

Sobre el origen de las aguas termales de Caldes de Montbui

por J. TRILLA *

RESUMEN

En el presente trabajo se estudian las aguas termales de Caldes de Montbui, a partir de análisis químicos, del contenido en 0-18 y del control durante doce meses del contenido en tritio; todo ello encaminado a poder opinar sobre el origen de estas aguas. Se concluye que las aguas son de origen meteórico, estableciendo a la vez la teoría de que su termalismo puede deberse a un sistema geotérmico, para el que se ofrece un modelo de recarga.

SUMMARY

The thermal waters of Caldes de Montbui are studied in the present work.

This study has been made beginning with chemical analysis, 0-18 content and control during twelve months of tritium contents; all this directed to be able to opine about the origin of these waters.

It is concluded that the waters have a meteoric origin, and it is established at the same time the theory for which its thermal origin may be owed to a geothermal system, for which it is offered a model of recharge.

INTRODUCCIÓN

Cerca de Barcelona, en la villa de Caldes de Montbui existe una surgencia de agua termal, que mana del granito, que con sus 74° C de temperatura (Font del Lleó) constituye la surgencia de temperatura más elevada de España.

Desde la época de la dominación romana, como mínimo, cuando se construyeron las termas todavía conservadas, esta surgencia se ha venido explotando. Actualmente existen varios establecimientos particulares y un hospital, que se benefician del agua termal, según varias derivaciones, así como una fuente pública —Font del Lleó— en donde se han tomado las muestras para el presente estudio.

La surgencia no es directamente observable, dado que el agua está canalizada por una galería muy anti-

gua, la cual no es transitable sin equipo especial a causa del vapor de agua.

Desde el punto de vista geológico, esta surgencia está situada en el límite norte de la región del Vallès, constituido por una falla que, en esta zona, pone en contacto el Mioceno detrítico que rellena la depresión del Vallès por el sur, con el granito hacia el norte.

Esta surgencia constituye un caso clásico de entre los que se ha hablado del origen juvenil de las aguas; o sea, de que las aguas surgentes provienen de la liberación del agua del magma granítico, conforme éste ascendía hacia la superficie.

Mediante la aplicación de los métodos de la hidrología isotópica —control del tritio y del 0-18— se ha podido estudiar el verdadero origen de estas aguas hipertermales.

MATERIALES

Los materiales que albergan la surgencia, ya se ha dicho que son graníticos. Este granito se presenta muy alterado en superficie por la meteorización de los feldespatos, pudiendo alcanzar la zona alterada algunas decenas de metros.

Por encima de este granito se depositó el triásico, del que quedan retazos en la zona, fig. 1, representado por su base conglomerática (el Buntsandstein), siguiendo después calizas dolomíticas, arcillas y otra bancada calcárea que constituyen el conjunto del Muschelkalk. Más al oeste de la surgencia, a 1 km, el triásico descansa sobre las pizarras paleozoicas.

El granito, además de la falla que lo separa del Mioceno, de orientación ENE-WSW, está surcado por algunas fracturas N-S y otras de orientación no muy definida.

CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Desde el punto de vista hidrogeológico la superfi-

* Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona.

cie alterada del granito ofrece aceptables condiciones para la infiltración y también para la circulación hipodérmica; debido a ello se encuentran en la región numerosas aunque pequeñas fuentes —algunos litros por minuto— estacionales, en las rupturas bruscas de pendiente de las vertientes.

Los materiales triásicos, aflorantes al oeste de la zona de la surgencia, en la margen derecha de la Riera de Caldes, se encuentran topográficamente por encima de la surgencia y se ven drenados por diversas fuentes a lo largo del contorno de la línea de contacto entre el Muschelkalk inferior y el Butsandstein; por otra parte estos materiales se ven atravesados por torrentes encajados que drenan el conjunto triásico.

