

EL SISTEMA DE FLUJO HIDROTHERMAL SURGENTE EN EL BALNEARIO DE LEDESMA (SALAMANCA)

[The emerging Balneario de Ledesma (Salamanca) hydrothermal flux system.]

M.F. ANDRÉS SÁNCHEZ (*)

F.J. SÁNCHEZ SAN ROMÁN (*)

(*): Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.
(E mail: javisan@gugu.usal.es)

(FECHA DE RECEPCIÓN: 1998-01-27) (FECHA DE ADMISIÓN: 1998-03-17).
BIBLID [0211-8327 (1998) 34; 27-42].

RESUMEN: En el Balneario de Ledesma se encuentra un punto de descarga de agua subterránea con elevada temperatura (45°C), sulfurada y con alto contenido en Flúor. De acuerdo con las características químicas e isotópicas del agua, las de algunos manantiales próximos y su evolución a lo largo de los últimos años, se establece que se trata de un flujo profundo de gran amplitud, que debe alcanzar una profundidad de varios kilómetros y una temperatura próxima a los 100 °C. El area de recarga se encuentra al Sur, sobre todo la zona cubierta por materiales terciarios. Desde ella, el flujo subterráneo se produce hacia el Norte, ascendiendo en el punto estudiado al encontrar la cizalla dúctil Juzbado - Penalva do Castelo que actúa como barrera impermeable.

Palabras clave: Hidrotermal, sulfuro, flúor, flujo regional.

ABSTRACT: Groundwater discharge at the Balneario de Ledesma is thermal (45 °C), with high concentrations of sulfur and fluoride. According to chemical and isotopic characteristics, and their time evolution, we establish that groundwater flow system is of regional extent and some kilometers deep. Temperature reaches close to 100 °C. Recharge area is located southward, mainly in the zone covered by tertiary deposits,

from which groundwater flows north, finally discharging upwards in the point studied, because the Juzbado- Penalva do Castelo Shear Zone acts like a impervious boundary.

Key words: Hydrothermal, sulfur, fluoride, regional flow.

INTRODUCCIÓN

El Balneario de Ledesma se encuentra a 20 km. al NO de Salamanca, y a 8 km. al SE de Ledesma (Ver Figura 1). Estas instalaciones se han establecido sobre una captación de aguas sulfuradas calientes (45-50° C), que hasta hace unos años fueron surgentes, y que en la actualidad son bombeadas desde unos pocos metros de profundidad. Esta anomalía hidroquímica y térmica se presenta solamente en este punto; aunque existen manantiales próximos de características químicas similares, en ellos la temperatura de surgencia es normal.

Existen datos arqueológicos que atestiguan que estas aguas ya fueron conocidas y utilizadas por los romanos. En efecto, MARTÍNEZ REGUERA (“Bibliografía Hidrológico Médica Española”, 1896; citado en BLANCO, 1988) refiere el hallazgo de tumbas y monedas romanas del siglo II. GARCÍA LÓPEZ (“Monografía de las Aguas y Baños de Ledesma”, 1884; en BLANCO, op. cit.) recoge datos según los cuales los árabes realizaron importantes construcciones para el aprovechamiento de estas aguas en el siglo X.

A partir del siglo XVI existen varias referencias a los baños de Ledesma y extensas descripciones de sus propiedades curativas. LIMÓN MONTERO (1679), además de describir las propiedades terapéuticas, refiriéndose a la temperatura y quimismo del agua dice: “El calor es fuerte, se puede tolerar, aunque es intenso (...) Olor a azufre, hace espuma”. TORRES Y VILLARROEL (1744) explica con detalle las enfermedades que pueden curarse, modos de administración, etc. Las aguas fueron declaradas de utilidad pública en 1886.

En la actualidad, alrededor del balneario se ha desarrollado una importante instalación hostelera, y las aguas se utilizan bajo control médico en forma de baños e inhalaciones, como terapia de diversas patologías.

MARCO GEOLÓGICO

La surgencia estudiada está situada sobre materiales metamórficos, muy cerca del borde del recubrimiento terciario que rellena toda la cuenca del Duero y la fosa de Ciudad Rodrigo. En la Figura 2 presentamos un esquema geológico de la zona, simplificado a partir de VILLAR *et al.* (1992).

Se trata de un área de una gran complejidad geológica, en la que encontramos rocas graníticas de varios tipos y rocas metamórficas (neises, esquistos) con muy

diversos grados de metamorfismo. La característica más significativa es la cizalla dúctil Juzbado - Penalva do Castelo (VILLAR *et al.*, op. cit.), que continúa hacia el Oeste al menos 150 km. En este área presenta una dirección media N 70° E y la anchura de la zona milonitizada es del orden de 1000 metros. Como describe LÓPEZ PLAZA (1982), en el flanco Norte de dicha cizalla los materiales metamórficos son gneises glandulares y micaesquistos de alto grado de metamorfismo, mientras que al Sur se encuentran metasedimentos de un menor grado de metamorfismo, pertenecientes al Complejo Esquisto Grauváquico (Precámbrico-Cámbrico), Ordovícico y Silúrico. Las rocas graníticas también son diferentes a ambos lados de la cizalla: al Norte se trata de granitos autóctonos o, en cualquier caso de emplazamiento profundo, mientras que al sur de la cizalla encontramos granitos alóctonos y muy evolucionados. Esto indica un levantamiento del bloque Sur, y, lo que es importante para el sistema de flujo subterráneo, que la cizalla pone en contacto dos bloques geológicamente bien diferenciados. El Balneario se encuentra muy próximo a la cizalla, en el flanco Sur de la misma.

Todos estos materiales están fracturados por varias familias de diaclasas, de las que las más importantes serían N-S y N 30° E.

