

ESTUDIO 5

El Balneario de Paracuellos de Jiloca (Zaragoza): sus características geológicas e hidrogeológicas

Title in English: *The Spa of Paracuellos de Jiloca (Zaragoza), geological and hydrogeological characteristics*

José Antonio López Geta^{1,*}, Juan José Durán Valsero², Antonio Ramírez Ortega³

¹ Grupo Especializado del Agua (GEA) de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas. ² Instituto Geológico y Minero de España (IGME). ³ Académico Correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia
*jalopezgeta@gmail.com

An. Real. Acad. Farm. Vol 84, Special Issue (2018) pp. 81-107.

RESUMEN	ABSTRACT
<p>El Balneario de Paracuellos de Jiloca se ubica en la provincia de Zaragoza. Geológicamente se localiza en la cuenca de Calatayud rellena con sedimentos detríticos y evaporíticos del Mioceno. Desde el punto de vista hidrogeológico el Balneario está alimentado por unos pequeños manantiales de baja temperatura, situados cerca del contacto entre una terraza aluvial del río Jiloca y los yesos miocenos karstificados, cuya recarga procede fundamentalmente de la infiltración del agua de lluvia en los yesos de la serie miocena. El caudal de los manantiales es reducido, de entre 2 a 3 litros por segundo, y aunque la facies hidroquímica es sulfatada cálcica, posee una serie de aniones representativos de alta salinidad (cloruros en torno a 5000 mg/L).</p>	<p>The Spa of Paracuellos de Jiloca is located in the province of Zaragoza. Geologically, it is located in the Calatayud basin, filled with detritic and evaporitic sediments from the Miocene. From the hydrogeological point of view, the Spa is fed by small springs, of low temperature, located near the contact between an alluvial terrace of the Jiloca River and the Miocene gypsums of karstic nature, whose recharge comes mainly from the infiltration of rainwater in the plasters of the Miocene series. The flow of the springs is reduced, between 2 o 3 liters per second, and although the hydrochemical facia is calcium sulfate, it has a series of representative anions of high salinity (chlorides around 5000 mg /L).</p>
<p>Palabras clave: Balnearios; aguas minerales; acuífero yesífero; Paracuellos de Jiloca.</p>	<p>Keywords: Mineral waters; thermalism; gypsum aquifer; Paracuellos de Jiloca.</p>

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y ADMINISTRATIVOS

Del Balneario de Paracuellos de Jiloca, dada su larga tradición y su interés como centro de salud, existentes muchas referencias bibliográficas, algunas de ellas recogidas en la publicación “Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-

industriales, termales y de bebidas envasadas en la Comunidad autónoma de Aragón” (1).

Dado el interés de la información recogida (1), a continuación, se hace un breve resumen, del que se destacan algunos datos como su primera cita en el *Espejo Cristalino de las Aguas en España* (1697), cuyo autor, Alfonso Limón Montero, hace referencia al alto contenido en azufre y salitre en una fuente próximas a las casas del pueblo. El Dr. Manuel Boquerín, director médico del establecimiento de Alhama, insiste en una memoria escrita sobre dicha fuente e indica el escaso caudal por el estado de abandono. El rey Carlos III otorgó estas aguas al Hospicio de Calatayud. En 1844, el propietario del predio donde surgía el agua, D. Felipe García Serrano, comenzó a utilizarla en baños medicinales y reclamó sus derechos sobre la surgencia, cuya propiedad le fue reconocida en 1851 tras un largo pleito con la citada institución de beneficencia. Según la información recogida en el *Tratado Completo de las Fuentes Minerales de España*, de Pedro María Rubio (1853), en ese mismo año se cubrió el manantial y se construyó parte del edificio balneario.

Las aguas de Paracuellos de Jiloca fueron reconocidas como mineromedicinales y declaradas de utilidad pública, el 4 de junio del año 1850, en una circular de la Dirección de Sanidad, del Ministerio de la Gobernación del Reino, recogida en la Gaceta de Madrid del dieciséis de abril de 1869, en la que se publica una “Nota” de las temporadas en que están abiertos los establecimientos de baños y aguas minerales que han obtenido la declaración de utilidad (1).

Como consecuencia de la realización de una nueva captación en las proximidades de la anterior, o Balneario Viejo, se crea un conflicto de intereses entre ambos propietarios. Esta incidencia viene muy bien recogida en el primer *Anuario Oficial de las Aguas Minerales de España*, de D. M. Ruiz Salazar y otros, publicado en 1877 (2). Se menciona que en el año 1875 se edificó un nuevo balneario por D. Jaime Cortadellas, quien había realizado una nueva captación que provocó la desaparición de la surgencia primitiva (la de los Baños Viejos); estas aguas del nuevo establecimiento fueron declarada de utilidad pública el 18 de julio de 1876.

Como consecuencia de la afección del manantial nuevo sobre el viejo (se ordenó por la Administración que, del caudal del manantial nuevo, 3,33 L/s se cediera a la instalación primitiva un caudal de 0,95 L/s, que era el declarado oficialmente) se inició conflicto entre los dos propietarios que no llegaron a ponerse de acuerdo e iniciaron obras de captación para intentar quitar el agua el uno al otro. En el segundo *Anuario Oficial*, de Anastasio García y otros (1883), se consolida la existencia de los dos establecimientos, con las denominaciones de Baños Viejos y Baños Nuevos, y da cuenta de la mejora en las instalaciones de estos últimos. Los acontecimientos que fueron sucediéndose, motivó que los dos propietarios llegaron al acuerdo de vender

su propiedad, uno al otro, determinándose quién vendería a quién mediante un sorteo (Esto ocurrió entre 1890 y 1901) (Figura 1).



