aún ocultos a la exploración del hombre.

El acuífero tiene una superficie de afloramiento de 9 km<sup>2</sup> y una potencia de, al menos, 200 m. Su substrato (fondo) impermeable se supone constituido por materiales margo-yesíferos (del Trías), los mismos que afloran, muy posiblemente por mecanismos diapíricos (extrusión debida a la menor densidad de las formaciones salinas) en el sector central de Sierra Elvira. La menor consistencia de estos materiales margosos dan un relieve deprimido, que favorece la separación de los materiales carbonatados en dos sectores (figura 1); el occidental, de mayor extensión (7 km<sup>2</sup>), es conocido como de los Morrones, mientras que el oriental (2 km<sup>2</sup>) corresponde al de la Ermita de los Tres Juanes. Un aspecto no suficientemente investigado es el grado de relación hídrica existente entre ambos, si bien se consideran interconectados, ya que la similitud hidrogeoquímica entre ellos es muy elevada. Los bordes laterales del acuífero vienen delimitados por fracturas de gran salto vertical (fallas normales), en contacto con materiales detríticos más recientes de la depresión de Granada; atendiendo a la permeabilidad de estos materiales detríticos, se puede generalizar que los bordes norte, noroeste y este son relativamente impermeables debido a la alta fracción arcillosa existente. Por el contrario, el borde sur (y suroeste), en contacto con materiales detríticos más groseros (arenas y gravas) del acuífero de la Vega de

---

\* Capítulo redactado por: Antonio Castillo Martín. CSIC e Instituto del Agua de la Universidad de Granada

Granada, es permeable, produciéndose una notable alimentación subterránea desde Sierra Elvira hacia la Vega de Granada. Más información sobre la hidrogeología de este acuífero kárstico puede obtenerse en Castillo (1986 y 1992) y Cerón y Castillo (1996).

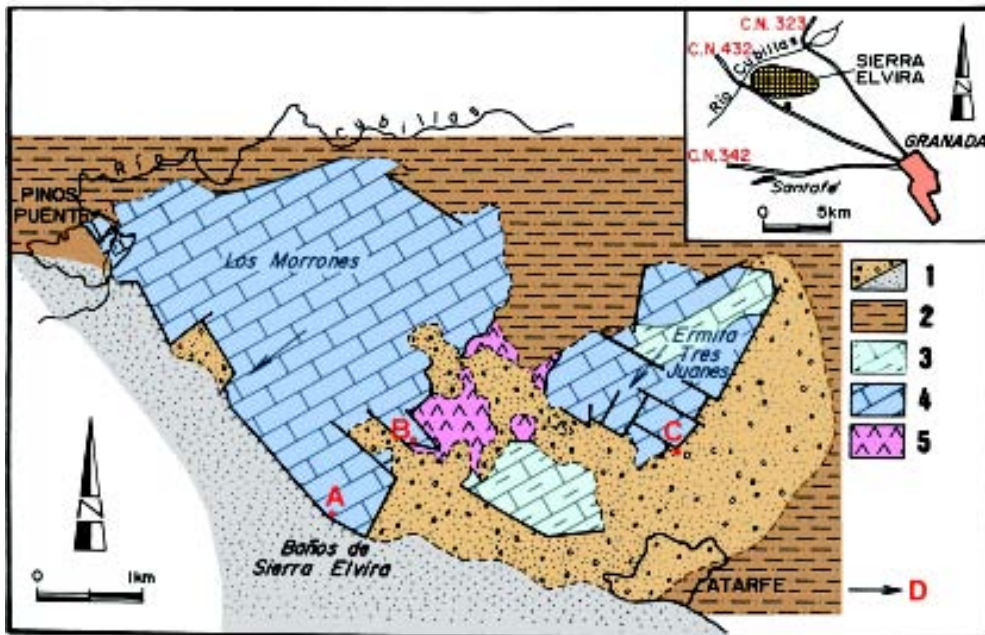


Figura 1.- Situación geográfica y esquema hidrogeológico de Sierra Elvira.

