Los manantiales de Alhama y Jaraba como ejemplo de drenaje térmico regional en Aragón

José Angel SÁNCHEZ-NAVARRO

Área de Geodinámica Externa (Hidrogeología). Depto. de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, nº 12. E-50009 Zaragoza.

Introducción

La Comunidad Autónoma de Aragón ha sido desde muy antiguo un territorio conocido y visitado por la abundancia y singularidad de sus aguas termales. Desde los romanos conocedores de la bondad y salud de estas aguas calientes naturales, regalo de dioses, pasando por los árabes que del uso de esta agua hicieron religión, la historia de Aragón puede fielmente describirse siguiendo los avatares de esos lugares que la naturaleza ha querido sirvan de encuentro preferente, de camino singular, entre el interior y el exterior de la Tierra.

Se ha intentado desde siglos buscar una explicación a la existencia de estas aguas, a su surgencia, a su composición, a su temperatura, a sus beneficios para la salud, pero con estas agua viajan leyendas, creencias y deseos de una vida mejor. Sin querer cambiar, quizá sea interesante hacer desde la hidrogeología una pequeña aportación, aunque sea parcial, para conocer y entender el porqué de esas aguas termales.

El calor interno de la Tierra

Nuestro planeta es una fuente de calor que irradia de forma continua energía calorífica hacia la atmósfera. La existencia de este calor es conocida desde antiguo y se manifiesta por el incremento de temperatura que se observa en las perforaciones que se realizan en la corteza (galerías, minas, pozos, etc.). Su medida práctica se expresa por el incremento de la temperatura en función de la profundidad (gradiente geotérmico), que por término medio es de 2,5-3,0 °C/100 m. El producto del gradiente geotérmico por la conductividad térmica de las rocas que componen la corteza da como resultado el flujo calorífico medio que se irradia a través de la superficie de la Tierra, y que se evalúa en una media de 50 a 70 mW/m^2; es decir, aproximadamente 1,4 $mcal/cm^2$ por segundo.

Entender el modo de disiparse el calor del interior de la Tierra es fundamental para explicar los fenómenos geológicos (volcanes, terremotos...) y la existencia, en superficie, de flujos de calor anormalmente altos que llegan a ser 10 ó 15 veces más elevados que el anteriormente citado; son zonas geológicamente activas en las que se considera existe una «anomalía geotérmica positiva». En estos lugares, donde se pueden encontrar temperaturas de más de 400 °C a muy poca profundidad, es donde el calor del interior de la Tierra se utiliza, entre otros posibles usos, para producir energía –como de hecho sucede en Islandia, Japón o Filipinas (DGA, 2001).

En un planeta predominantemente sólido, el transporte de calor desde el interior caliente hasta la superficie fría se hace principalmente por conducción, y su valor integrado sobre toda la superficie de la Tierra da un valor que puede compararse con otras formas de energía:

Tipo de energía	W (J/s)	W (J/año)
Flujo geotérmico	$4{,}2 \cdot 10^{13}$	$1{,}4 \cdot 10^{21}$
Energía solar	$1{,}8 \cdot 10^{17}$	$6{,}0 \cdot 10^{24}$
Producción mundial de energía	$6{,}0 \cdot 10^{12}$	$2{,}0 \cdot 10^{20}$

Como puede verse, la importancia del flujo geotérmico es pequeña respecto a la del flujo de calor aportado por el Sol, motor del ciclo hidrológico y de toda la geodinámica externa, que anualmente derrama sobre la superficie de la Tierra una cantidad de energía que es casi seis mil veces superior que la que fluye desde el inte-

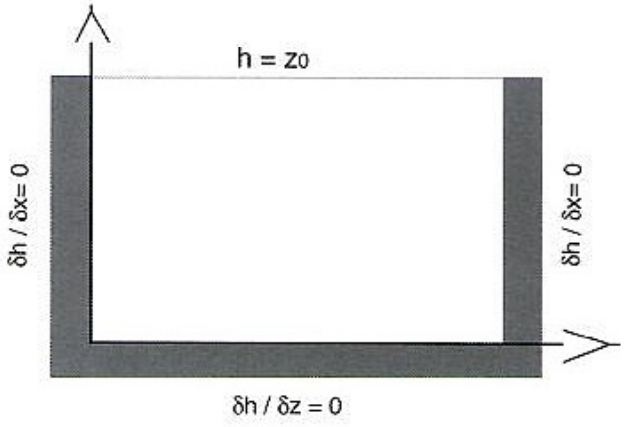
rior de la Tierra. Se constata también la importante magnitud que nuestra civilización tiene en cuanto a necesidades energéticas, y con ello la enorme dependencia que se tiene de los combustibles fósiles.

