

# Condiciones hidrogeológicas de los manantiales sulfhídricos de Cataluña

por J. COROMINAS BLANCH

Departamento de Geomorfología y Geotectónica, Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona.

## RESUMEN.

Se indican los primeros resultados obtenidos en el estudio hidrogeológico de estos manantiales, indicándose las condiciones geológicas de las surgencias, sus características hidráulicas y el quimismo de sus aguas, dándose también una breve explicación de su mineralización.

## SUMMARY.

*Hydrogeological Conditions of Sulphidric Springs in Catalonia (Spain).*

The results obtained after the hydrogeological study of these springs, showing their geological conditions, hydraulic features and chemical composition of waters in relation to the respective aquiferous, are studied in this paper.

## INTRODUCCIÓN.

En el momento actual hay una cierta polémica en torno a los procesos evolutivos del azufre y sus compuestos en los medios acuosos naturales. De hecho parece ser que los compuestos de azufre se hallan sometidos en estos medios a un proceso redox cíclico en el que la mediación biológica tiene un papel fundamental (HUTCHINSON, 1957; STUMM Y MORGAN, 1970; BERNER, 1971). Esta problemática, en su conjunto, tiene un claro interés geológico de cara a explicar la alteración de los sulfuros naturales y la formación de los mismos en ambientes sedimentarios. Tiene también interés hidrogeológico en cuanto estos procesos constituyen uno de los principales modificadores del contenido en sulfatos de las aguas naturales.

El estudio hidrogeológico de los manantiales sulfhídricos de Cataluña, intenta ser una aportación al conocimiento de esta problemática en el campo de las aguas subterráneas. A continuación se indican unos primeros resultados referentes a las condiciones hidrogeológicas

de estas surgencias, cuyo conocimiento es previo a toda investigación posterior sobre el particular.

Se han considerado once manantiales termales (Lés, Arties, Boí, Tredòs, Espot, Les Escaldes (Andorra), St. Vicenç, Senillers, Ntra. Sra. de la Mercè, St. Climent Sescelbes y la Puda de Montserrat), cuyas características se han tomado de ALBERT (1973 y 1976), y dieciséis manantiales fríos (Cantallops, Bagà, La Pedra, Vilada, Sta. M<sup>a</sup>. de Matamala, Gombren, Ripoll, St. Joan de les Abadesses, St. Llorenç de la Muga, Banyoles, Mieres, Dosquers, St. Jaume de Llierca, Torelló, Tona y St. Pere Sallavinera). En conjunto constituyen aproximadamente el 80% de las manifestaciones sulfhídricas citadas en la bibliografía. En el estudio se diferencian los manantiales termales de los fríos, dadas las diferentes condiciones genéticas que intervienen en su origen.

## CONDICIONES GEOLÓGICAS.

### *Manantiales fríos.*

La mayoría de estos manantiales se sitúan sobre formaciones margo-calcareas del Terciario marino (niveles de margas azules como las Margas de Vic, Margas de Banyoles, tramos margosos del Prepirineo, etc.). De los dieciséis manantiales indicados, únicamente tres manan de materiales distintos: la Puda de Banyoles y la Font Pudosa de Dosquers, que lo hacen de materiales cuaternarios, y la Font Pudosa de Cantallops que mana de materiales graníticos; aunque cabe considerar que, en el caso de las dos primeras surgencias, los materiales cuaternarios descansan sobre las Margas de Banyoles, y que la Font Pudosa de Cantallops constituye, como se verá más adelante, un caso de termalismo residual.

Hecha esta consideración, resulta que la totalidad de los manantiales fríos estudiados se sitúan sobre materiales margosos terciarios o sobre materiales directamente relacionados con aquéllos.

\* Este trabajo constituye parte de la Tesis de Licenciatura del autor.

### *Manantiales termales*

Diez de los manantiales sulfhídricos termales estudiados se sitúan en el Pirineo, y uno, la Puda de Montserrat, en la Cordillera Prelitoral Catalana. En general se presentan siempre relacionados con líneas de fractura importantes. Así, los manantiales pirenaicos están asociados a las fracturas periféricas de los macizos graníticos de la cordillera, estrechamente relacionados con el zócalo granodiorítico de la misma, y el de la Puda de Montserrat asociado a la falla inversa que hace cabalgar los materiales triásicos sobre el Terciario de la Depresión Central.

### CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

#### *Manantiales fríos*

Son surgencias que generalmente drenan materiales de baja permeabilidad (margas), y están relacionadas con las redes de diaclasas que los afectan. Se sitúan en el fondo de barrancos donde el lecho de los cursos de agua superficial suele actuar de nivel de base. Los caudales son normalmente reducidos y del orden de unos pocos litros por minuto, con notables oscilaciones estacionales en su régimen de descarga. Con caudales mayores a los citados (del orden de varios litros por segundo) cabe considerar la font Puda de La Pedra, de tipo cárstico, y la Puda de Banyoles, de tipo artesiano, probablemente relacionada con el sistema hidráulico que alimenta el lago.

#### *Manantiales termales*

El origen de los mismos parece estar en la infiltración profunda de aguas meteóricas, las cuales calentadas por efecto de un gradiente geotérmico en general positivamente anómalo, ascienden a superficie por efecto de termosifón, aprovechando las zonas de mínima resistencia hidráulica tales como las discontinuidades tectónicas. Se sitúan en los puntos en que las fracturas cortan el fondo de los valles (carga hidráulica mínima), y son frecuentes las surgencias múltiples originadas por un mismo tronco termal ramificado por efecto de la fracturación superficial. Sus caudales son muy variables y oscilan entre 4 l/min en Espot y 600 l/min en la Puda de Montserrat. Su régimen de descarga es muy constante.

### CARACTERÍSTICAS FÍSIO-QUÍMICAS.

#### *Manantiales fríos.*

Los resultados de los análisis químicos del agua de los manantiales estudiados se resumen en la TABLA 1. Se han analizado también muestras de aguas superficiales próximas a los manantiales, con el fin de disponer de unos primeros criterios orientativos sobre el grado de evolución de las aguas sulfhídricas. Estos análisis han sido realizados mayoritariamente en los laboratorios de la SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE BARCELONA, S.A.

Las temperaturas de surgencia de estos manantiales varían generalmente con la temperatura ambiente y los valores más frecuentes a lo largo del año oscilan entre 8°C y 15°C. Las salinidades de las aguas son elevadas, con valores del residuo seco a 110°C generalmente superiores a 600 ppm, y con algunos casos de aguas salobres (sobre 5000 ppm en Gombrén, Matamala y Tona). Son aguas duras a muy duras, con valores de la dureza total que suelen sobrepasar los 1000 ppm de CO<sub>3</sub>Ca. Los pH son ligeramente alcalinos en las determinaciones de laboratorio y neutros o ligeramente ácidos en las determinaciones de campo. Hay un neto predominio de las facies sulfatadas cálcicas y sódicas, a las que siguen las bicarbonatadas cálcicas y sódicas y las cloruradas sódicas. Una excepción a este grupo la constituye la Font Pudosa de Cantallops, con características más próximas a los manantiales termales que a los fríos.

Las aguas superficiales analizadas son predominantemente de facies bicarbonatadas o sulfatadas cálcicas, con una mineralización total que normalmente es inferior a las de los respectivos manantiales (residuo seco a 110°C entre 200 y 2 000 ppm).

#### *Manantiales termales*

Los análisis químicos del agua de estos manantiales y de las respectivas muestras de aguas superficiales, se han obtenido de los trabajos de ALBERT (1973, 1976) antes mencionados. Sus características principales son:

Las temperaturas de surgencia varían entre 20°C en Ntra. Sra. de la Mercè y 62°C en Les Escaldes, aunque el régimen térmico de cada manantial es muy estacionario. Los manantiales pirenaicos presentan aguas de facies bicarbonatadas sódicas muy poco mineralizadas, con valores del residuo seco a 110°C inferiores a 300 ppm; las durezas son bajas, del orden de unos pocos ppm de CO<sub>3</sub>Ca. Los pH están comprendidos entre 7,5 y 9,5, y es de notar el elevado contenido en SiO<sub>2</sub> que presentan (34 ppm de SiO<sub>2</sub> en St. Climent Sescebes y 156 ppm en Tredòs y Espot). Netamente diferenciada de este conjunto, la Puda de Montserrat presenta un residuo seco de 1.508 ppm y una dureza total de 544 ppm de CO<sub>3</sub>Ca.

Las aguas superficiales de la zona pirenaica son de facies bicarbonatada cálcica, con una salinidad generalmente baja (residuo seco a 110°C inferior a los 200 ppm). Los pH son neutros o ligeramente alcalinos, y las durezas totales no sobrepasan los 100 ppm de CO<sub>3</sub>-Ca.