- 1: Conglomerados arcillosos cuaternarios de pie de monte (baja permeabilidad)/gravas, arenas y limos aluviales (acuífero)
  - 2: Conglomerados arcillosos y arcillas del Pliocuatrnario (baja permeabilidad)
  - 3: Margocalizas y calizas margosas del Jurásico (baja permeabilidad)
  - 4: Dolomías y calizas del Jurásico (acuífero de Sierra Elvira)
  - 5: Margas con yesos del Trías (impermeables)
- A:** Baños de Sierra Elvira; **B:** Sima de Raja Santa; **C:** Sondeo del Ayuntamiento de Atarfe; **D:** Dirección del flujo (en Cerón y Castillo, 1996)

La alimentación del acuífero de Sierra Elvira proviene de la infiltración de una parte del agua de precipitación sobre su superficie, lo que representa unos aportes anuales próximos a 2 hm<sup>3</sup>; otros recursos se suponen transferidos en profundidad desde sistemas acuíferos externos. La hipótesis más probable es que exista una conexión con Sierra Harana (a 15 km al noreste), posiblemente a través de las calcarenitas miocenas de la base del relleno de la depresión de Granada. Estas entradas ocultas, de muy difícil comprobación y estimación, pueden ser del orden de otros 4 hm<sup>3</sup>/año; su circulación a gran profundidad sería, en gran medida, responsable del termalismo de las aguas. La profundidad a la que se encuentra el substrato impermeable, y a la que se produce esta circulación, es desconocida, aunque se supone elevada, especialmente en el borde sur del afloramiento de los Morrones; por este motivo, tampoco

pueden darse estimaciones de las reservas de agua contenidas bajo el nivel piezométrico del sistema acuífero.

La descarga de los recursos se produce a través de captaciones (sondeos) y, como se ha comentado, de forma oculta hacia el acuífero detrítico de la Vega de Granada. El borde de descarga subterránea, donde se localizan además la mayor parte de las captaciones, vendría definido por los puntos extremos correspondientes a los Baños de Sierra Elvira y Pinos Puente (figura 1 y foto).



Borde sur del afloramiento de los Morrones, visto desde el acuífero de la Vega de Granada, por donde se produce la descarga subterránea del acuífero de Sierra Elvira hacia el de la Vega de Granada. (Foto: M. González-Ríos)

Como se ha comentado, las aguas subterráneas de Sierra Elvira poseen un claro termalismo, quizás el aspecto más característico y emblemático de este pequeño acuífero. Esta peculiaridad y la llamativa emersión de la sierra entre la planicie de la depresión de Granada, ha alimentado desde antiguo la creencia popular en la existencia de un volcán dormido en sus entrañas, que en días fríos de invierno exhala vapores por todas sus rajadas. Aunque la leyenda es ciertamente atractiva, nada de verdad hay en ello. El termalismo de las aguas procede únicamente de su calentamiento con la profundidad de circulación de estas, bien por aportes externos, bien por fenómenos convectivos y de inducción de calor, en un sistema profundamente enraizado en la depresión de Granada; como es conocido, existe un gradiente geotérmico, que es del orden de 1°C cada 33 metros de profundidad.

Por métodos geoquímicos, se han realizado estimaciones de la temperatura de base, esto es, la existente en profundidad, la cual estaría comprendida entre 63-100°C (Cerón y Castillo, 1996; Cruz Sanjulián y Granda, 1979); como es lógico, las aguas llegan a la superficie a una temperatura inferior, dependiendo de la velocidad de ascenso y del grado de mezcla con las aguas frías procedentes de la infiltración de la precipitación; así pues, la mayor parte de las aguas de Sierra Elvira varían su temperatura dependiendo de la profundidad y del sector, oscilando estas entre 26 y 34°C.

Al igual que la temperatura, la composición también oscila; la salinidad es del orden de 2 a 2,5 g/l (con conductividades de 2.200 a 3.500 en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la facies química sulfatada cálcica, si bien las aguas más frías poseen menor mineralización y son de facies bicarbonatada cálcica. La presencia de moderados contenidos de ciertos constituyentes, generalmente en cantidades mínimas en aguas subterráneas, como son el litio, boro, sílice, fluoruros, hierro o manganeso, entre otros, serían indicativos, nuevamente, de la existencia de aportes profundos, con largos tiempos de residencia en el subsuelo. En el cuadro 1 se exponen tres análisis físico-químicos representativos de aguas subterráneas de Sierra Elvira.