La temperatura de las aguas subterráneas

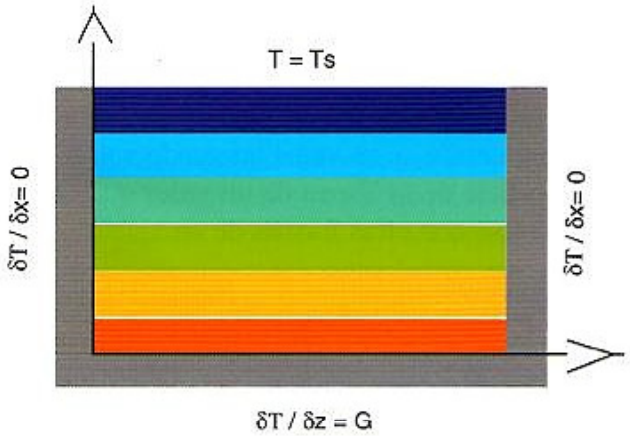
Cuando tocamos con nuestras manos el agua que fluye por un manantial, habitualmente tenemos la agradable sensación de que su temperatura es fría en verano y caliente en invierno; un hecho similar sentimos cuando nos introducimos en una cavidad. La sensación es correcta pero la interpretación con frecuencia no es adecuada. La temperatura del agua del manantial, como la del interior de la cavidad, cambia poco de invierno a verano; lo que sí cambia y mucho es la temperatura del aire en la atmósfera y también la temperatura de la superficie del suelo.

Este comportamiento térmico del agua del manantial, es decir del agua subterránea, tiene que ver con la baja conductividad térmica del terreno, de manera que las oscilaciones diarias y estacionales de la temperatura atmosférica se transmiten con dificultad hacia el interior del terreno, atenuándose y desapareciendo en profundidad. Las aguas subterráneas suelen encontrarse en una zona de oscilaciones atenuadas, de manera que habitualmente su temperatura es muy próxima a la anual media del lugar.

Como la energía geotérmica es varios órdenes de magnitud inferior a la que procede del Sol, la temperatura del suelo está determinada por las características climáticas de la zona (que en esencia dependen de la radiación solar) y su temperatura es muy próxima a la del aire con el que está en contacto. Las variaciones diarias, mensuales o anuales de la temperatura se propagan

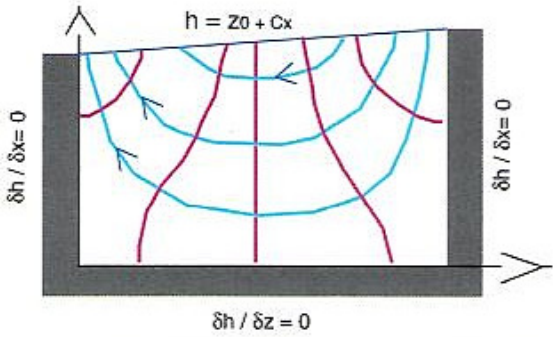


Medio homogéneo e isótropo sin flujo de agua



Isotermas del agua subterránea en la situación anterior, sin flujo.

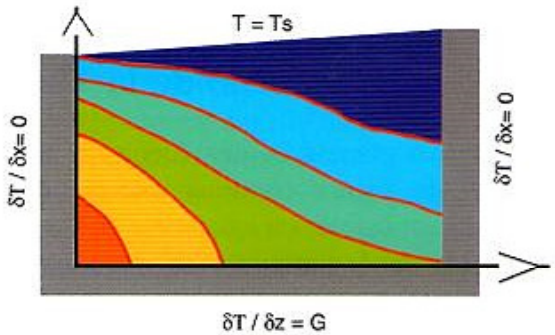
Figura 1. Distribución paralela de las isotermas en el terreno, siguiendo el gradiente geotérmico, para una situación de medio poroso sin flujo de agua subterránea (equivalente también a una situación de flujo horizontal).



Medio homogéneo e isótropo con flujo de agua subterránea inducido por gravedad

linea equipotencial

linea de flujo



Consecuencias del flujo subterráneo anterior en la distribución de las isotermas

Figura 2. Distribución de isotermas distorsionadas por la existencia de flujos ascendentes y descendentes de agua subterránea.

en el terreno como ondas térmicas, y su atenuación con la profundidad se puede expresar con la siguiente ecuación de BEREST y WEBER (1988):

$$h = (k \cdot P/\pi)^{1/2}$$

donde **k** es la conductividad térmica del terreno y para diferentes periodos de oscilación térmica atmosférica **P** (día, año...) se obtienen los valores máximos de penetración en el terreno de esa oscilación (**h**):

P	1 día	1 año	100 años	1.0000 años
h	15 cm	3 m	30 m	300 m

Como puede observarse, las oscilaciones térmicas diarias apenas penetran 15 cm en el terreno, mientras que las anuales apenas lo hacen tres metros, a partir de donde la temperatura del suelo es ya prácticamente la media atmosférica del lugar.

Hay que destacar que las ondas de periodo más largo (10.000 años o más) pueden penetrar más profundamente, como puede ser el caso de las oscilaciones de temperatura debidas a las fluctuaciones climáticas asociadas a las épocas glaciares e interglaciares (no se conoce la amplitud de estas fluctuaciones pero las estimaciones van desde 4 a 15 °C en latitudes medias) y quedar registradas en perfiles geotérmicos de sondeos. La existencia de terrenos helados fósiles a cierta profundidad es la evidencia de que la penetración de la oscilación térmica no ha llegado todavía.

Cómo se calientan las aguas subterráneas

Si en condiciones normales el agua subterránea debería tener una temperatura similar a la temperatura media del aire en la zona, cuando observamos que esa temperatura del agua es cuatro o más grados superior decimos que el agua es termal.

En un terreno impermeable, donde no existen flujos de agua subterránea, o cuando el flujo es horizontal, las isotermas son paralelas entre sí y trazan una réplica suavizada de la topografía del terreno, su incremento de temperatura es el que produce el gradiente geotérmico (aproximadadmente 1 °C cada 33 m de profundidad) En esa situación, y también cuando el flujo del aguas es horizontal, no existe posibilidad de que afloren en superficie aguas termales. La figura 1 muestra la distribución de las isotermas en un modelo sencillo, para una situación sin flujo de agua subterránea, o equivalente a un flujo horizontal.