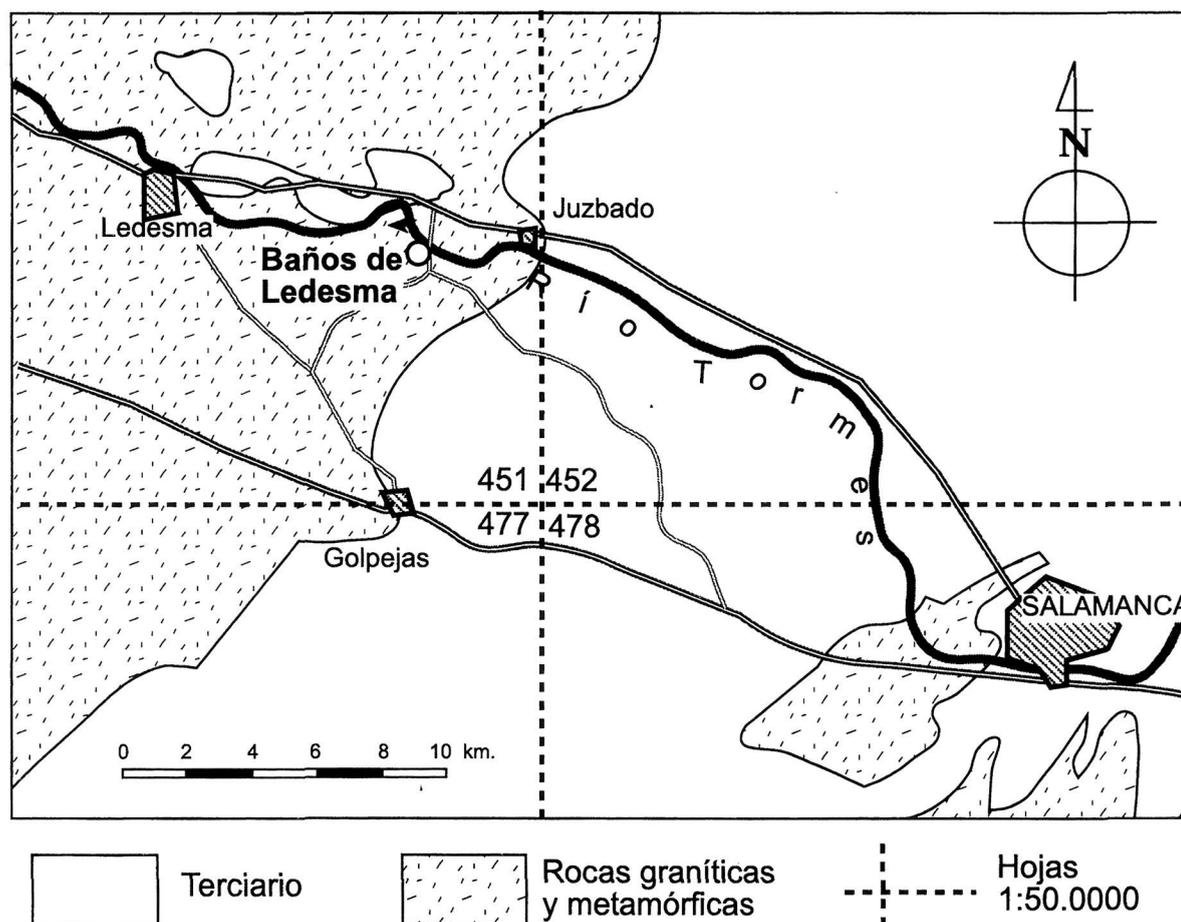


Fig. 1. Esquema de situación

HIDROGEOLOGÍA

Durante siglos el balneario utilizó el agua que surgía espontáneamente en forma de manantial. Para conseguir un mayor caudal, desde 1986 el agua es bombeada mediante dos sondeos contiguos de 24 metros de profundidad, aunque el nivel del agua, como se comentará en detalle más abajo, continúa muy próximo a la superficie. En la actualidad se extraen aproximadamente 420 m³/día, lo que equivale a un caudal continuo de unos 5 litros/seg.

Las captaciones citadas se encuentran muy próximas al cauce del río Tormes, a unos 45 metros del mismo, con una cota 3 metros superior a éste (cota del río: 743,5 m.; cota del sondeo: 746,8). Durante la explotación normal, el nivel dinámico se estabiliza con un descenso de -3 metros. Las extracciones de agua se prolongan desde Marzo a Noviembre; al final de esta temporada, el descenso llega a -4,5 metros (cota: 742,3) lo que sitúa el nivel piezométrico en las captaciones aproximadamente 1 metro por debajo del nivel del río. A pesar de esto, la composición química del agua indica claramente que no hay conexión hidráulica entre el río y las captaciones, ya que el agua del río presenta una contaminación importante, y en los análisis químicos realizados del agua de los sondeos se apreciaría claramente la eventual recarga desde el Tormes, lo que no es así, como se expondrá en el apartado correspondiente. Solamente en alguna ocasión en que excepcionalmente el nivel dinámico se hizo descender al máximo, es decir, unos 15 metros por debajo de la cota del río, se presentaron indicios de que se producía alguna filtración desde el río, pero cuantitativamente despreciable.

Durante el invierno, período en el que se suspenden las extracciones, se recupera el carácter surgente, con un caudal muy escaso en las propias captaciones, y con varias surgencias difusas en un área de unas decenas de metros entre las captaciones y el río. El caudal de estas surgencias, incluídos los propios sondeos, es pequeño, imposible de cuantificar, de unos pocos m³ al día. Se aprecia claramente que se trata de agua caliente que va a parar al río Tormes.

Terminado el periodo de explotación, con el caudal de extracción citado de 420 m³ /día, las captaciones tardan aproximadamente un mes en recuperar el nivel estático inicial. Esta recuperación tan lenta parece contradictoria junto al dato de una extracción continua de 5 litros /seg. (que indica una permeabilidad relativamente alta). Para explicar esta aparente paradoja tenemos que pensar en un sistema de flujo regional, desde las áreas de recarga hasta el punto de descarga, largo y en algunos puntos muy poco permeable. La permeabilidad es relativamente alta desde la zona de almacenamiento profunda hasta la superficie; dicha zona de almacenamiento sufre una depresión de 4 ó 5 metros como resultado de la extracción de unos 100.000 m³ durante los 9 meses de bombeo. En cambio, la conexión hidráulica de esta zona profunda con las áreas de recarga tiene que ser de muy baja permeabilidad para que la recuperación sea tan lenta.