Figura 1. Fachadas de los edificios de los balnearios en distintas épocas.

El propietario D. Felipe García Serrano, para evitar posibles conflictos con nuevas captaciones, solicitó, con fecha diez de julio de 1928, al Gobierno Civil de Zaragoza que se "fijasen los perímetros de apropiación y protección de sus manantiales de Paracuellos" con arreglo al Estatuto de Aguas Mineromedicinales de 25 de abril de 1928, publicado en la Gaceta de Madrid de 26 de abril de 1928. Tras los informes preceptivos se demarcó un perímetro de protección de 910.000 m² de superficie, que fue aprobado por un Edicto del Distrito Minero de Zaragoza de 20 de noviembre de 1929 (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de datos administrativos de interés hidrotermal

Nombre	Fechas relevantes
Baños Viejo. Se reconocen las aguas como mineromedicinales y declaradas de utilidad pública	4 de junio de 1850
Baños Nuevo. Se declara de utilidad pública	18 de junio de 1876
Baños Viejo y Nuevo. Se aprueba el Perímetros de apropiación y protección de los manantiales	20 de noviembre de 1929
Baños Viejo y Nuevo. Se recogen en el Libro-Registro de aprovechamientos de Aguas Minerales del Servicio provincial de Industria, Comercio y Turismo de Zaragoza. Número 5AMT/07/Z	6 de febrero de 2007
Sondeo nuevo. Realización y registro	Noviembre de 2006 y 2008

2. ENCUADRE GEOLÓGICO DEL BALNEARIO DE PARACUELLOS DE JILOCA EN LA CORDILLERA IBÉRICA

2.1. Generalidades

El Balneario se sitúa en la Cordillera Ibérica (1), que se desarrolló durante la Orogenia Alpina, a comienzos del Terciario y continuó hasta el Mioceno con depósitos molásicos. La Cordillera forma una cadena montañosa que recorre el cuadrante nororiental de la Península Ibérica en dirección NO-SE, desde Burgos hasta el golfo de Valencia. Es una banda de 180 a 200 km de longitud por, hasta, 130 km de anchura. Destaca el núcleo de materiales sedimentarios precámbricos y paleozoicos, muy deformados y sometidos a metamorfismo en la orogenia hercínica, que afloran en su sector central, y un recubrimiento de depósitos mesozoicos y terciarios y fosas tectónicas tardías rellenas con depósitos continentales horizontales desde el Mioceno al Cuaternario (Figura 2). Durante el Mioceno, la evolución fue particularmente compleja, con sucesión de etapas compresivas y distensivas, durante las cuales se culminó el relleno de las fosas tectónicas por depósitos continentales, poco o nada deformados posteriormente, situándose en una de ellas, en la denominada Calatayud-Montalbán, el Balneario de Paracuellos de Jiloca.

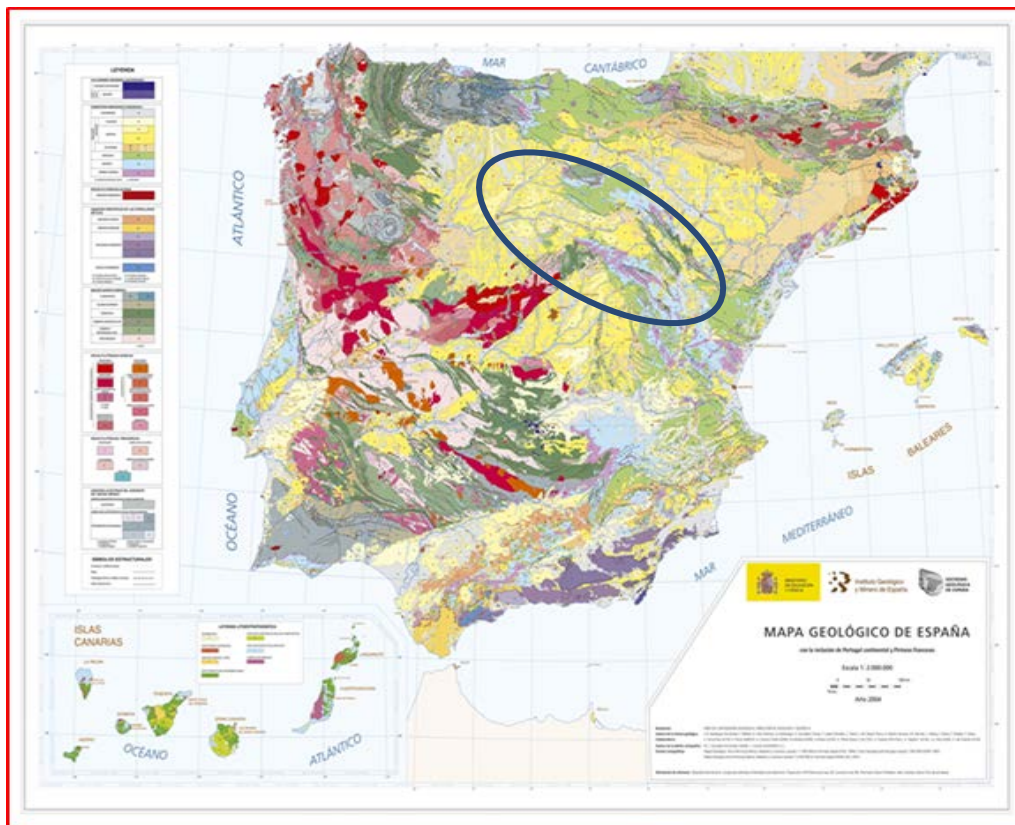


Figura 2. Cartografía Geológica de España, a escala 1:1.000000 realizado por el IGME mostrando la Depresión de Calatayud donde se emplaza el Balneario de Paracuellos de Jiloca.