Como los valores de la conductividad térmica de las diferentes rocas son muy parecidos, la disposición de las isotermas apenas se modifica por la existencia de cambios litológicos. Sólo las rocas evaporíticas tienen un valor de conductividad térmica notablemente mayor, por ello cuando aparecen de forma masiva dando grandes volumes (diapiros) sí se producen distorsiones significativas en las isotermas.

Foto: José Ángel SÁNCHEZ NAVARRO.

Figura 3. Paisaje otoñal en el río Mesa, aguas arriba de Jaraba (Zaragoza). Al fondo, rocas carbonatadas del Cretácico Superior en estratos verticalizados.

Por el contrario, cuando existen flujos de agua ascendentes y descendentes, fenómeno muy frecuente en la naturaleza como ya mostró Toth en los años sesenta (TOTH, 1963), se producen notables distorsiones en el trazado de las isotermas, con un evidente enfriamiento del terreno en las zonas de recarga y un calentamiento en las de descarga, tal y como puede verse en la figura 2, donde se vuelve a modelizar una situación sencilla con flujo de agua subterránea inducido por la gravedad. El agua calentada en profundidad es llevada a la superficie por flujos ascendentes, el agua en su movimiento arrastra el calor del terreno.

Los fenómenos de transporte de calor por movimiento de las aguas subterráneas se ven

incrementados cuando el medio es heterogéneo, por ejemplo cuando en una cuenca sedimentaria existe una capa subyacente de elevada permeabilidad que actúa de nivel de drenaje.

Flujos ascendentes y descendentes de agua se pueden producir también por variaciones en la densidad, siendo este fenómeno especialmente relevante en macizos graníticos. En estos materiales de varios miles de metros de potencia, el agua que se infiltra aumenta su temperatura, lo que provoca una disminución de la densidad con lo que se inicia así la generación de células convectivas que aprovechando discontinuidades hacen ascender a superficie aguas a elevadas temperaturas. En las rocas graníticas se dan las aguas termales de mayor temperatura (sin considerar las zonas volcánicas), aunque siempre con caudales pequeños; el motivo es que la rocas graníticas tienen miles de metros de potencia bajo la superficie.

La variada y compleja composición geológica de Aragón hace que sean numerosos los materiales acuíferos por los que el agua en su movimiento transporten el calor desde zonas profundas –más de 1.000 m–, hasta puntos concretos de la superficie donde afloran las aguas a temperaturas de entre 20 y 60 °C.

Antes de describir específicamente las características de los manantiales termales de Alhama y Jaraba, haremos una pequeña aportación sobre los principales manantiales termales de Aragón y los materiales acuíferos por los que circula el agua.

Conocer por dónde circula el agua termal: las formaciones geotermales

Se consideran formaciones geotermales todas las unidades geológicas que por sus características hidrogeológicas puedan contener agua en condiciones de temperatura y movilidad suficiente para permitir algún tipo de aprovechamiento geotermal. Son básicamente las principales formaciones acuíferas por las que el agua circula activamente, transportando en su movimiento el calor. La selección de las formaciones geotermales se ha hecho con base en los indicios existentes (manantiales y sondeos), y al conocimiento de las distintas unidades hidroestratigráficas.

La figura 4 recoge las distintas formaciones geotermales definidas para la Cordillera Ibérica aragonesa y la Cuenca del Ebro. Las características principales de las distintas formaciones geotermales (FG) son las siguientes:

- FG1. Areniscas y conglomerados del Triásico en facies *Buntsandstein*: su interés radica en los datos de temperatura aportados por sondeos de investigación petrolífera en la cuenca del Ebro, donde se han alcanzado valores de hasta 101 °C, valor coincidente con el que corresponde por gradiente geotérmico normal.
- FG2. Materiales carbonatados del Triásico en facies *Muschelkalk*: se refieren a los tramos superior e inferior –denominados M1 y M3–, ampliamente reconocidos en sondeos de investigación petrolífera tanto en la cuenca del Ebro como en el Maestrazgo.
- FG3. Materiales carbonatados del Jurásico Inferior (Lías): corresponde a las carniolas, dolomías y calizas del Lías inferior. Esta formación geotermal es en la que mayor número de indicios se han encontrado; esto es así por su elevada