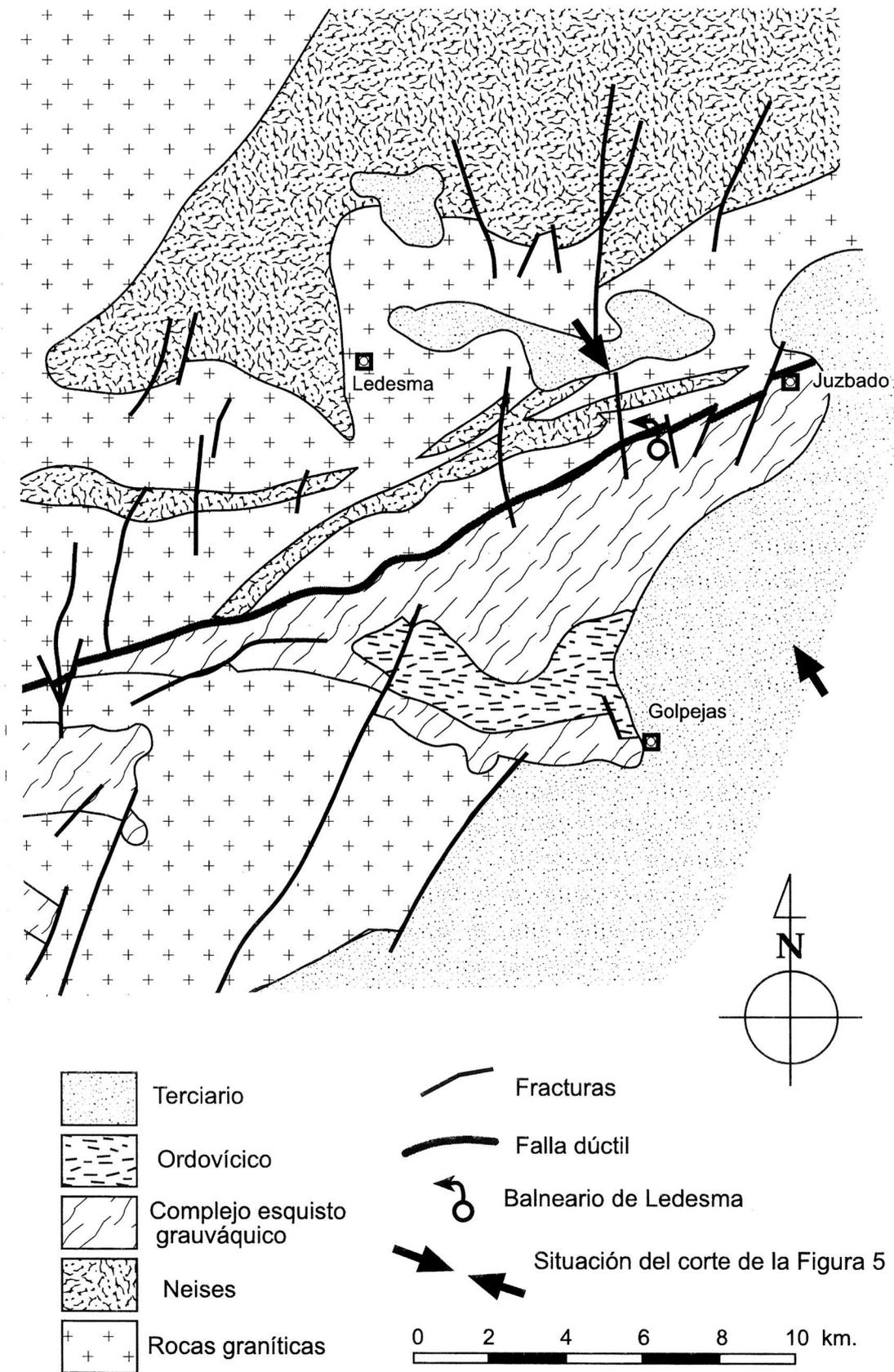


Fig 2. Esquema geológico (Simplificado de VILLAR et al., 1992)

La zona del Balneario corresponde a un área de descarga natural del sistema acuífero, ya que los niveles piezométricos son más elevados en profundidad que en superficie. Efectivamente, en tres sondeos de reconocimiento realizados en 1987 (dos de 91 metros y otro de 21 metros de profundidad), muy próximos al Balneario, se apreciaron claramente ascensos de los niveles piezométricos con la profundidad, hasta una diferencia de 5 metros de nivel en 20 metros de profundidad, lo que supone un gradiente hidráulico ascendente elevado, del orden de 0,25. En otros casos, en que se apreciaron gradientes inferiores (2 ó 3 metros en 90 metros de profundidad) probablemente fuese debido a que en la profundidad de 90 metros no se medía el potencial hidráulico del punto más profundo, sino un valor medio de toda la perforación.

Este flujo ascendente en el Balneario es debido a que la zona de cizalla funciona como una barrera para el flujo subterráneo regional. Es difícil de precisar si ésto es debido a la impermeabilidad de la propia línea de cizalla, o de los materiales del flanco Norte de la misma.

En las proximidades del Balneario existen dos manantiales (ver Figura 1) de pequeño caudal. Aunque su temperatura es fría, desde antiguo se apreció en ellos el mismo olor sulfuroso que en el agua caliente del Balneario.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE LAS AGUAS

Datos analíticos

Se ha realizado un análisis químico completo del agua que abastece al Balneario, de elementos mayores y menores, radiactividad, isótopos (Tritio, Deuterio, ^{13}S , ^{18}O) así como de sustancias orgánicas (fenoles, aceites, grasas, detergentes y pesticidas). Disponemos además de datos históricos realizados en el agua del Balneario y en la de dos manantiales próximos. En el Balneario existe un primer análisis químico completo de Diciembre de 1957 y una serie de 37 análisis desde Enero de 1986 a Marzo de 1994. En dicha serie se midieron solamente temperatura, conductividad, pH y Flúor, a excepción de dos casos, en que también se analizaron todos los elementos mayores. Todos estos datos químicos se presentan en los Apéndices 1 y 2, a excepción de los datos isotópicos que comentaremos más adelante.

No se ha analizado el contenido en H_2S ni HS^- , que evidentemente existen en el agua como lo atestigua su característico olor desagradable. Son suficientes concentraciones menores que 1 mg./L. para conferir ese olor característico (HEM, 1970). Sería necesario realizar las medidas sobre el terreno y sin contacto con la atmósfera, puesto que el sulfuro contenido en el agua se oxida rápidamente a sulfatos. Por tanto, las concentraciones de sulfatos medidas incluyen los sulfuros existentes en el agua.