2.2. Las formaciones acuíferas en el contexto de la Cordillera Ibérica

En el contexto de las formaciones geológicas presentes en la Cordillera Ibérica (1), destacan los acuíferos carbonatados mesozoicos, que abarcan desde el Muschelkalk hasta el Cretácico superior, y algunos detríticos cuaternarios de importancia, separados por macizos paleozoicos o por discontinuidades tectónicas. Además de las formaciones mesozoicas, se encuentran las formaciones detríticas y calizas del Terciarios. En cuanto a los materiales detríticos, su variada litología: terrígena y evaporítica, los hace muy poco permeable; los calizos, a menudo margoso, presentan una permeabilidad por disolución y en menor medida por fracturación, estas características hidráulicas poco relevantes, unido a sus reducidas dimensiones hacen que su interés hidrogeológico sea muy limitado. En cuanto a las formaciones cuaternarias, los sedimentos detríticos poco consolidados, con características similares a los acuíferos aluviales, originan niveles productivos libres, conectados hidrodinámicamente con los ríos, de permeabilidad considerable, pero de poca potencia.

2.3. La Fosa Neógeno de Calatayud-Montalbán

La Cordillera Ibérica se bifurca en Aragón, en dos ramas paralelas (3): la septentrional o aragonesa y la meridional o castellana, separadas por la fosa de Calatayud-Montalbán. Es en esta depresión, en las proximidades a Calatayud, en Paracuellos de Jiloca, es donde se sitúa el Balneario designado con el nombre de dicha localidad. La Depresión se sitúa en la dirección ibérica, con unas dimensiones de 120 km por 20 km, rellena de materiales terciarios, en general horizontales o poco plegados, y limitada por ambos flancos por macizos paleozoicos (Figura 3).

En la Depresión se han diferenciado tres sectores (4): septentrional (Calatayud-Villafeliche), donde se ubica el Balneario; Central (Daroca) y sur (Castralvo-Libros) (Figura 4). Al norte de estas se sitúa el río Perejiles, y al sur, atravesando esas cuencas, el río Jiloca. El relleno sedimentario de esta cuenca alcanza sedimentos aluviales, conglomerados, areniscas, arcillas y limos en la zona de margen de la cuenca que pasan a sedimentos lacustres (evaporitas y carbonatos) en las zonas centrales donde se pueden acumular potencias de hasta 1200 m.