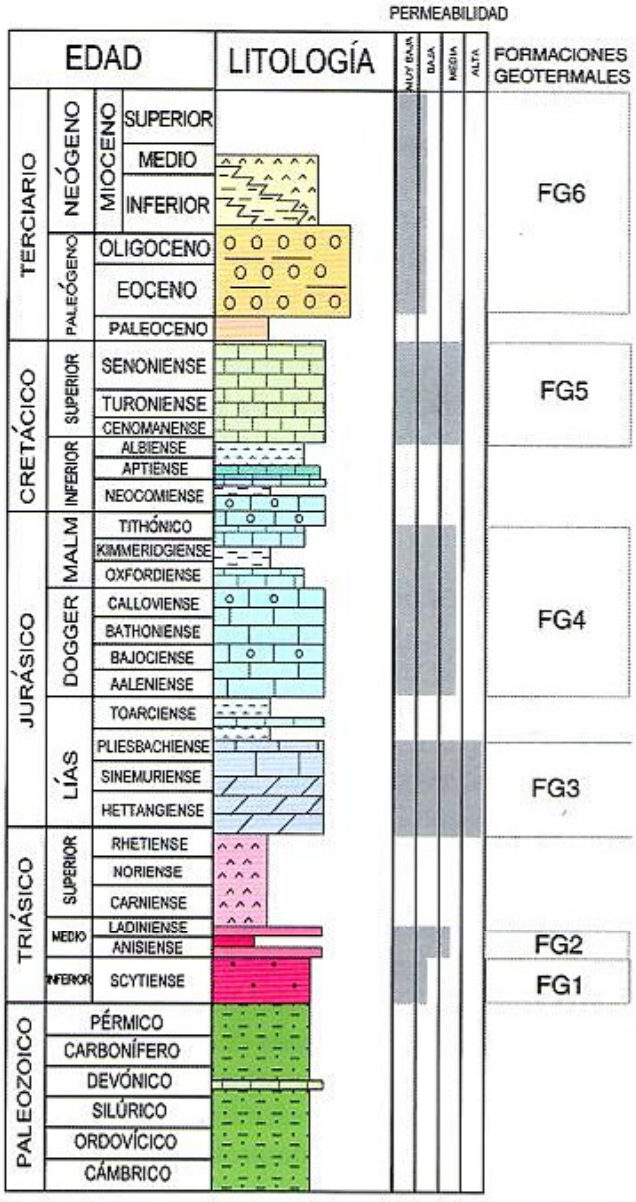


Figura 4. Columna estratigráfica sintética de la Cordillera Ibérica y formaciones geotermales en ella definidas.

porosidad eficaz (de 5 a 10%) y permeabilidad (de 0,5 a 5,0 m/día), por su situación estratigráfica bajo cientos de metros de materiales permeables y por estar limitada en su base por una unidad impermeable (las facies *Keuper*). En manantiales se han medido temperaturas de hasta 25 °C y caudales de más de 1.000 l/s; en sondeos, se observan temperaturas próximas a los 100 °C a unos 1.000 m de profundidad (sondeos «Ebro2», «Monzón», etc.), lo que corresponde a una importante anomalía térmica positiva.

- FG4. Materiales carbonatados del Jurásico Medio-Superior (Dogger-Malm): corresponde a calizas y dolomías masivas que en la cuenca terciaria del Ebro forman una gran parte del substrato.

- FG5. Materiales carbonatados del Cretácico Superior: sus mejores indicios geotermales se encuentran en la Cordillera Ibérica, en los manantiales de Alhama y Jaraba, con más de 500 l/s y temperaturas de surgencia que superan los 33 °C.

- FG6. Materiales detríticos y carbonatados terciarios: corresponde a materiales que rellenan las distintas cuencas sedimentarias en la Comunidad Aragonesa. Existen sondeos que obtienen aguas con temperaturas de hasta 42 °C a 800 metros de profundidad.

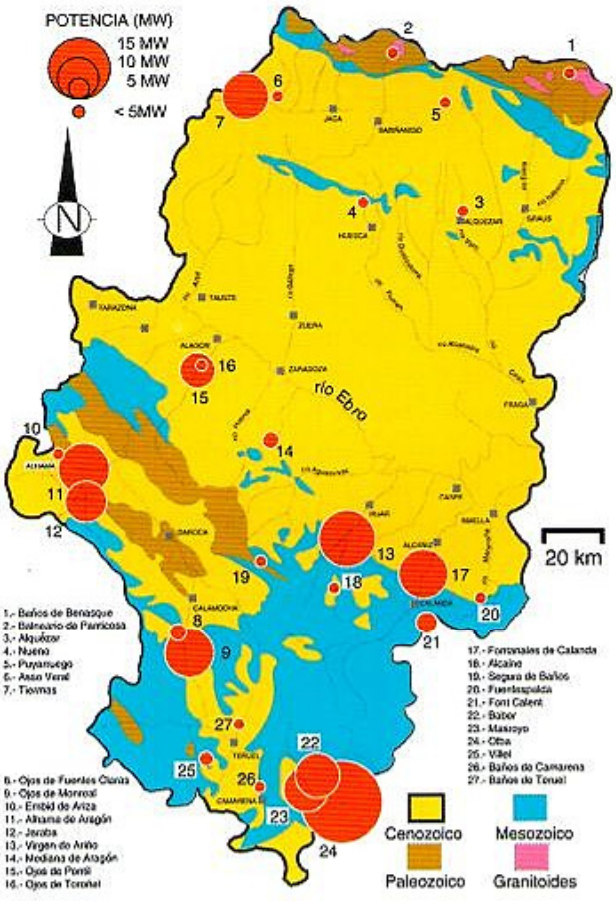


Figura 5. Principales manantiales termales de Aragón y su potencia calorífica.

Evaluando el termalismo de los manantiales: su potencia calorífica

Para los manantiales termales se ha propuesto una ecuación que cuantifica la potencia calorífica que cada segundo está saliendo por los manantiales (PFISTER *et al.*, 1998):

$$E = \Delta T \cdot Q \cdot c \cdot \rho$$

E es la potencia en Megawatios que de forma natural surge por los manantiales.

ΔT es la diferencia entre la temperatura medida en la surgencia y la media en el aire, que sólo se considera si es mayor que 4 °C.

Q es el caudal en l/s.

c es el calor específico del agua, que tiene como valor 4.200 J/kg·ºK.