Características químicas generales

El agua del Balneario es bicarbonatada sódica poco salina. En su composición aniónica, aunque predomina el CO_3H^- , presenta cantidades apreciables de SO_4^- y de Cl^- , mientras que entre los cationes predomina claramente el Na^+ , con concentraciones excepcionalmente bajas de los otros cationes mayores, Ca^{++} y Mg^{++} , inferiores a 10 mg/L. No obstante, la característica peculiar es el elevado contenido en F, entre 11 y 16 mg./L. La conductividad, alrededor de 600 mS/cm., es coherente con la salinidad del agua, en los casos en que disponemos de un análisis completo.

Resulta anómalo que un agua subterránea procedente de un flujo profundo y de larga duración y que ha estado en contacto con la roca a alta temperatura presente una salinidad relativamente baja; concretamente las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++} son anormalmente bajas, lo que podría ser debido a un intercambio catiónico en minerales arcillosos.

De los dos manantiales, uno de ellos (“Fuente Cagalona”) presenta una composición química prácticamente idéntica a la del Balneario, con la única diferencia de que su temperatura es normal, alrededor de 18° C. Por tanto, se trata de dos salidas similares dentro de la misma área de descarga del flujo subterráneo, con la diferencia de que el agua que surge en el Balneario asciende rápidamente sin tiempo para perder la temperatura alcanzada en profundidad.

Del otro manantial (“Fuente del Molino”) no se dispone de ningún análisis químico completo, pero por los iones analizados y por el dato global de su Conductividad se aprecia que es muy distinta, menos salina y sin Flúor, lo que indica que en este caso se trata de la descarga de agua subterránea poco profunda. No obstante, como veremos en el apartado siguiente, este agua subsuperficial recibe un cierto aporte del flujo profundo que alimenta al otro manantial y al propio Balneario.

Evolución del quimismo de las aguas en el tiempo

La salinidad del agua ha disminuído sensiblemente desde 1957 hasta 1994. En la primera fecha citada, la suma de iones disueltos era de 12,7 mmol/L., bajando hasta 10,9 mmol/L. en 1994, que supone una disminución del 14%. No obstante, con los caudales utilizados los últimos años la salinidad del agua se ha estabilizado. En efecto, en la Figura 3 mostramos la evolución de la conductividad, como representativa de la salinidad total del agua, desde 1986 a 1994, tanto para el agua del Balneario como para la de los dos manantiales próximos. Se aprecia que la salinidad del agua se ha mantenido constante, con una conductividad alrededor de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}.$, a excepción de las oscilaciones de los años 1987-88; este corto periodo

corresponde a una fuerte sobreexplotación de las captaciones del Balneario que comentábamos más arriba. Los bombeos intensos aceleran el paso del agua en su recorrido subterráneo, lo que produce una disminución en la salinidad que se aprecia tanto en el propio Balneario como en los dos manantiales, aunque con un pequeño desfase en el tiempo. Después de este descenso aparece una subida brusca de la conductividad (ver la citada Figura 3) que probablemente sea debida a la mezcla de aguas poco profundas o incluso de agua del río Tormes.

Para apreciar la evolución del quimismo del agua también hemos utilizado las concentraciones de Flúor (Apéndice 2), cuya evolución en el período 1986-94 aparece en la Figura 4, tanto para el agua del Balneario como para los manantiales próximos. En dicha figura se han utilizado escalas distintas con el fin de remarcar el paralelismo en la evolución del Flúor en los tres puntos. El paralelismo en la evolución del agua del Balneario y uno de los manantiales es absoluto; ya comentábamos más arriba que la composición química de ambos puntos era prácticamente idéntica a excepción de la temperatura. Sí resulta sorprendente el comportamiento del contenido en Flúor de la "Fuente del Molino": aparentemente no tiene ninguna relación con los anteriores (concentraciones de 0,20-0,50 mg./L. contra 8-15 mg./L. de los otros dos puntos), pero su evolución es claramente paralela a la de ellos. Esto quiere decir que aunque se trate de agua mayoritariamente subsuperficial, recibe un pequeño aporte profundo que le proporciona todo el Flúor que contiene, de modo que, aún en ese rango tan bajo, acusa las mismas oscilaciones que los puntos de descarga con contenidos en Flúor elevados.

Composición isotópica

Además de los análisis isotópicos del agua del Balneario se ha realizado isotopía del S en sedimentos terciarios, rocas del basamento en los alrededores del Balneario y agua de lluvia. Los datos obtenidos son los siguientes:

Tritio: $0,007 \pm 0,009$ Bq/L

Oxígeno 18: $d^{18}\text{O}$ (SMOW) = -8,3 (Balneario); -8,4 (Fuente Cagalona)

Deuterio: $d\text{D}$ (SMOW) = -60,4 (Balneario); -60,7 (Fuente Cagalona)

^{34}S (CDT): 15,04 (Balneario); 16,03 (Fuente Cagalona)

Las medidas de ^{34}S en el agua de lluvia y en rocas se incluyen en el Apéndice 3.

La relación entre $d\text{D}$ y $d^{18}\text{O}$ para las aguas meteóricas cumple aproximadamente la relación $d\text{D} \approx 8 \cdot d^{18}\text{O} + 10$ (CRAIG, 1961). En nuestro caso esta relación se cumple con notable aproximación, lo que hace descartar cualquier posible origen juvenil o magmático que se pudiera adjudicar a estas aguas termales.