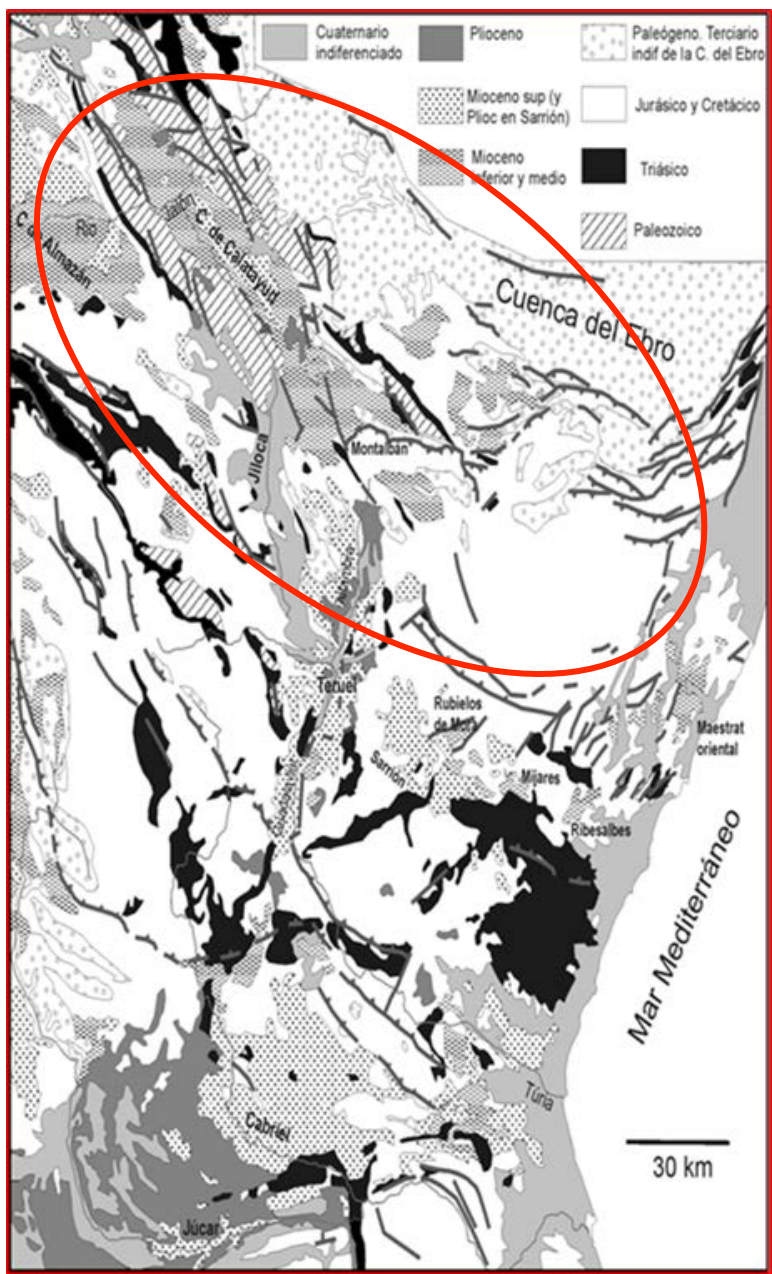


Figura 3. La Cordillera Ibérica se bifurca en Aragón en dos ramas paralelas: la septentrional o aragonesa y la meridional o castellana, separadas por la fosa de Calatayud-Montalbán (3).

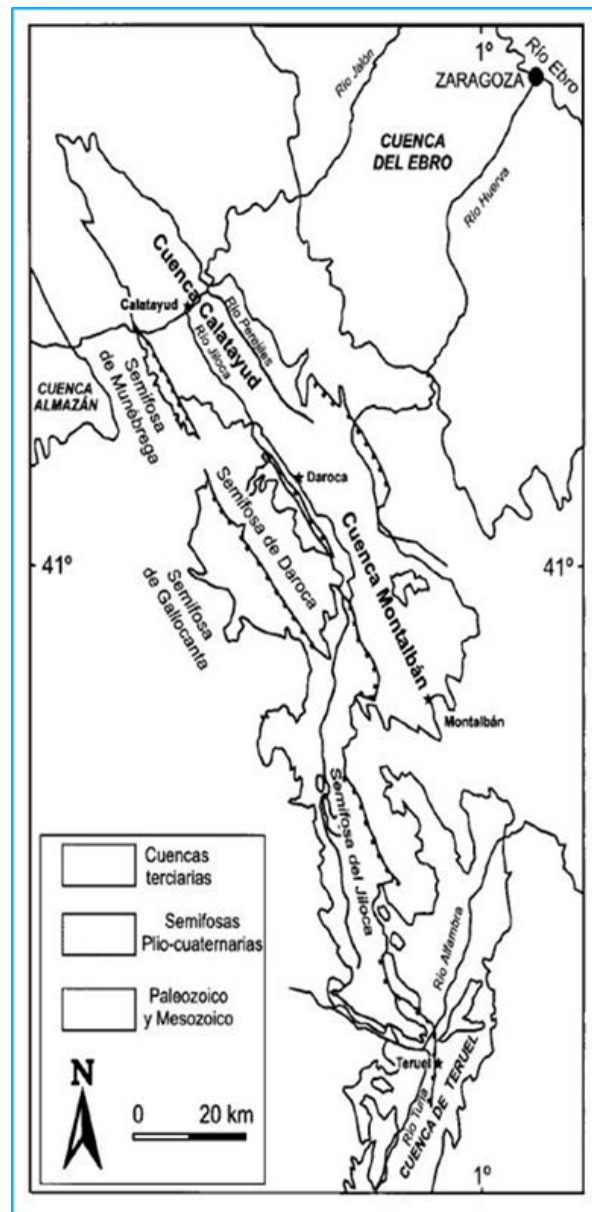


Figura 4. En el esquema se pueden observar los diferentes sectores en los que se ha dividido la Cuenca: septentrional (Calatayud-Villafeliche), donde se encuentra el Balneario, Central (Daroca) y sur (Castalvo-Libros) (4).

De los tres sectores en los que se ha dividido la cuenca de Calatayud-Montalbán (Figura 5), en el sector septentrional (Calatayud-Villafeliche), se diferencian tres unidades: Inferior (¿Oligoceno superior? -Plioceno), con evaporitas (halita, anhidrita, yesos) (Figura 6); Intermedia (Aragoniense medio-Vallesiense), en gran parte de yeso laminado; en las zonas centrales se reconocen cuerpos de carbonatos, y cerca de los bordes se localizan sistemas lacustres aislados y extensos *mudflats* dolomíticos, y Superior (Vallesiense superior-Alfabriense inferior) que consta de depósitos terrígenos aluviales-fluviales y carbonatados fluvio-lacustres (5).

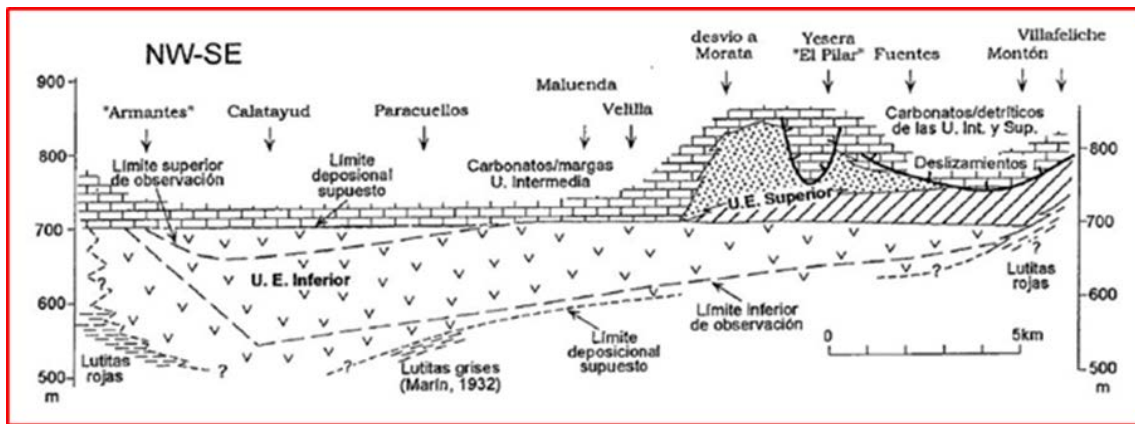


Figura 5. Corte esquemático donde se representa la Unidad inferior y la superior de los yesos de Calatayud, sobre los que se emplazan las formaciones carbonatadas (5).