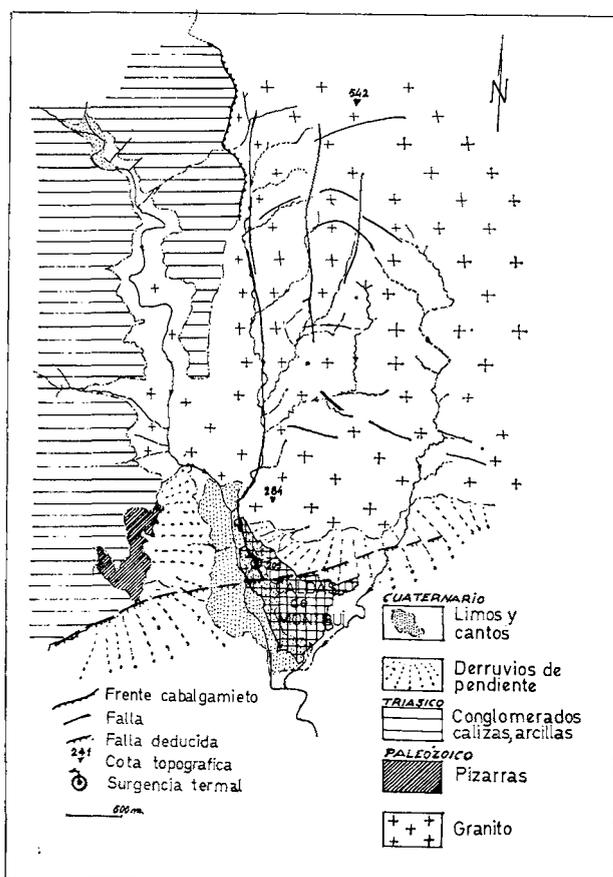


FIG. 1. — Esquema geológico.

En cuanto a los parámetros hidrometeorológicos que afectan a la zona, tenemos que de los datos registrados en el observatorio de Caldes, con un período de 26 años para la pluviometría y de 19 años para la temperatura, se obtiene una media anual de 604,9 l/m²

de precipitación. La repartición media mensual para la pluviometría y la temperatura, es la siguiente:

	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
P; l/m ²	26,6	36,1	62,6	54,8	60,8	46,6	36,7	47,7	73,3	64,7	43,2	53,8
t; °C	6,6	7,8	11,0	13,3	16,2	20,2	23,4	23,3	20,7	16,3	10,9	8,0

TABLA I. — Pluviometría y temperaturas medias mensuales

El caudal de las aguas termales es del orden de los 30 m³/h. Al respecto cabe advertir que, según informaciones orales, se han observado notables variaciones en este caudal a escala generacional.

Quimismo de las aguas

Las aguas termominerales que nos ocupan han sido sometidas a análisis químicos en distintas ocasiones. Así, B. OLIVER RODÉS, en 1910, efectuó un análisis muy representativo, obteniendo las siguientes concentraciones por litro:

TABLA II. — Concentraciones por litro según B. Oliver Rodés en 1910

Cationes	gr.	Milimoléculas	Mg. equivalentes
K ⁺	0,026759	0,6834	0,6834
Na ⁺	0,412202	17,8863	17,8863
Li ⁺	0,001773	0,2525	0,2525
Ca ⁺⁺	0,025604	0,6380	1,2760
Mg ⁺⁺	0,000420	0,0172	0,0344
Fe ⁺⁺	0,000244	0,0043	0,0086
Aniones			
Cl ⁻	0,547423	0,1544	0,1544
Br ⁻	0,0000142	0,0017	0,0017
I ⁻	0,000017	0,0001	0,0001
Fl ⁻	0,004828	0,2534	0,2534
CO ₃ H ⁻	0,209635	3,4368	3,4368
SO ₄ H ₂	0,048170	0,5014	1,0028

Por otra parte y a raíz del presente estudio, se ha realizado igualmente un análisis químico de los iones siguientes, obteniendo las siguientes concentraciones:

TABLA III. — Concentraciones en 1973, en mg/l y meq/l

SiO ₂	60	mg/l	
Ca ⁺⁺	26,0	"	1,297 meq/l
Mg ⁺⁺	0,29	"	0,024 "
Na ⁺	400,0	"	17,396 "
K ⁺	20,0	"	0,512 "
NH ₄ ⁺	0,435	"	0,031 "
Sr ⁺⁺	0,30	"	0,007 "

E⁺ = 19,267

Cl ⁻	520	mg/l	14,664 meq/l
SO ₄ ⁻	47,2	"	0,982 "
CO ₃ H ⁻	157	"	2,575 "
NO ₃ ⁻	0,03	mgN/l	0,002 "
NO ₂ ⁻	0,076	"	0,005 "
PO ₄ ⁻ orto	0,004	mgP/l	0,000 "
P total	0,035	"	

E⁻ = 18,228

(Análisis efectuado por el Centre de Recherches Geodynamiques de Thonon les Bains.)