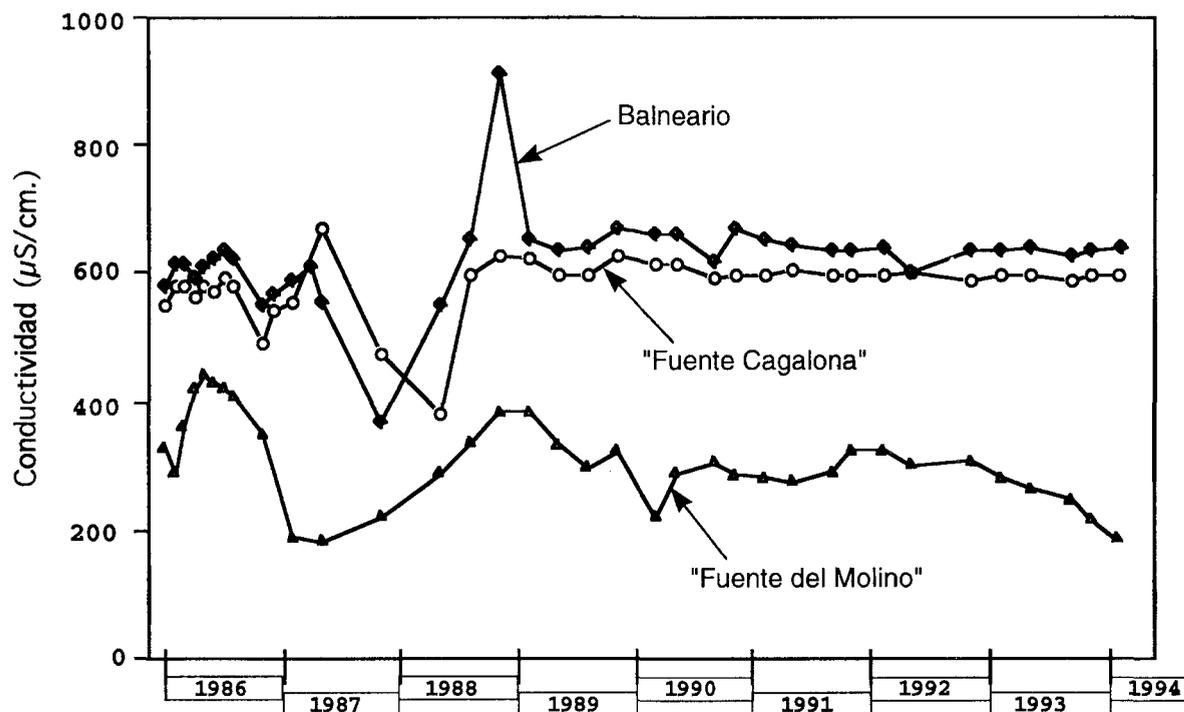


Fig 3. Variación de la salinidad del agua (reflejada por su conductividad) en el Balneario y en dos manantiales próximos, durante el periodo 1986-1994

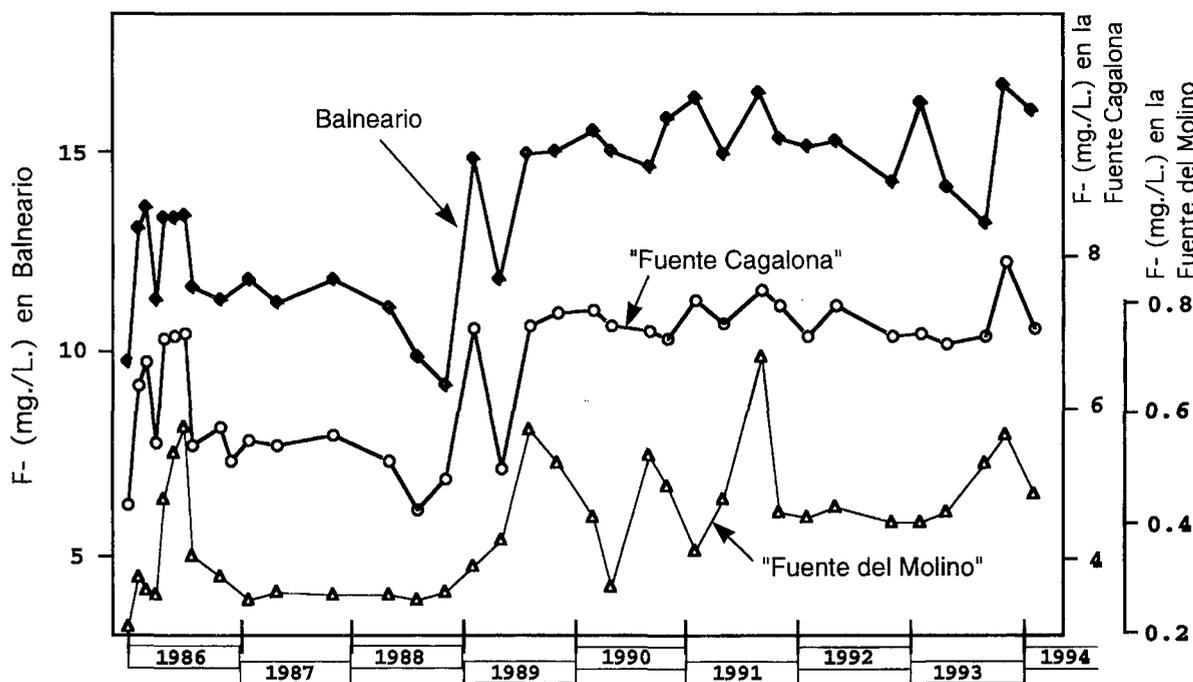


Fig 4. Variación del contenido en Flúor en el Balneario y en dos manantiales próximos, durante el periodo 1986-1994 (Observese que se han utilizado escalas distintas para los tres puntos)

La cantidad de Tritio presente es prácticamente nula, equivalente a 0,2 pCi/L o a menos de 0,1 UT (unidades de Tritio), lo que indica que se trata de aguas infiltradas con anterioridad a 1950, fecha en la que comenzó a detectarse este isótopo en la atmósfera debido a las pruebas nucleares, llegando a alcanzarse valores superiores a 1000 UT en las décadas de los 60 y 70 (GAT, 1980). En la actualidad estos valores han disminuido mucho pero siempre alcanzan unas pocas UT, muy por encima del valor prácticamente nulo analizado en el agua del Balneario.

En relación con los datos de ^{34}S , y teniendo en cuenta el valor que presenta el agua de lluvia ($d^{34}\text{S}= 4,01$), queda descartado que el agua pueda proceder de los granitos situados al Norte de la cizalla, ya que presentan un contenido isotópico muy bajo ($d^{34}\text{S}= 7,00$) para que el agua en su recorrido pueda alcanzar el valor medido en el Balneario ($d^{34}\text{S}= 15,04$), lo que concuerda con la idea de que dicha cizalla se comporta como una barrera impermeable. Este valor de 15,04 ó el medido en la Fuente Cagalona (16,03) son típicos de los sedimentos terciarios de la zona inmediata, como atestigua la medida realizada en alunitas de su Unidad Basal (15,42).

Temperatura del agua en profundidad

Aunque el ión F^- no es un indicador de termalismo, diversos autores establecen la relación directa entre el contenido en F^- de las aguas y su temperatura (por ejemplo, GRANDA *et al.*, 1979). El agua del Balneario presenta una concentración de 16 mg./L. de este ión, que es un valor elevado: los valores normales en aguas subterráneas son inferiores a 1 mg./L., considerandose excepcionales concentraciones superiores a 10 mg./L. (HEM, 1970: p. 178). Es una concentración anómala incluso para aguas termales: GRANDA (op. cit.) calcula un valor medio de 0,75 mg./L. obtenido de 67 surgencias termales de toda España.