Figura 6. A la izquierda, afloramiento de los yesos de la Unidad inferior, afectada por un conjunto de fallas normales. A la derecha detalle del lapiaz de disolución desarrollado en los yesos de la misma Unidad.

Como se ha comentado anteriormente, la Depresión se enmarca en la dirección ibérica, ubicándose en ella el Terciario calizo de Calatayud-Mainar (1). Es una banda discontinua por erosión horizontal, apoyada al muro sobre el terciario detrítico y libre por el techo, que aparece en la zona central de la depresión de Calatayud-Montalbán. Hay un Terciario detrítico, formado por conglomerados y arenas, de muy diversas potencias, con intercalaciones de margas y arcillas; en general con disposición subhorizontal y desde el punto de vista hidrogeológico e hidrotermal con poco interés. Además, se dispone de formaciones de edad Cuaternario de gravas y arenas intercaladas con niveles limoarcillosos, de potencia variable, en general pequeña.

3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL ENTORNO DEL BALNEARIO

El balneario está ubicado en un territorio en el que dominan los depósitos tabulares de la cuenca miocena de Calatayud (6), como puede observarse en la Figura 7, compuestos por yesos y arcillas grises, con intercalaciones de conglomerados y brechas silíceas distribuidas irregularmente en la serie (tanto en vertical como con cambios laterales de facies) que afloran extensamente al E y NE de Paracuellos. Sobre la serie yesífera reposan formaciones calcáreas (calizas y margas con arcillas

lignitíferas) y de fangos y conglomerados silíceos, de extensión importante al este de Paracuellos.

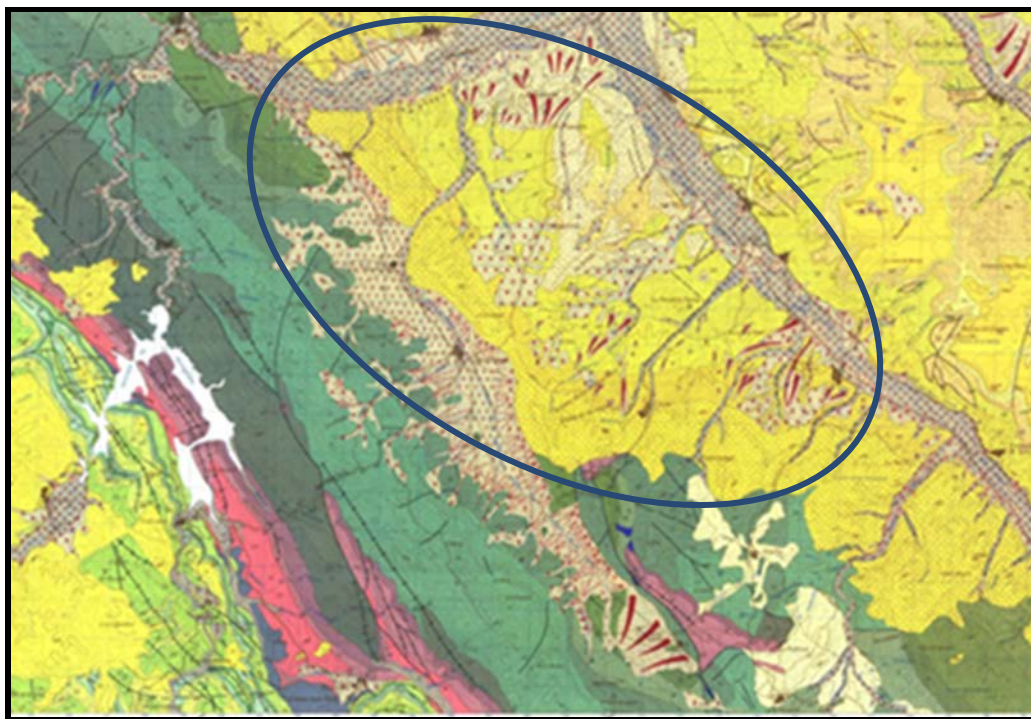


Figura 7. Geología del entorno del Balneario. Serie MAGNA a escala 1:50.000, nº 437. ATECA (7).

En ese entorno se encuentran las fuentes que son aprovechadas por el Balneario, como se puede observar en la Figura 8. La analítica de esas aguas (1) ponen de relieve que esos manantiales son la descarga de una circulación subterránea que tiene lugar a través de los materiales arcilloso-yesíferos del Mioceno, con intercalaciones de conglomerados y brechas silíceas distribuidas irregularmente en la serie (tanto en vertical como con cambios laterales de facies) que afloran extensamente al E y NE de Paracuellos, presentando un elevado grado de karstificación en superficie (Figura 9). Aun mostrando las formaciones evaporíticas una karstificación medianamente importante, sin embargo, la permeabilidad del acuífero debe ser baja, condicionando un tiempo de residencia relativamente elevado en el acuífero, con probabilidad entre 10 y 20 años (1).