Contenido en 0-18

En la naturaleza, los océanos constituyen la fuente principal del vapor de agua atmosférico y el principio y final del ciclo hidrológico. En esta gran masa de agua, se compensan o anulan los distintos fraccionamientos locales del contenido isotópico que pueden tener lugar a lo largo del ciclo, en sus estadios continentales. Por ello y después de los trabajos de EPSTEIN y MAYEDA (1953) y CRAIG (1961), el agua de los océanos se ha tomado como referencia universal, lo que constituye el SMOW (Standard Mean Ocean Water). Los análisis del contenido en 0-18 se expresan mediante la desviación respecto de este SMOW, dando el resultado en tanto por mil por comodidad de las cifras.

$$\delta = \frac{R - R_{SMOW}}{R_{SMOW}}$$

Siendo $R = \frac{18O}{16O}$ del agua estudiada y R_{SMOW} la

misma relación pero para el agua del mar; la δ del agua oceánica será, claro está, cero.

Así definida, la δ de las aguas termales estudiadas ha resultado ser de $\delta = -7,0 \%$; lo que se aparta muy notablemente del SMOW. (Estos análisis de 0-18 han sido realizados por A. MARCÉ en el Departamento de Laboratorios del Bureau de Recherches Géologiques et Minières en Orleans, a quien hacemos patente nuestro agradecimiento.)

Contenido en tritio

Como es sabido, desde 1952 en que se iniciaron los primeros ensayos termonucleares aéreos, las aguas meteóricas precipitan marcadas anualmente con diferentes contenidos en tritio; variando estos contenidos en función, principalmente de la latitud. Desde 1968 se han ido tomando muestras de las precipitaciones acaecidas en la latitud que comprende la surgencia termal estudiada, analizando su contenido en tritio, lo que ha permitido efectuar una extrapolación para los contenidos más probables de años anteriores. TRILLA (1972).

El contenido en tritio de las aguas termales en particular, se controló desde marzo de 1971 a febrero de 1972, con los resultados siguientes:

TABLA IV.—Contenidos mensuales de H-3 de la Font del Lleó, en U.T. (Unidades Tritio)

M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	E.	F.
17 ± 3;	15 ± 3;	14 ± 3;	12 ± 2;	10 ± 2;	19 ± 4;	12 ± 2;	12 ± 2;	20 ± 4;	7;	13 ± 2;	7

Como puede observarse, las concentraciones son bastante variables, por una parte; por otra, son lo suficientemente bajas como para no corresponder a los aportes de los veinte años últimos.

EXAMEN DE LOS ANÁLISIS

El examen de los resultados de los análisis que se acaban de exponer nos permiten opinar sobre el origen de las aguas termales estudiadas, así como sobre su dinámica, al menos como teoría de trabajo, como veremos.

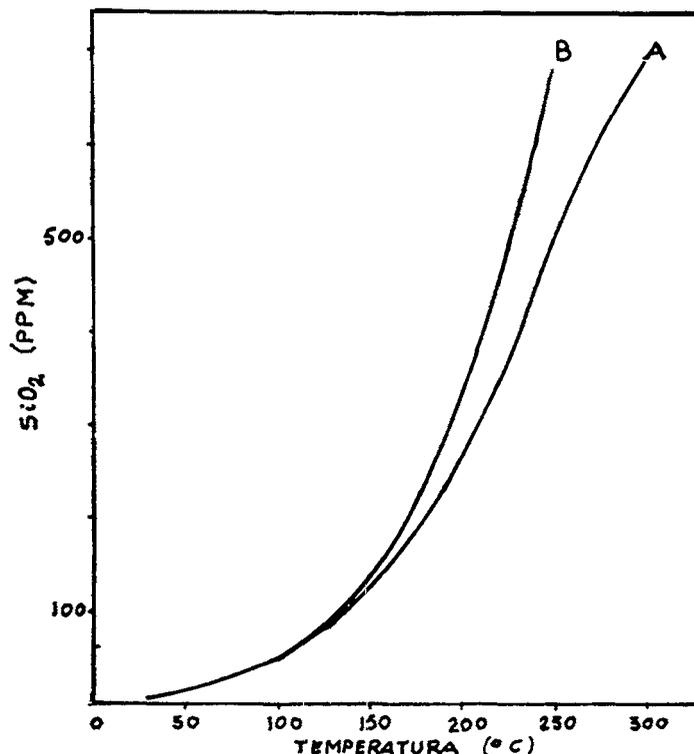


Fig. 2

FIG. 2.—Relación entre la concentración de SiO₂ y la temperatura; según FOURNIER y TRUESDELL 1970.