El anión F^- procede generalmente de la alteración de la biotita, en ocasiones de la moscovita, hornblenda o turmalina. La máxima concentración de F^- presente en un agua está limitada por la constante de solubilidad de la Fluorita (F_2Ca). EDMUNDS *et al.* (1987, p. 137) utilizan como geotermómetro la variación con la temperatura del Índice de Saturación de la Fluorita, calculando a qué temperatura el agua estaría saturada con respecto a este mineral.

Con los datos analíticos más recientes del agua del Balneario ($\text{Ca}^{++}=6,2$ mg./L.; $\text{F}^- =16$ mg./L.), hemos calculado el grado de saturación del agua con respecto a la Fluorita, que corresponde la siguiente expresión:

$$\text{SI} = \log \left(\frac{(\text{F}^-)^2 \cdot (\text{Ca}^{++})}{K_{\text{F}_2\text{Ca}}} \right)$$

donde:

SI: Índice de saturación (SI>0, sobresaturación, SI=0, equilibrio, SI<0, subsaturación)

(F⁻), (Ca⁺⁺): Actividades (moles/L.)

K_{F₂Ca}: Producto de solubilidad o constante de equilibrio de la disolución de la fluorita

Se han efectuado los cálculos utilizando el programa WATEQF (PLUMMER *et al.*, 1976; SÁNCHEZ, 1994) que tiene en cuenta la formación de iones complejos y por tanto evalúa las actividades con más exactitud que mediante cálculo manual (ver Tabla I). A la temperatura de surgencia (47° C) el agua está sobresaturada con respecto a la Fluorita (SI= 0,488). Para conseguir el equilibrio hay que suponer una temperatura de 95-96 °C. Por debajo de esa temperatura existe sobresaturación (a 94 °C, SI= 0,013) y a mayor temperatura el agua estaría subsaturada (a 97 °C, SI=-0,014). De modo que podemos suponer que el agua alcanza en profundidad la citada temperatura de 95-96 °C o superior, puesto que el agua podría permanecer subsaturada con respecto a la Fluorita si no encontrara minerales que le aportaran F⁻, pero no puede estar sobresaturada, porque precipitaría Fluorita.

Estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos aplicando los geotermómetros clásicos. Por ejemplo, en función del contenido en Sílice (79

TABLA I. Variación del Grado de Saturación del agua del Balneario con la Temperatura

<u>Temp.</u>	<u>log(PAI/K)</u> ^(*)	<u>(PAI/K)</u> ^(**)
47° (surgencia)	0,488	3,076
57°	0,380	2,399
67°	0,276	1,888
77°	0,175	1,496
87°	0,078	1,197
90°	0,050	1,122
94°	0,013	1,031 (+3,1%)
95°	0,004	1,009 (+0,9%)
96°	-0,005	0,989 (-1,1%)
97°	-0,014	0,968 (-3,2%)

PAI (Producto de Actividades Iónicas) = (F⁻)² · (Ca⁺⁺)

(*) En equilibrio sería 0,0

(**) En equilibrio sería 1.0

mg./L. de SiO₂), se obtiene una temperatura de 113 °C utilizando la fórmula de SIEVER (1962) y de 123-124 °C mediante las dos fórmulas de FOURNIER & TRUESDELL (1970).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La surgencia (actualmente extracción) de agua termal en el Balneario de Ledesma es un punto preferente de descarga de un flujo regional profundo. El sistema de flujo debe tener una gran extensión, pero en este punto concreto encuentra una salida rápida a la superficie a lo largo de fracturas permeables, lo que le permite alcanzar la superficie con una temperatura elevada. En la Figura 5 se representa dicho sistema de flujo. En ella se han esquematizado las líneas de flujo en formas quebradas para representar que el flujo en rocas compactas fracturadas tiene que buscar los planos de fractura y sus conexiones, y no puede asimilarse a las líneas de flujo curvas con las que se representa habitualmente el flujo subterráneo desde las áreas de recarga hasta las de descarga.

La fracturación del basamento es compleja, lo que hace imposible conocer la geometría del flujo subterráneo con exactitud, pero parece que las entradas de agua al sistema se producen principalmente en la Fosa de Ciudad Rodrigo, siendo menos importantes las producidas directamente en el basamento, circulando después hasta gran profundidad y ascendiendo a lo largo de fracturas permeables.

Teniendo en cuenta las características físicas y químicas descritas, se trata de un flujo profundo proveniente del Sur, que al encontrar la cizalla impermeable asciende preferentemente en la zona estudiada del Balneario y sus alrededores. En profundidad el agua debe alcanzar unos 95 °C. No disponemos de datos de gradientes geotérmicos, pero incluso con un gradiente relativamente elevado, del orden de 50 °C/km., supondría un flujo de al menos 2 km. de profundidad.

La descarga de agua termal y fluorada en el Balneario de Ledesma no constituye un punto singular o un caso aislado, sino que se trata de un sistema de flujo de extensión regional del que el agua del Balneario no es sino la manifestación más llamativa. En un radio de 40-50 km hacia el SO, muchos puntos presentan concentraciones de Flúor superiores a 1 mg./L., lo que ya puede considerarse anómalo, como indicábamos más arriba. Aunque algunos de éstos puntos están sobre materiales terciarios, se trata de sondeos que extraen el agua del granito subyacente. Alguna de estas captaciones es o fué surgente, como el propio Balneario, Rollán o Encina de San Silvestre. También existen otros puntos en que no se disponen de datos de Flúor, pero presentan un cierto grado de termalismo (Almeida de Sayago, Balneario de Retortillo, Calzadilla, Caldas de Cipérez). En varios casos, estos puntos de agua fluorada o termal se relacionan con la fracturación, sobre todo con la dirección predominante NE-SO o N-S.