### RELACIONES CON LOS MATERIALES.

#### *Manantiales fríos.*

Las facies hidroquímicas predominantes (sulfatadas y bicarbonatadas cálcicas) se corresponden perfectamente con la naturaleza litológica de los acuíferos, formados principalmente por margo-calizas y yesos. En general son aguas poco evolucionadas con un quimis-

TABLA 1.- Manantiales fríos. Resultados de los análisis químicos

Localidad	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	pH	R.S. (110°C)
Cantallops	85,3	2,6	0,8	0,5	38,4	63,4	31,9	41,3	36,9	9,20	242
Baga	17,2	1,1	100,2	15,1	--	309,9	10,6	83,5	9,0	7,42	442
La Pedra	22,4	1,5	200,4	15,6	--	225,7	35,5	376,3	8,2	7,20	860
Vilada	30,2	2,2	375,1	58,4	--	339,2	14,2	921,7	22,7	7,00	1464
Matamala	847,0	8,8	522,2	180,0	--	705,2	726,9	2173,8	12,6	6,80	5186
Gombren	1982,6	10,0	68,1	60,8	--	441,6	3113,4	21,5	13,4	7,70	5592
Ripoll	23,8	4,7	250,9	298,2	--	429,4	31,9	1434,8	11,8	7,00	2352
St. Joan Ab.	172,0	2,4	88,0	23,0	--	381,0	64,0	269,0	14,0		
St. Ll. Muga	52,0	11,2	327,8	79,3	--	280,6	31,9	979,2	15,4	7,18	1732
Banyoles	28,0	4,2	329,0	58,0	--	404,0	34,0	733,0	18,0		
Mieres	14,0	2,1	663,0	33,0	--	435,0	25,0	1421,0	17,0		
Dosquers	10,0	0,8	177,0	12,0	--	354,0	20,0	196,0	30,0		
St. Jaume de Llierca	400,0	8,0	185,0	92,0	--	409,0	149,0	1093,0	13,0		
Torello	181,4	3,6	28,1	10,2	--	439,0	53,2	81,6	14,2	7,85	604
Tona	1941,0	13,0	33,7	20,4	--	714,9	2446,7	340,8	10,4	7,80	5672
St. Pere Sallavinera	225,4	9,6	489,0	144,0	--	272,1	407,8	1464,0	30,0	7,05	3212

Concentraciones expresadas en ppm. Fecha de los análisis: diciembre 1975 - mayo 1976.

mo análogo al de las aguas superficiales que se han analizado. Las facies sódicas son indicativas de la presencia en el acuífero de otros agentes mineralizadores, como sulfatos y cloruros de sodio; son aguas más evolucionadas, con un quimismo distinto al de las superficiales correspondientes.

La facies bicarbonatada sódica del agua de Cantallops se corresponde también con la naturaleza granítica del acuífero, aunque bajo unas condiciones genéticas termales, como se verá más adelante.

#### Manantiales termales.

Las facies bicarbonatadas sódicas que presentan las aguas termales pirenaicas se corresponden con la naturaleza granodiorítica del acuífero. El carácter sódico es debido al equilibrio agua-granito en condiciones térmicas superiores a las ambientales (unos 100°C según ALBERT, 1976), hecho que las diferencia de las aguas superficiales correspondientes, de carácter netamente

cálcico. La facies clorurada sódica de la Puda de Montserrat es difícil de explicar dado el desconocimiento del acuífero en profundidad, aunque la similitud entre el quimismo del agua termal y el agua del río Llobregat hace pensar en un efecto de recarga por parte del río. (ver tabla 2).

#### LA FONT PUDOSA DE CANTALLOPS

Este manantial constituye un caso particular dentro de los estudiados por ser el único manantial frío (17,5°C) que mana de materiales graníticos, excepción que se comprende si se analizan una serie de características que permiten asociar esta surgencia a un caso de termalismo residual. De estas características las más evidentes son de tipo físico-químico:

- pH netamente alcalino.
- baja mineralización (242 ppm de residuo seco a 110°C).
- dureza muy baja (4 ppm de CO<sub>3</sub>Ca).
- elevado contenido en sílice (37 ppm de SiO<sub>2</sub>).

TABLA 2.

Análisis químicos del agua de la Puda de Montserrat y del río Llobregat. Datos de ALBERT (1976). (Concentraciones en ppm.)

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	pH	R.S. 110°C
La Puda	240,0	16,1	145,0	44,2	308,6	372,6	261,1	35,2	7,1	1.508
R. Llobregat	530,0	155,1	121,8	73,9	269,6	1.028,0	223,1	3,0	7,3	2.270

— elevado porcentaje de Na<sup>+</sup> en el contenido catiónico.