ρ es la densidad del agua, 1.000 kg/m^3

En la tabla I aparece una relación de los principales manantiales termales existentes en la Cordillera Ibércica aragonesa, indicando la temperatura de surgencia, su anomalía geotérmica (diferencia entre la temperatura del agua medida y la media del aire en el lugar) y la potencia calorífica que presentan. En la figura 5 se muestra para el conjunto de Aragón la energía geotérmica que aflora por los manantiales termales. Destacar que el mayor flujo de energía saliente se presenta en el manantial de Olba (río Mijares) debido a su elevado caudal ya que la anomalía térmica es pequeña (5,5 °C). Por el contrario, existen manantiales con elevadas anomalías térmicas que tienen flujo de energía reducido debido a su pequeño caudal.

Estas cuantificaciones son especialmente indicativas de lo activos que son los flujos subterráneos en cuanto a capacidad de transportar calor. En ese sentido, valores muy elevados indican la existencia de un acuífero de grandes dimensiones por el que las aguas subterráneas circulan activamente (elevada permeabilidad) y que por condicionantes estructurales ascienden rápidamente hasta la superficie desde una notable profundidad. Las aguas subterráneas realizan un auténtico drenaje térmico del terreno, que por su magnitud podríamos denominar como drenaje térmico regional. Los manantiales termales de Alhama y Jaraba, como veremos, son un excelente ejemplo del proceso de drenaje citado.

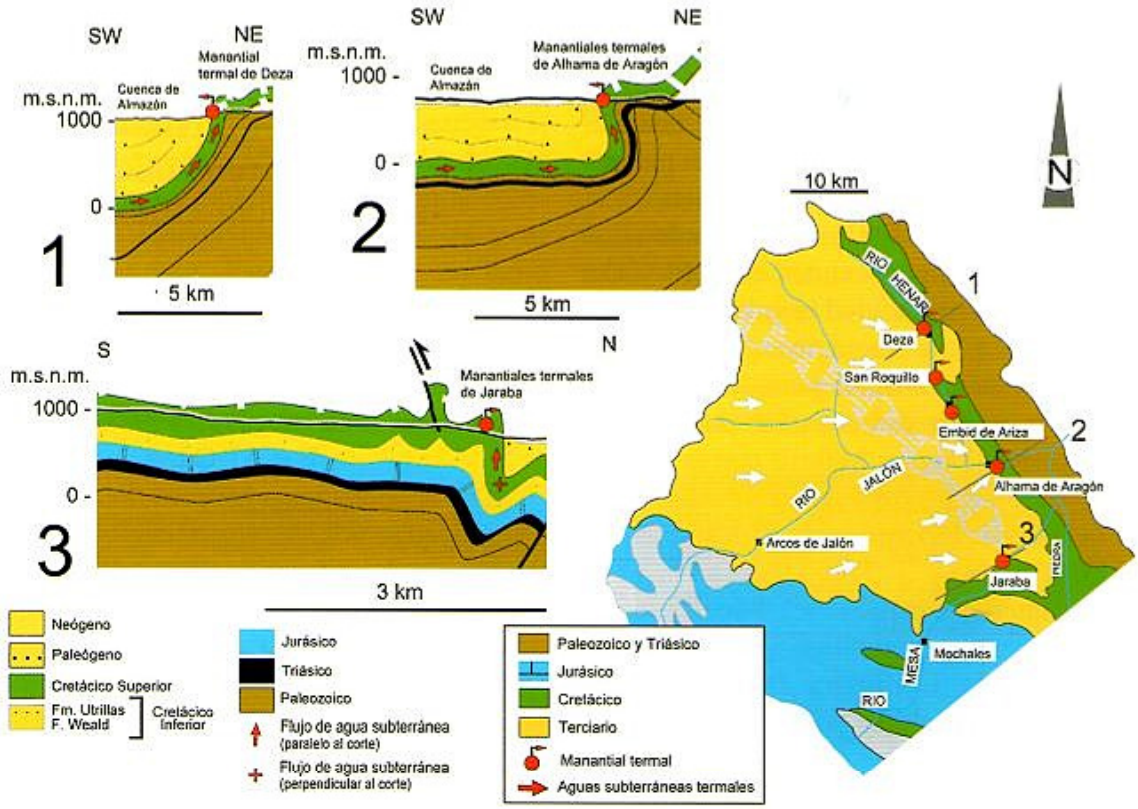


Figura 6. Mapa y cortes hidrogeológicos de la zona termal de Alhama y Jaraba.

Los manantiales de Alhama y Jaraba como un ejemplo de drenaje térmico regional

Los manantiales termales de Alhama y Jaraba se sitúan en el contacto entre la parte oriental de la cuenca de Almazán y el borde sur de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. Son un conjunto de manantiales que se caracterizan por su elevada temperatura de surgencia, hasta 35 °C, y su importante caudal, que en conjunto supera los 700 l/s, de manera que constituyen la principal aportación de los ríos Mesa en Jaraba y Jalón en Alhama. Además de estos manantiales existen otros en las localidades de Embid de Ariza y Deza (Soria) aunque de inferior temperatura y caudal.

El conjunto de los manantiales ha sido incluido en el *Atlas de la Energía Geotérmica de Aragón* (DGA, 2001) como región Sur-Ibérica relacionada con el drenaje de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. En este drenaje tiene especial importancia la cuenca terciaria de Almazán.