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
$\text{Cl}^-$	Cloruros	357	341	373
$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfatos	855	1.231	1.286
$\text{HCO}_3^-$	Bicarbonatos	293	244	201
$\text{NO}_3^-$	Nitratos	13	—	—
$\text{Ca}^{2+}$	Calcio	282	360	372
$\text{Mg}^{2+}$	Magnesio	123	102	142
$\text{Na}^+$	Sodio	195	198	235
$\text{K}^+$	Potasio	10	—	—
$\text{SiO}_2$	Silice	20	—	—
$\text{F}^-$	Fluoruros	1,98	—	—
pH		7,1	6,8	
Conductividad		2.602	3.240	3.050
Temperatura		31,6	31,2	28,0

Cuadro 1.- Análisis físico-químicos representativos de aguas subterráneas de Sierra Elvira. **A**: valores medios de 6 análisis de las aguas de los “Baños de Sierra Elvira”, realizados entre 1983 y 1994 (en Cerón y Castillo, 1996); **B**: Sima de Raja Santa (1989, en Martín-Rosales et al., 1994); **C**: Sondeo del Ayuntamiento de Atarfe (1985, en Castillo, 1992). Temperatura en  $^{\circ}\text{C}$ , conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25^{\circ}\text{C}$  y constituyentes en  $\text{mg}/\text{l}$ . Ver situación de puntos en la figura 1.



Conducto natural, desde el que se bombea el agua termal ( $32^{\circ}\text{C}$ ) a las piscinas de los Baños de Sierra Elvira (Foto: A. Castillo Martín)

En general, la calidad de las aguas es poco idónea para los usos urbano e industrial, mientras que es aceptable para el riego en suelos de buen drenaje, como son los de la Vega de Granada. Por contrapartida, el carácter termal y minero-medicinal de las aguas las hace muy recomendables para usos medicinales y de balneoterapia, razón por la que desde época romana, y seguramente antes, se vienen utilizando sus aguas. En el borde meridional se asientan los conocidos “Baños de Sierra Elvira” (figura 1), cuyas aguas tuvieron su máximo





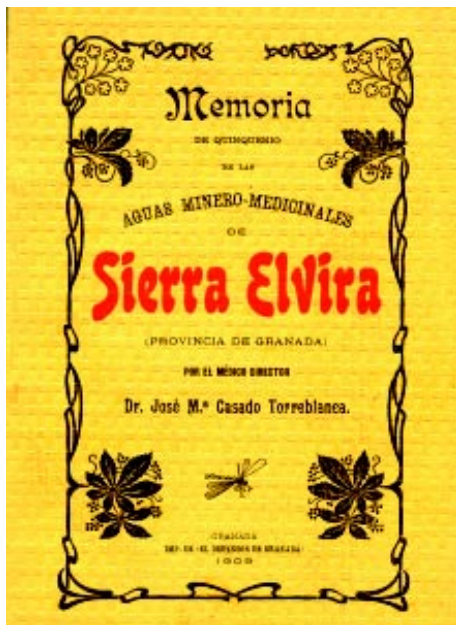
Detalles del hotel-balneario de Sierra Elvira a principios del siglo XX. (Archivo: J.E. Granados)

esplendor al ser declaradas de utilidad pública (1840) y construido un hotel balneario a principios del siglo XX, en la época dorada de la balneoterapia española. Hoy día, las aguas termales son bombeadas desde una raja natural abierta en la piedra, por donde se accede desde unas escalinatas, a unas piscinas al aire libre, que son aprovechadas para el baño en época estival.

La Cordillera Bética es muy rica en aguas termales y minero-medicinales, de las que afortunadamente tenemos la gran fortuna de poseer algunos manantiales (no demasiados) en la Cordillera Bética (especialmente en las provincias de Granada, Jaén, Almería y Murcia; (Cruz Sanjulián y García Rosell, 1975). Asociadas generalmente a sierras carbonatadas, en las que el agua circula por grandes conductos a alta velocidad, las aguas termales están sometidas a dos tipos de peligros; el más temido

es su contaminación por vertidos, ya que los acuíferos kársticos que las albergan son muy vulnerables a la contaminación; el otro riesgo son las extracciones incontroladas, que merman los recursos y ponen en peligro la sostenibilidad de los aprovechamientos minero-medicinales y balnearios.

De ninguno de estos peligros escapa Sierra Elvira, quizás acrecentados por su extrema cercanía a la “civilización”. Las extracciones van en aumento, y desde hace unos años (concretamente desde 1996) se viene sufriendo una alteración sensible de la calidad de las aguas. En este mismo libro se da cuenta de los procesos de contaminación que afectan ya a las aguas. Urge, por tanto, extremar el celo en el cuidado y protección de esta pequeña joya hidrogeológica, a tan escasa distancia de la ciudad de Granada.



Portada libro 1909. (Archivo: Centro de Documentación y Museo de la Espeleología)