Para remarcar estas características en la Tabla 3 se comparan los resultados del análisis químico del agua del manantial con los correspondientes a las aguas termales de St. Climent Sescebes y de Ntra. Sra. de la Mercè, que manan del mismo macizo granítico. La similitud entre las aguas es indiscutible.

Otro carácter a favor del termalismo de esta surgencia es la estabilidad que presenta en su régimen de descarga (21/min) y en su régimen térmico (17,5°C).

Finalmente se ha calculado también, a través de diferentes métodos termométricos, la temperatura a que ha estado sometida el agua en profundidad, (Tabla 4), obteniendo valores análogos a los obtenidos por ALBERT (1976) en St. Climent Sescebes y en Ntra. Sra. de la Mercè. La analogía de los resultados es otro punto a favor del carácter termal del manantial.

TABLA 3.

Análisis químicos del agua de los manantiales de Cantallops, St. Climent y la Mercè. Los dos últimos según datos de ALBERT (1976). (Concentraciones en ppm.)

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	pH	R.S. 110°C
Cantallops	85,3	2,6	0,8	0,5	38,4	63,4	31,9	41,3	36,9	9,2	242
St. Climent	54,5	1,0	2,40	2,43	—	107,36	23,15	14,36	34,0	8,9	219
La Mercè	91,3	2,7	2,40	0,48	45,6	39,04	37,95	30,72	129,0	9,5	411

TABLA 4.

Temperaturas del agua en profundidad.

METODO TERMOMETRICO

MANANTIAL	SiO <sub>2</sub>				
	FOURNIER	SIEVER	Na-K	Na-K-Ca	ALBITA-ANORTITA
Cantallops	87°C	75°C	84°C	130°C	90°C
St. Climent	85°C	72°C	66°C	63°C	71°C
La Mercè	150-145°C	142°C	91°C	104°C	122°C

## CONCLUSIONES.

1. Las surgencias sulfhídricas estudiadas presentan una distribución geológica peculiar. Por un lado los manantiales fríos se sitúan sobre formaciones margosas terciarias, especialmente sobre las margas del Eoceno marino, y por otro, los manantiales termales relacionados con fallas que afectan materiales más antiguos.

2. El único manantial frío que mana de materiales distintos, (graníticos), es la Font Pudosa de Cantallops, y puede considerarse como un caso de termalismo residual.

3. El quimismo de las aguas es muy variable en los manantiales fríos y muy constante en los termales, hecho que viene condicionado por las características litológicas de los acuíferos respectivos.

4. Del estudio hidrogeológico de estos manantiales y a través de los datos que se han obtenido, no se puede deducir ninguna explicación del carácter sulfhídrico de sus aguas.

5. De los datos químicos disponibles no puede obtenerse ninguna conclusión sobre las variaciones que la reducción de sulfatos a sulfhídrico puede provocar en la composición química de estas aguas.

6. En el momento actual se está investigando la intervención biológica en la evolución química de las aguas estudiadas.

## BIBLIOGRAFÍA.

ALBERT, J. F. (1973): "Estudio hidrogeológico de los manantiales termales de Cataluña". Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias de Barcelona. Inédito.

ALBERT, J. F. (1976): "Estudio geotérmico preliminar de Cataluña". Tesis de Doctorado. Fac. de Geología de Barcelona. Inédito.

BERNER, R. A. (1971): "*Principles of Chemical Sedimentology*". 240 pp. Mc Graw Hill Book Co. New York.

FOURNIER, R. O., ROWE, J. J. (1966): "Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet steam wells". *Amer. Jour. Science*, 264: 685-697.

FOURNIER, R. O.; TRUESDELL, A. H. (1973): "An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters". *Geochim. et Cosmochim. Acta* 37: 1255-1275.

HUTCHINSON, G.E. (1957): "*A Treatise on Limnology*". Vol.1 (Geography, Physics and Chemistry). John Wiley Sons, inc. New York.

SIEVER, R. (1962): "Silica solubility 0-200°C and the diagenesis of siliceous sediments". *The Journal of Geol.*, vol. 10, n° 2, pp. 127-150.

STUMM, W.; MORGAN, J.J. (1970): "*Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*". 583 pp. John Wiley Sons, Inc. New York.

Recibido, 22 febrero, 1978. Revisado 30 junio 1978.