El mapa hidrogeológico de la figura 6 muestra la situación de los principales manantiales. Como puede verse el acuífero principal corresponde a los materiales carbonatados del Cretácico Superior (Formación Geotermal nº 5); por ellos circula el agua subterránea siguiendo su estructura, de manera que en ocasiones desciende a más de mil metros por debajo de la superficie del terreno, ver cortes hidrogeológicos, en la misma figura.

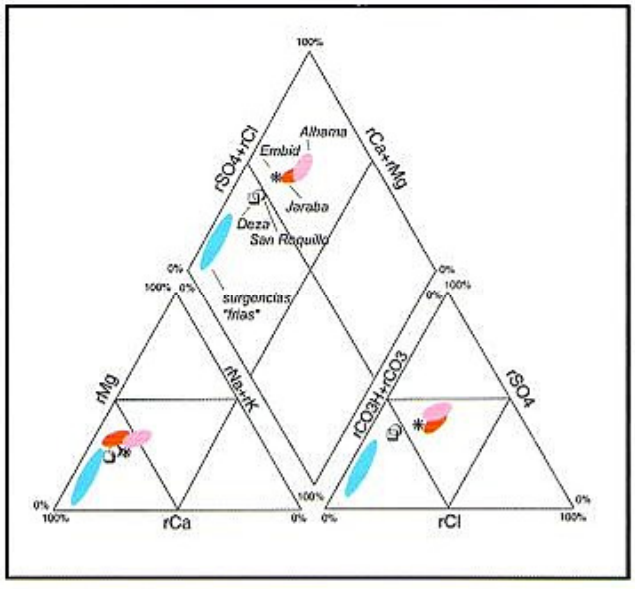


Figura 7. Diagrama de Piper de la composición química de las aguas.

Las zonas de recarga

Dos son las zonas principales por las que se recarga el acuífero carbonatado del Cretácico Superior (Fig. 6):

- A través del relleno terciario de la cuenca de Almazán, que a modo de acuitardo de gran

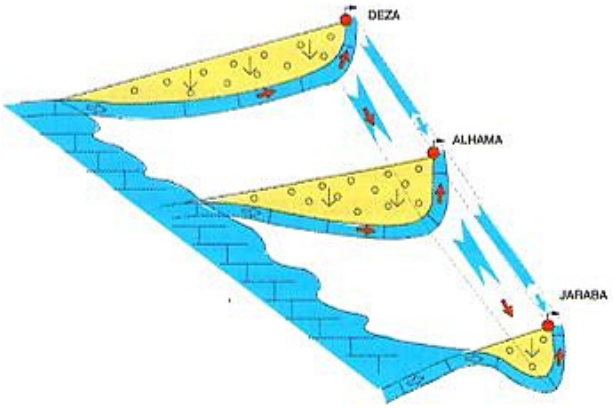


Figura 8. Modelo conceptual de funcionamiento de las aguas termales.

extensión superficial y potencia recarga de forma difusa al acuífero subyacente. Este tipo de recarga justificaría la constancia de los caudales de los manantiales termales y su escasa variabilidad temporal de composición.

- A partir de los materiales calizos del Jurásico que afloran en la cabecera del río Jalón, en el límite SO de la cuenca de Almazán, que a su vez podrían lateralmente recargar también a los materiales del Terciario.

Sobre este tema, y en general sobre el flujo del agua hacia los manantiales, existe una cierta discusión, ya que hidrogeólogos de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y de la Universidad Autónoma –ambas de Madrid– plantean que el agua no circula por debajo de la cuenca terciaria, sino que sigue la dirección de los afloramiento del Cretácico Superior y sería a través de la superficie de esos afloramientos donde se produciría la recarga (ver discusión de SÁNCHEZ NAVARRO *et. al.* [2000] y la réplica de SANZ y YÉLAMOS [2000]).

Las zonas de descarga

Todo el contacto entre la cuenca terciaria de Almazán y los materiales del Cretácico superior tiene una disposición similar (ver cortes hidrogeológicos en la figura 6), de manera que además de los manantiales de Alhama y Jaraba existen, en el citado contacto, otros manantiales como los de Deza con un caudal de 100 l/s y 19 °C de temperatura, Embid de Ariza con 20 l/s y 27 °C, y San Roquillo con 20 l/s y 19 °C.

Resaltar que todas las surgencias se localizan en estratos carbonatados dispuestos verticalmente. Es precisamente esa estructura la que permite que el agua, calentada en profundidad, ascienda rápidamente manteniendo todavía una temperatura anormalmente alta (Fig. 3).