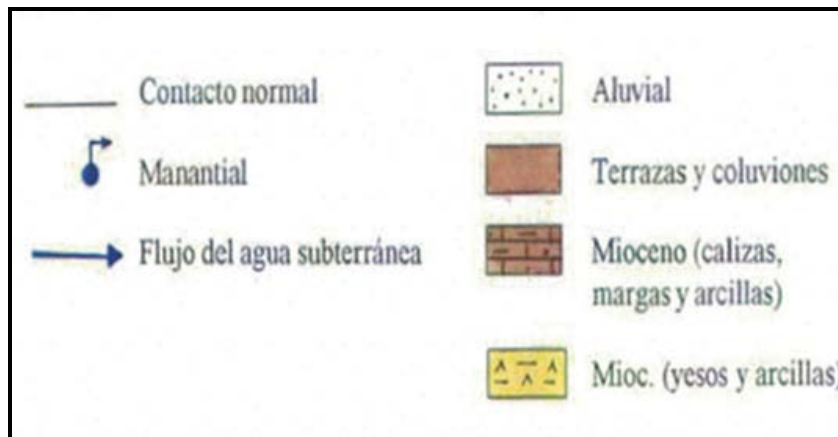
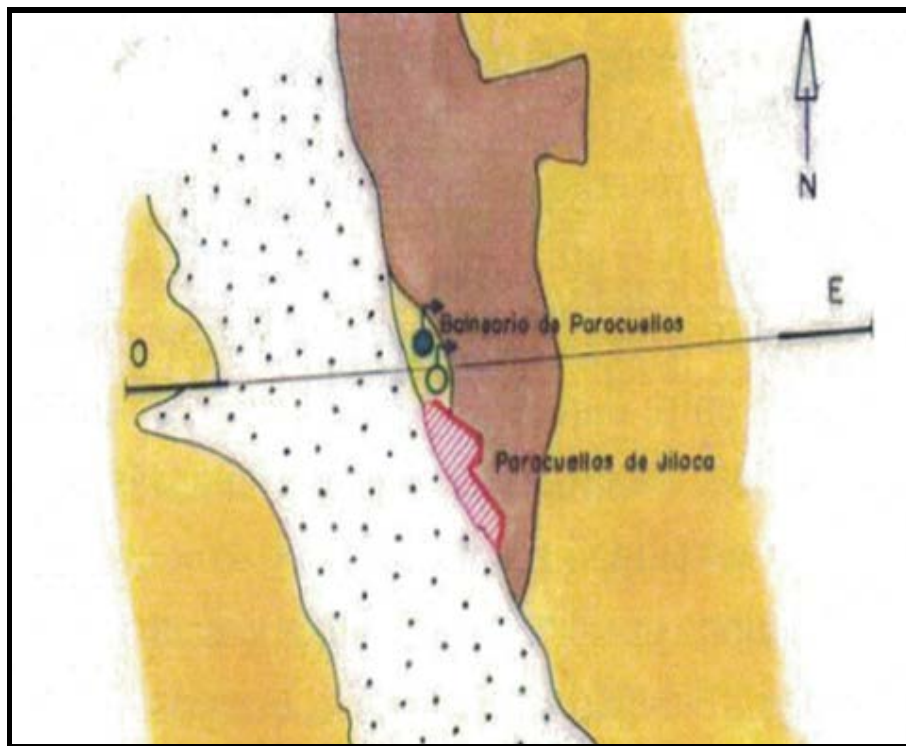


Figura 8. Esquema geológico de detalle del entorno del Balneario y representación de las surgencias y de los diferentes materiales presentes, que en función de su permeabilidad hidráulica juegan un papel más o menos fundamental en su funcionamiento (1).



Figuras 9. Arriba, formaciones yesíferas aflorantes donde se observa en superficie las fracturas e incrustaciones de cristales de yesos. Abajo, aspecto de las formaciones carbonatadas, dispuestas por encima de los materiales yesíferos.

La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia que cae sobre el Mioceno yesífero y, de forma diferida a través de las formaciones calizo-margosas que existen entre Paracuellos de Jiloca y Villalba de Perejil.

En la Figura 10 se representa un corte geológico referenciado en la Figura 8, donde se puede observar los materiales por donde circula el agua, con un flujo, cuya dirección y sentido predominante es de E a O (Figura 10). La descarga del agua del sistema se produce hacia el cauce del río Jiloca favorecido por la karstificación y ser el sector topográficamente más deprimido de toda la zona. Está estimado un flujo máximo de unos 15 km hacia el este y 20 km hacia el sureste de Paracuellos, condicionado por la presencia de afloramientos paleozoicos del umbral de Ateca (1).