Cabe recordar que en estos últimos años se ha avanzado notablemente en el estudio de las aguas termales, o mejor, de los fluidos termales (agua y gas) como manifestaciones de sistemas geotérmicos, en vista a su explotación como focos de energía geotérmica. Así WHITE (1970), en un resumen y con-

clusiones de las comunicaciones presentadas en el Simposio de las Naciones Unidas, para el Desarrollo y utilización de Recursos Geotérmicos, expone varios criterios (en la tabla 1 del citado trabajo de WHITE) para clasificar los sistemas hidrotermales que deben su origen a sistemas geotérmicos; entendiéndose por sistema geotérmico una parte de la corteza terrestre que contiene una fuente de calor, que afecta a las rocas y al agua.

Dichos criterios no son propiamente cuantitativos, dado que las temperaturas y los materiales —por tanto el quimismo— son muy variables. El caso que nos ocupa, presenta varias características de acuerdo con estos criterios: en primer lugar el elevado contenido en cloruros, y de sílice. La relación entre sodio y potasio: $Na/K = 20/1$ según tabla III (WHITE considera que los valores de esta relación comprendidos entre 20/1 y 8/1, son significativos de sistemas hidrotermales). Igualmente hablan en el mismo sentido el pequeño valor de la relación $Mg/Ca = 0,011$,

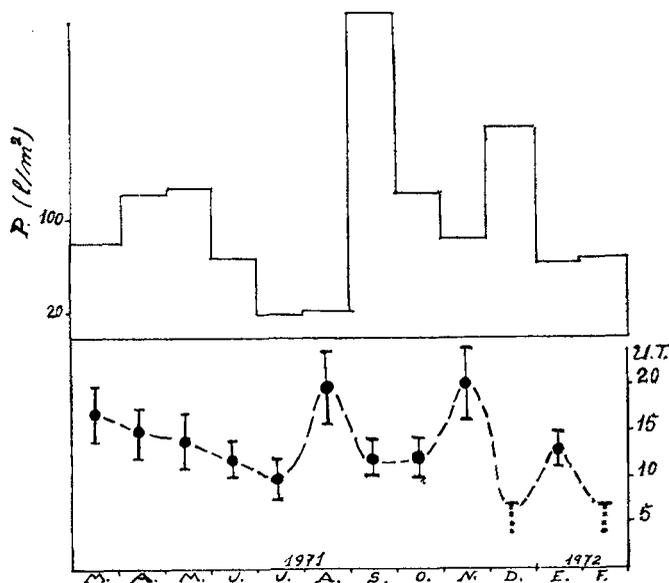


Fig. 3

Fig. 3. — Variación del contenido de H-3 en las aguas termales de Caldes de Montbui.

el elevado porcentaje de $Na/Ca = 15,38$ y el elevado valor de $Cl/F = 113,9$, deducido este último valor de los análisis de la tabla II. Todo esto, junto con la cuantía del caudal que es de unos 500 l/min. (según WHITE el caudal de las fuentes de sistemas hidrotermales varía entre centenares a millares de l/min.) y junto con la evidencia de la temperatura de la surgencia, nos lleva a pensar en la posibilidad de que las aguas estudiadas deben su origen a un sistema geotérmico y no a la sola acción del gradiente geotérmico.

Por otra parte, en el mismo trabajo WHITE expone que con el SiO_2 y la relación atómica entre el sodio y el potasio ($Na/K \times 1,7$), se puede predecir la temperatura de los sistemas de aguas hidrotermales en su foco y ofrece, para el caso del SiO_2 , la gráfica obtenida por FOURNIER y TRUESDELL (1970), que relaciona el contenido de SiO_2 con la temperatura; figura 2. Si aplicamos esta gráfica a nuestro caso ($SiO_2 = 60$ mg/l) obtenemos una temperatura para el origen de las aguas termales comprendida entre 100° y 110° C.

Más discutida, aunque también usada, es la relación antes nombrada entre el Na/K y la temperatura del sistema geotérmico que provoca la existencia de las aguas termales. De entre las diferentes leyes de la relación ensayadas, si tomamos la de WHITE (1965), obtenemos una temperatura de 120° C, lo que no se aparta demasiado del valor encontrado a partir de la concentración de la sílice.