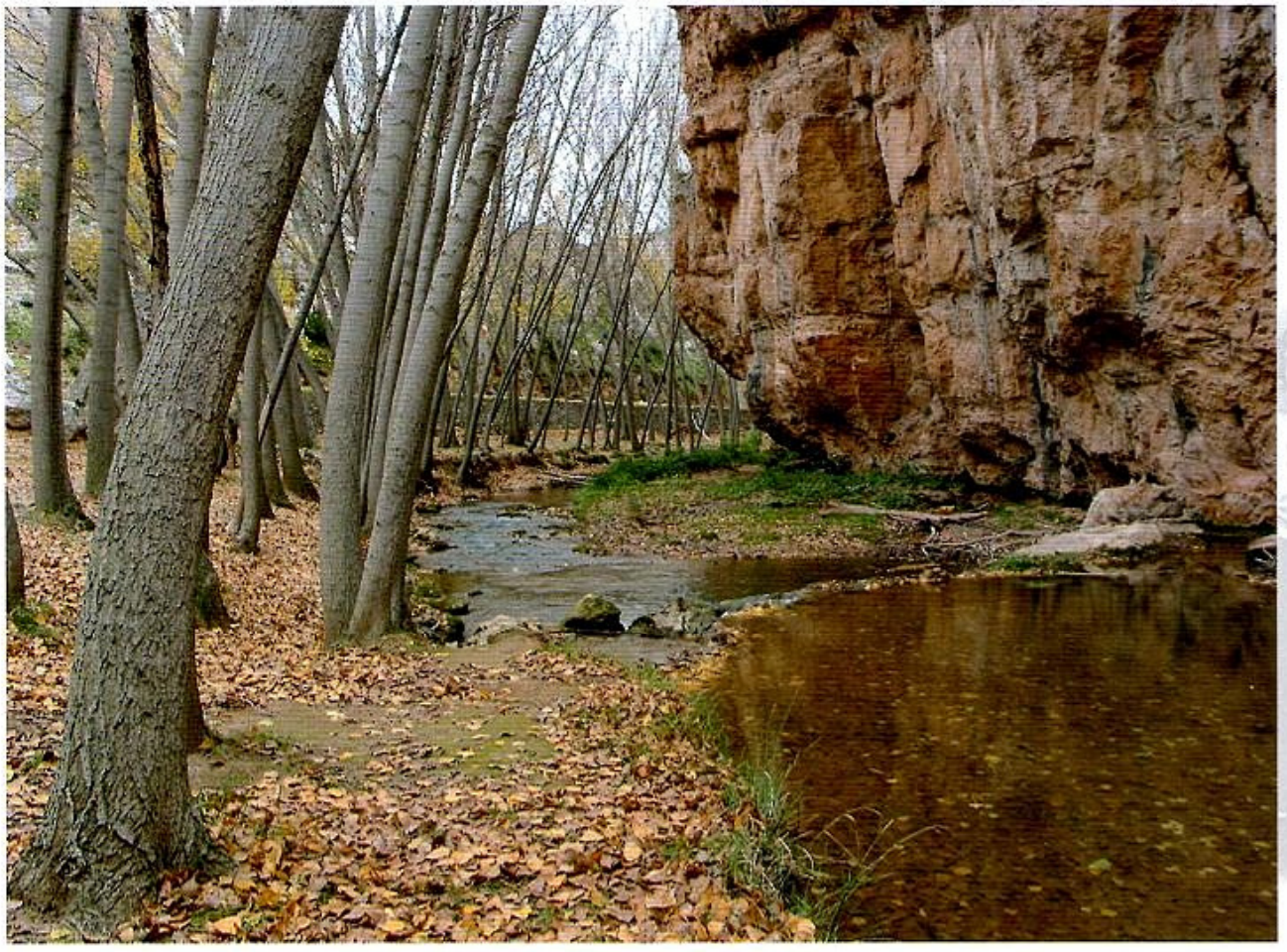


Foto: José Ángel SÁNCHEZ NAVARRO.

Figura 9. Bosque de ribera en otoño en el río Mesa, entre Calmarza y Jaraba (Zaragoza).

La hidroquímica

Los manantiales termales de Alhama y Jaraba presentan composiciones sulfatadas-bicarbonatadas, cálcicas o cálcico-magnésicas. Las aguas de Alhama son las más mineralizadas, como un residuo seco entre 650 y 850 mg/l, mientras que las de Jaraba no superan los 650 mg/l. La figura 7 muestra un diagrama de Piper en el que se representan todos los manantiales termales de la zona, así como otros de carácter no termal. Las diferencias en cuanto a la composición entre las surgencias «frías» y los manantiales termales son evidentes. También, el diagrama permite diferenciar composicionalmente los manantiales termales según la localidad de surgencia.

En general puede decirse que las aguas de los manantiales mas calientes y de mayor caudal son las de Alhama y Jaraba, que son también las que tienen mayor mineralización, mayor contenido en sulfatos, cloruros y magnesio; son, además, las aguas más antiguas y de mayor recorrido en el terreno.

Tabla II. Principales manantiales termales existentes en la Cordillera Ibérica aragonesa.

Manantial	t^a máx.	ano-malía t^a	poten-cia (MW)	caudal l/s	form. geoter-mal
Ojos de Fuentes Claras	18,0	8,0	6,93	200,0	FG3
Ojos de Monreal	18,0	8,0	21,30	600,0	FG3
Embid	26,4	13,4	1,68	30,0	FG5
Alhama	33,5	19,0	22,53	350,0	FG5
Jaraba	31,7	21,0	17,80	300,0	FG5
Virgen de Ariño	22,7	9,5	23,94	600,0	FG3
Mediana de Aragón	23,4	8,4	7,00	200,0	FG4
Ojos de Pontil	23,2	12,0	14,90	250,0	FG3
Ojos de Toroñel	23,4	12,0	5,11	90,0	FG3
Fontanales	21,0	5,0	21,00	1000,0	FG3
Alcaine	17,7	5,2	2,20	100,0	FG4
Segura de Baños	24,0	12,5	0,07	1,5	FG5
Fuentes-palda	20,0	4,5	1,89	100,0	FG3
Font Calent	25,0	10,0	8,40	200,0	FG3
Babor	18,8	8,8	18,48	500,0	FG5
Masroyo	19,3	9,2	19,32	500,0	FG5
Olba	14,5	5,5	34,65	1500,0	FG5
Villel	20,5	9,5	5,98	150,0	FG3
Baños de Camarena	18,3	10,3	0,05	1,2	FG4-FG5
Baños de Teruel	21,0	10,5	0,35	8,0	FG3
Potencia total			233,58		

Modelo de funcionamiento

El esquema de la figura 8 corresponde a un modelo conceptual tridimensional de funcionamiento del acuífero cretácico, donde quedan evidenciadas sus zonas de recarga y descarga. Se destaca el carácter de acuífero de drenaje regional que tiene la formación carbonatada, y cómo el drenaje termal del terreno se produce al circular el agua por debajo de los materiales que rellenan la cuenca terciaria de Almazán.