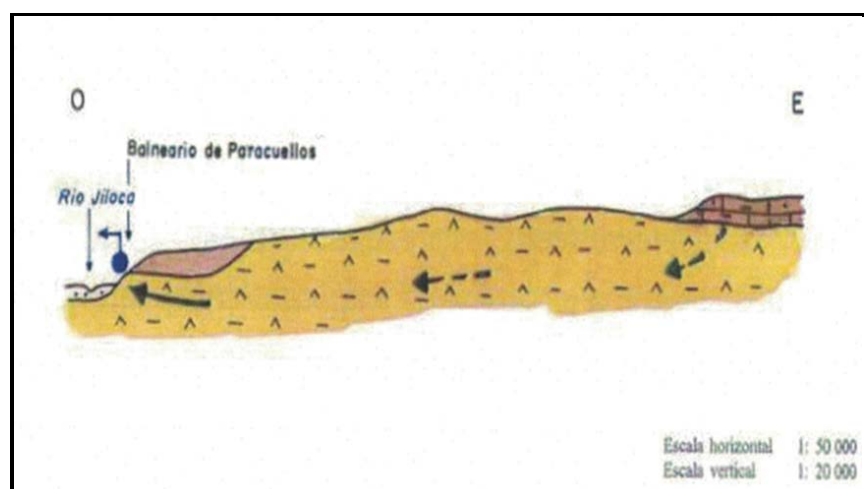


Figura 10. Circulación de las aguas a través de los materiales yesíferos y su salida hacia el valle de Jiloca (1).

4. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS Y TEMPERATURA DE LAS SURGENCIAS Y CAPTACIONES DE AGUA MINERAL DE PARACUELLOS DE JILOCA

Hasta fecha reciente el Balneario ha dispuesto de dos manantiales (ref. 2517/3/0001 y 0002), cuya situación puede verse en la Figura 11, y su acceso en la Figura 12. Estas aguas están clasificadas oficialmente como agua mineromedicinal. A estas surgencias naturales, se ha incorporado un sondeo realizado en noviembre de 2006 y registrado oficialmente en el año 2008, situado junto al balneario, y utilizado actualmente para el suministro de agua y cuyas características técnicas se describen a continuación.

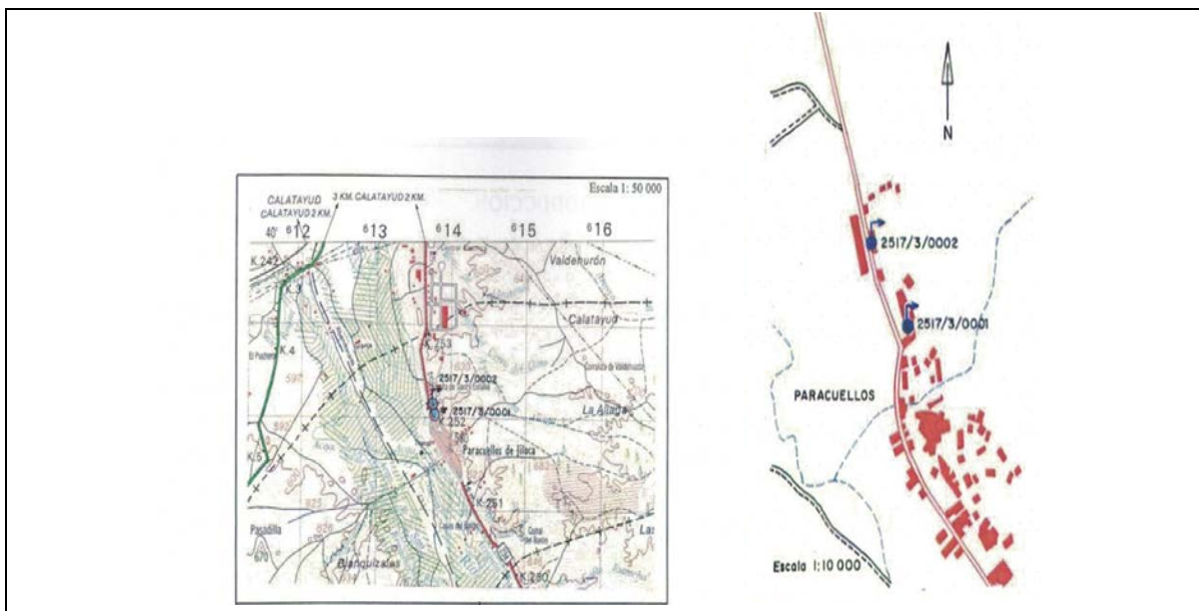


Figura 11. Plano de situación y esquema de detalle de la situación de los dos manantiales (1).



Figura 12. Izquierda y derecha, accesos a los manantiales de Baños Viejos (ref. 2517/3/0001) y Baños Nuevos (ref. 2517/3/0002).

Manantial de "Baños Viejos" (ref. 2517/3/0001)

Es una galería de unos 9 m de longitud y sección de 1,40 m de ancho por 2,20 m de altura, situada a la altura del sótano del edificio de los Baños Viejos, a unos 8 m bajo el suelo. La galería termina en una sala de dicho sótano a la que se accede desde la planta baja del edificio balneario por una escalera.

En la Tabla 2, se recogen los caudales aforados, donde se incluyen datos disponibles correspondientes a los años 1870, 1880, 1887, 1889, 1887, 1929, 1992 y 1993.

Tabla 2. Caudales aforados y temperaturas en los Baños Viejos (ref.2517/3/0001) en diversas fechas (1).

Año	Q L/s	Año	Q L/s	Año	Q L/s	T °C
1870	0.95	1889	0.758	1992	0.63	16
1880	2.3	1887	0.758	1993	15.7	15.7
1887	0.05	1929	2.43			

Esos datos de caudales drenados deben considerarse solo como valores orientativos dadas las diferencias entre ellos, que podría justificarse por causas diversas como variaciones estacionales de la descarga, diferentes grados de mezcla del flujo salino con agua de infiltración más o menos local, desiguales estados de la captación a lo largo del tiempo o aforos parciales. En el propio estudio (1), se dice que el aforo corresponde sólo al agua que salía por los tres chorros de la fuente, sin tener en cuenta la fracción que deriva directamente por el desagüe, que no puede ser aforada.