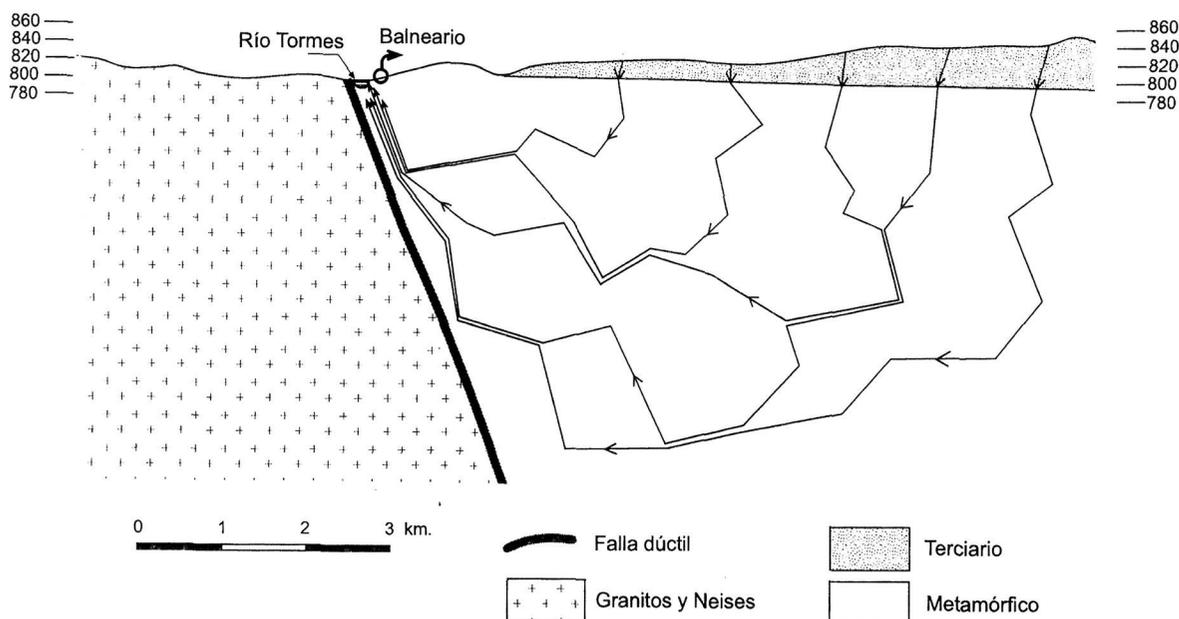


Fig 5. Esquema simplificado del flujo regional (La escala vertical es exacta sólo en la parte que concierne a la topografía. El espesor total del corte sería de 2 km. aproximadamente)

Por otra parte, hay que reseñar que el agua surgente en el Balneario no tiene ninguna mezcla del agua del río Tormes, a pesar de su proximidad.

En relación con el balance hídrico, parece que a escala interanual, la recarga puede satisfacer la descarga natural y las extracciones con los volúmenes actuales. Si dichas extracciones aumentaran, no sólo se provocarían mayores descensos, sino que la salinidad y la temperatura del agua disminuirían. A escala anual, las extracciones provocan descenso de los niveles y de la temperatura, que se recuperan al cesar las extracciones.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO, J.F. (1988): *Introducción de la edición de la obra de Diego de Torres Villarroel: "Uso y provechos de las aguas de Tamames y los Baños de Ledesma"*. Balneario de Ledesma. págs. 7-31.
- CRAIG, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, **133**: 1702-1703.
- EDMUNDS, W.M.; KAY, R.L.F.; MILES, D.L. & COOK, J.M. (1987): The origin of saline groundwaters in the Carnmenellis granite, Cornwall (U.K.): Further evidence from minor and trace elements. *In: Saline water and gases in crystalline rocks*, (Eds. P. FRITZ & S. K. FRAPE). Geol. Assoc. Canada, Special Paper **33**, pp. 127-144.

- FOURNIER, R.O. & TRUESDELL, A.H. (1970): Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs waters of Yellowstone National Park. *Geothermics*, Special Issue, **2**: 529-535.
- GAT, J. R. (1980): The isotopes of Hydrogen and Oxygen in precipitation. In: *Handbook of environmental isotope geochemistry*. (Eds. P. FRITZ & J. C. FONTES), pp. 21-48.
- GRANDA, J.M.; MARTÍN, M. & GARCÍA ROSSELL, L. (1979): Estudio geoquímico de aguas termales de España Meridional. I. Macroconstituyentes. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, **V**: 589-611.
- HEM, J. D. (1970): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *Geological Survey Water Supply Paper*; **1473**: 363 págs.
- LIMÓN MONTERO, A. (1679): *Espejo cristalino de las aguas de España*. Edición facsimil, 432 págs., I.G.M.E., 1979.
- LÓPEZ PLAZA, M. (1982): *Contribución al conocimiento de la dinámica de los cuerpos graníticos en la Penillanura Salmantino - Zamorana.*, Tesis Doctoral, Universidad Salamanca, 333 pp.
- PLUMMER, N.; JONES, B.F & TRUESDELL, A.H. (1976): WATEQF, a Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. *U. S. Geol. Survey, Water Resources Invest.*, **76 (13)**: 70 pp.
- SÁNCHEZ, F. J. (1994): MacWateqf: The classic speciation and saturation program adapted to Macintosh computers. *Groundwater*, **33 (5)**: 829-831.
- SIEVER, R. (1962): Silica solubility 0-200 °C and the diagenesis of the siliceous sediments. *The Journal of Geology*, **70 (2)**: 127-150
- TORRES Y VILLARROEL, D. (1744): *Uso y provechos de los Baños de Ledesma*. 130 págs. Edición del Balneario de Ledesma, 1988.
- VILLAR, P.; ESCUDER, J. & MARTÍNEZ CATALÁN, J. R. (1992): La zona de cizalla de Juzbado - Penalva do Castelo en el sector español. *Actas III Congreso Geológico de España*, **2**: 446-456.