Resaltar que la disposición en estratos verticales de la zona de descarga es la más adecuada para permitir la llegada de agua caliente hasta la superficie, por lo siguiente:

- **Rápido ascenso del agua**: la disposición estratificada de los materiales hace que en general la permeabilidad horizontal sea de 10 a 100 veces mayor que la vertical, por lo que el agua subterránea circula siguiendo determinados estratos, los más permeables. Si estos estratos se disponen verticalmente, la permeabilidad horizontal se convierte en vertical, por lo que ése será el desplazamiento más rápido del agua. Además, las juntas de estratificación (interestratos) dispuestos verticalmente son zonas desprovistas de material, que pueden servir para una más rápida circulación del agua.
- **Se minimiza la mezcla con aguas frías superficiales**: la disposición vertical de los estratos hace que las capas poco permeables situadas a base y techo de los acuíferos, se dispongan lateralmente a ellos, con lo que actúan de eficaz sellado frente a las aguas frías superficiales de escaso recorrido de circulación subterránea.

Como corroboración de lo adecuado de estas estructuras, basta observar que una gran parte de los manantiales termales se localizan en lugares donde existe esta disposición: manantiales de Fitero, Arnedillo, Segura de Baños, etc.

Foto: José Ángel Sánchez Navarro.

Figura 10. Balneario Sicilia en Jaraba (Zaragoza).

Las aguas termales, un recuso natural para disfrutar

Si hay que contestar sobre cuál es el uso principal de las aguas termales, tanto de las de Alhama y Jaraba como de otras, habría que decir que su principal uso es disfrutarlas. Para eso, se hicieron los balnearios y para eso desarrollan actualmente su actividad (Fig. 10).

En Alhama existen tres balnearios y en Jaraba otros tres; todos ellos tienen sus aguas calificadas como minero-medicinales. Son aguas que se embotellan para su comercialización; actualmente en Jaraba existen tres plantas. Por otra parte, las aguas de estos manantiales son recogidas por acequias y con ellas se riegan más de 1.000 hectáreas principalmente de frutales.

El beneficio a la salud de esta aguas se concreta ya en su carácter minero-medicinal; existe una historia que certifica las cualidades terapéuticas y beneficiosas de esta aguas para la salud: litiasis renal, gota, reumatismo, etc. Los baños son el principal factor de cura balnearia tanto por su acción mecánica y térmica como de absorción de sustancias disueltas, todo sin olvidar la diversidad de técnicas de aplicación que hoy existen y que añaden especificidad a la finalidad de los baños.

Pero cada vez resulta mas destacable el efecto ligado al lugar, a su clima, a su vegetación, a los paseos, a las instalaciones y a su comodidad, tranquilidad, etc. Quiero destacar la belleza de lugares como el cañón del río Mesa, sus arboledas y el limpio discurrir de las aguas del río a lo largo de los balnearios; son aguas transparentes, algo tristemente cada vez más raro en nuestros ríos de la margen derecha del Ebro.

El régimen de vida en el balneario es otro de los factores de salud: una dietética adecuada, un cierto grado de ejercicio, y –sobre todo– un encuentro con un medio rural tradicional que todavía tiene mucho que enseñar en su relación con la naturaleza y la salud. Jaraba reúne muy bien esas condiciones, quizá por su aislamiento respecto a grandes vías de comunicación.

Disfrutar del agua es disfrutar de la vida, entenderlo así es volver a ser niños, algo a lo que ningún adulto debe renunciar.

Bibliografía citada en el texto

Berest, P. et Weber, Ph. 1988. *La thermomecanique des roches. Manuel et Méthodes*. BRGM Éditions, Orléans. 327 pp.

Diputación General de Aragón. 2001. *Atlas de la Energía Geotérmica en Aragón*. Departamento de Industria y Energía, Zaragoza. 190 pp.

Pfister, M., Rybach, L. and Simsek, S. 1998. Geothermal reconnaissance of the Marmara Sea region (NW Turkey): surface heat flow density in an area of active continental extension. *Tectonophysics*, **291**, 77-89.

Sánchez Navarro, J. A., Coloma, P. and Maestro, A. 2000. Methodology for the study of unexploited aquifers with thermal waters: application to the aquifer of the Alhama de Aragón hot springs. Discussion. *Ground Water*, **38** (3), 324-325.

Sanz, E. and Yélamos, J. G. 2000. Methodology for the study of unexploited aquifers with thermal waters: application to the aquifer of the Alhama de Aragón hot springs. Author's reply. *Ground Water*, **38** (3), 325.

Toth, J. (1963): A theoretical analysis of groundawater flow in small drainage basins. *Journal of Geophysical Research*, **68** (16), 4795-4811