En cuanto al valor encontrado para el 0-18, $\delta = -7,0$ %, corresponde totalmente a aguas meteóricas, o sea que han sufrido un fraccionamiento isotópico notable a partir de la evaporación desde el mar antes de precipitar. El fraccionamiento que podría tener lugar debido al efecto termal sería más bien en el sentido contrario, o sea con tendencia a dar valores de δ cercanos a cero o incluso positivos.

Por otra parte, la existencia de tritio en las aguas termales estudiadas, nos demuestra igualmente que éstas tienen origen meteórico. Su bajo contenido en H-3 y las variaciones que se suceden en el período observado, fig. 3, nos lleva a pensar que existen dos tipos de realimentación de dinámica diferente. Por una parte, la existencia de una masa de agua bastante antigua, por lo menos de varias decenas de años, de poco contenido en H-3, con grandes reservas, que suministra la parte básica del caudal surgente; por otra parte, inyecciones intraanuales de aguas en menor cantidad, con concentraciones de varias decenas a algún centenar de unidades de tritio.

La primera realimentación, suponemos, al menos como teoría de trabajo, que proviene de los materiales miocénicos, detríticos y de tipo arcósico, poco permeables pero saturados y de nivel piezométrico a pocos metros por debajo del nivel del suelo. La segunda realimentación, más esporádica y de dinámica más rápida provendría de la infiltración a través de las fracturas del granito. El resumen de este modelo de realimentación y de dinámica de la surgencia estudiada se ha intentando reflejar en la fig. 4.

CONCLUSIONES

Las aguas termales surgentes en Caldes de Montbui tienen un origen meteórico, pudiéndose excluir totalmente la hipótesis de aguas juveniles.

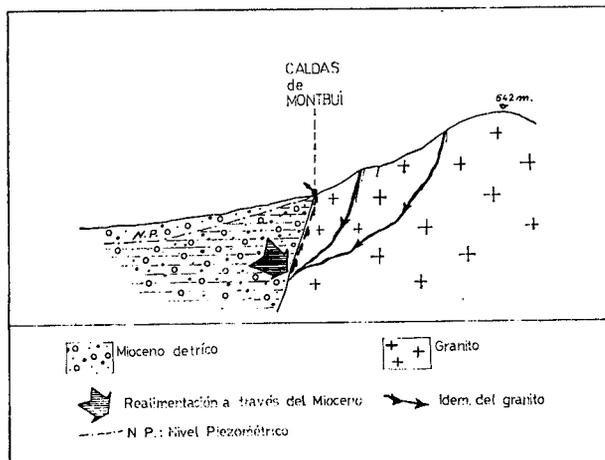


Fig. 4

FIG. 4. — Esquema circulación y realimentación de la surgencia termal de Caldas de Montbui.

Estas aguas, muy probablemente, deban su considerable temperatura de surgencia a un sistema geotérmico en profundidad y no al gradiente geotérmico. Las aguas termales de La Garriga podrían constituir igualmente otra manifestación del mismo sistema.

La temperatura de este sistema geotérmico sería de alrededor de 110° C.

Recibido para su publicación: 3 de julio de 1974.

La realimentación del sistema hidrotermal, opinamos se realiza básicamente a partir del Mioceno, con esporádicas inyecciones a partir de la infiltración a través del granito.

BIBLIOGRAFÍA

- BATALLER, J. R. (1933): Les eaux thermo-minerals de la Catalogne. XIV Congrès Inter. d'Hidrologie, de Climatologie et de Géologie medicinale de Toulouse. París, 1933.
- CRAIG, H. (1961): *Science*. Vol. 133, págs. 1833-1834.
- EPSTEIN, S., MAYEDA, T. (1953): *Geoch. Cosmoch. Acta* 4, págs. 213-224.
- FEBRER, J. (1931): Assaig sobre el clima de Caldes de Montbui. Notes d'estudi del Servei Meterològic de Catalunya. Barcelona.
- FOURNIER, R. O., TRUESDELL, A. H. (1970): Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. *U.N. Symp. Development Utilization Geothermal Resources, Pisa*.
- TRILLA, J. (1972): Estudio hidrogeológico de la cuenca del Francolí. Cronología de las Aguas Subterráneas. *Acta Geológica Hispánica*, Año VII, n.º 5.
- WHITE, D. E. (1965): Saline waters of sedimentary rocks. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 4, pág. 342.
- WHITE, D. E. (1970): Geochemistry Applied to The Discovery, Evaluation and Exploration of Geothermal Energy Resources. *Sec. V. United Nations Symposium, Pisa*.