	***** Balneario *****						"Fuente Cagalona"						"Fuente del Molino"							
	temp	pH	Cond.	F-	Silice	Cl-	SO4=	temp	pH	Cond	F-	Cl-	SO4=	temp	pH	Cond.	F-	Cl-	SO4=	
dic-57	52,5	7,52*		15,8	73,2	55,1	57,1													
ene-86	42,6	8,24	581	9,8		77,9		14,8	7,53	552	4,72	54,6		4,9	6,3	330	0,21		45,3	
feb-86	42,5	8,44	613	13,1		76,9		15,7	7,68	581	6,30	53,5		6,0	6,6	291	0,30		32,7	
mar-86	42,4	8,35	613	13,6		79,2		15,3	7,6	581	6,60	56,1		6,7	6,3	361	0,27		45,5	
abr-86	42,4	8,36	592	11,3		76,8		14,7	7,68	562	5,55	53,7		7,6	6,5	420	0,27		53,3	
may-86	45,0	8,34	610	13,3		88		17,5	7,63	581	6,91	64,9		12,0	6,5	441	0,44		56,5	
jun-86	47,0	8,19	621	13,3		73,2		18,0	7,61	571	6,95	52,8		18,5	6,5	431	0,53		53,2	
jul-86	47,0	8,11	633	13,4		63,8		18,5	7,5	592	7,00	43,6		22,0	6,5	420	0,57		47	
ago-86	47,0	8,12	621	11,6		81,8		18,5	7,34	581	5,53	57,9		21,0	6,4	410	0,34		50,7	
nov-86	41,0	8,11	552	11,3		80,3	32	18,0	7,39	490	5,75	55,9		12,5	6,5	351	0,30		48,3	11
dic-86	47,0	8,27	568	5,3	90	56	56		7,73	542	5,30	58	56							
feb-87		8,11	588	11,8	87,9	68,7	58,6		7,42	556	5,60	46,9	27,9		6,5	190	0,26		20,5	1,2
abr-87		8,12	608	5,0		58	57													19
may-87	44,0	8,23	556	11,2	45,13	72,8	55	15,0	7,64	667	5,52	55,2	26	10,0	7,4	185	0,27		38,3	
nov-87	44,0	7,82	370	11,8	58,59	57,4		18,0	7,4	476	5,64	41		12,0	6,3	222	0,27		38,7	
may-88	43,0	8,32	550	11,1				13,0	7,32	381	5,31			14,0	7,3	290	0,27			
ago-88	44,2	8,03	650	9,9				21,0	7,64	597	4,66			20,0	6,2	337	0,26			
nov-88	41,5	7,9	909	9,2				18,0	7,72	625	5,06			15,6	6,83	385	0,27			
feb-89	45,0	7,4	654	14,8				17,0	7,01	621	7,07			7,0	6	385	0,32			
may-89	44,0	7,53	637	11,8				18,0	6,98	595	5,22			14,0	5,9	334	0,37			
ago-89	43,0	8,38	641	14,9				19,0	7,72	595	7,10			22,0	6,8	298	0,57			
nov-89	42,0	7,62	667	15,0				18,0	7,02	625	7,27			13,5	6,2	323	0,51			
mar-90	42,0	8,14	662	15,5				17,0	7,66	613	7,29			9,0	6,7	222	0,41			
may-90	43,0	8,24	662	15,0				18,0	7,38	613	7,10			15,0	6,1	291	0,28			
sep-90	43,0	8,19	617	14,6				19,0	7,36	592	7,02			15,0	6,2	306	0,52			
nov-90	42,0	7,89	667	15,8				17,0	7,46	595	6,92			15,0	6,3	289	0,47			
feb-91	42,0	7,8	654	16,3				16,0	7,57	599	7,42			5,0	6,3	284	0,35			
may-91	42,0	8,26	645	14,9				17,0	7,42	606	7,12			15,0	6,1	278	0,44			
sep-91	43,0	8,22	637	16,4				18,0	7,35	595	7,57			20,5	6,4	292	0,70			
nov-91	43,0	7,91	633	15,3				17,0	7,45	595	7,35			11,0	6,3	327	0,42			
feb-92	42,0	7,96	641	15,1				16,0	7,47	595	6,95			2,5	6,6	327	0,41			
may-92	43,0	7,88	602	15,2				17,0	7,44	602	7,37			15,0	6,4	303	0,43			
nov-92	43,5	8,21	633	14,2				18,0	7,42	588	6,97			11,0	6,3	309	0,40			
feb-93	43,0	7,95	637	16,2				18,0	7,4	595	6,98			7,0	6,3	283	0,40			
may-93	44,0	8,04	641	14,1				17,0	7,37	599	6,85			12,0	6,3	267	0,42			
sep-93	44,0	8,1	625	13,2				18,0	7,37	588	6,97			18,0	6,3	250	0,51			
nov-93	43,5	8,07	637	16,6				17,0	7,38	599	7,94			11,0	6,4	218	0,56			
feb-94	44,0	7,94	641	16,0				18,0	7,33	599	7,04			6,5	6,3	199	0,45			

Apéndice 1. Series históricas de algunos parámetros químicos

Apéndice 2. Análisis químicos completos.

	Balneario				Fuente Cagalona
	dic-57	dic-86	abr-87	feb-94(*)	dic-86
temp	52,50	47,00		47,00	
pH	7,52	8,27	8,12	7,96	7,73
Cond.		568,00	608,00	597,00	542,00
Silicc	73,20	90,00		79,00	90,00
Cl-	55,10	56,00	58,00	54,90	58,00
SO4=	57,10	56,00	57,00	48,90	56,00
CO3H-	193,00	183,00	170,80	132,80	189,10
F-	15,80	5,30	5,00	16,00	5,30
Na+	144,00	124,00	119,00	126,40	128,00
Mg++	0,20	1,20	1,20	0,20	1,21
Ca++	4,90	6,00	4,00	6,20	10,00
K	4,90	5,00	6,40	4,70	7,10
Sr	2,30			0,16	
Li	0,90	0,35	0,35	0,23	
Al+++				0,05	
Σmeq/L cat	6,52	5,79	5,47	5,83	6,17
Σmeq/L ani	6,83	6,12	5,98	5,68	6,28
Error	-2,30	-2,74	-4,44	1,29	-0,90

(*) En este muestreo se analizaron fenoles, detergentes, pesticidas, aceites, grasas e hidrocarburos, con resultados nulos en todos los casos

Apéndice 3. Contenido en ^{34}S de aguas y rocas

Muestra	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)	Comentarios
Sulfato disuelto en aguas		
Balneario	15,04	Sulfato disuelto en el agua
Fuente Cagalona	16,03	Sulfato disuelto en el agua
Agua de lluvia de Salamanca	4,01	Sulfato disuelto en el agua
Sedimentos terciarios		
Vega de Tirados	7,45	Sulfato soluble en agua
Alunita, Carbajosa de Arriba	15,42	Alunita mezclada con ópalo
Granitos, pizarras y cuarcitas		
Granito al Norte de la cizalla	7,00	Sulfuros totales en granito
Pizarra en Aldea del Obispo	8,09	Sulfuros solubles en ácidos
Cuarcita al Sur del Balneario	24,87	Sulfuros totales en la cuarcita