Manantial de "Baños Nuevos" (ref. 2517/3/0002)

El agua del surge en una oquedad en materiales yesíferos, en el sótano de una casa situada a unos 100 m del edificio de los Baños Viejos. En la Tabla 3, se han recogido los datos históricos aforados en la surgencia "Baños nuevos" (1). Como se indica en ese estudio, y que se asume aquí, las diferencias en los caudales aforados pueden achacarse a las mismas causas que se han indicado para los Baños Viejos, es decir, a variaciones estacionales de la descarga, a diferentes grados de mezcla del flujo salino con agua de infiltración más o menos local, a diferentes estados de la captación a lo largo del tiempo, o a medidas en distintos puntos de la surgencia.

Tabla 3. Caudales y temperatura en diferentes años en la surgencia de los Baños Nuevos (ref. 2517/3/0002) (1).

AÑO	Q L/s	AÑO	Q L/s	AÑO	Q L/s	T°C
1877	3.33(2)	1890	4.46(6)	1992	2.1	16.5
1887	0.71(4)	1992	4.95(7)	1993	1.84	15.8
1889	(5) 3.					

Al ser datos de cierta antigüedad, hay que atenerse a las explicaciones recogidas en estudio (1) correspondiente al año 1994, donde literalmente se dice que “cuando se realizaron los dos aforos, se observó que desde la excavación donde brotaba el agua del manantial no circulaba agua hacia la galería que comunica dicho punto con el sótano del edificio de Baños Nuevos desde donde se deriva el agua hacia el Jalón; ello significa que dicha galería capta un caudal evaluado en unos 2L/s, independiente del que surge en el manantial, cuyo valor no pudo ser medido, pero que podría corresponder al pequeño caudal reflejado ya que por observación visual no parece que la excavación proporcione un caudal superior al litro por segundo, y la captación se encontraba en un estado totalmente insatisfactorio durante el reconocimiento realizado en junio de 1992, con el agua al nivel del suelo constituido por tierra pisada, sin ningún tipo de aislamiento, y dentro de un edificio en el que acumulaba abundante basura. Esta situación fue corregida posteriormente de acuerdo con las modificaciones que se indicaron a los propietarios del establecimiento: elevación del suelo respecto al nivel de agua en la zona de surgencia, con objeto de colocar una cubierta de vidrio para evitar caída de elementos indeseables en el agua, y construcción de un resalte en la galería de desagüe para evitar el retroceso durante el bombeo del agua retenida en la misma, de modo que el acondicionamiento actual protege adecuadamente la zona de surgencia del agua”.

“Nueva captación: Sondeo Número 5AMT/07/Z”

Junto a las instalaciones se sitúa un sondeo (Figura 13) realizado en noviembre de 2006, cuyas características técnicas han sido facilitadas por la propiedad a través de la empresa ejecutora MINERVOL, y cuyos datos se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Características del sondeo número 5AMT/07/Z.

Sistema de perforación	RotoperCUSión	Columna según perforista
Profundidad total	55 m	Tierras 01-08. Sulfatos terrosos 08-55. Sulfatos terrosos muy agrietados con componentes azufrosos
Diámetro de perforación	250 mm	
Diámetro de entubado	180 mm	
Tipo de entubado	PVC de 10 kg de presión.	
Tipo de filtraje	Ranurado	
Primer aporte de agua	18 m	
Caudal	12,5 L/seg	
Bomba	Electrobomba sumergible de acero inoxidable, colocada a 46 m de profundidad, con una potencia de 7,5 Kw	



Figura 13. Situación del sondeo nuevo construido junto a los yesos aflorantes; y deposito adonde se transportan las aguas para su distribución posterior.

5. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS Y TEMPERATURA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL BANEARIO DE PARACUELLOS DE JILOCA

Se ha dispuesto para la caracterización hidroquímica de las aguas del Balneario de algunos datos correspondiente al año 1993 (1), partes de ellos conseguidos "in situ" (Tabla 5) y otros análisis (Tabla 6), elaborados en los laboratorios del ITGE (actualmente IGME) correspondientes a las dos captaciones del Balneario de Paracuellos de Jiloca: Manantial de los Baños Viejos (2517/3/0001) y Manantial de los Baños Nuevos (ref. 2517/3/0002). Se ha dispuesto también de los análisis de isótopos realizados en el laboratorio de la Universidad de Barcelona (Tabla 7). Con fecha reciente, 31 de marzo de 2017, se ha realizado en los laboratorios del IGME el análisis de una muestra de agua tomada en el depósito a donde se bombean las aguas del nuevo sondeo (Tabla 8) (Figura 14).

Tabla 5. Análisis químicos realizados "in situ" directamente en las dos surgencias.

Análisis "in situ" año 1993		
	Baños nuevos (ref. 2517/3/0002)	Baños viejos (ref. 2517/3/0002)
T °C agua	15,8	15,8
T °C ambiente	10,5	10,5
pH	7,247	7,215
Eh mV	320	310
Cond. µS/cm	20.300	19.400
mgr/L		
Alcalinidad (CO ₃ Ca)	236	240
NO ₃	4	4,5
NH ₄	3	3
Fe	0	0
SiO ₂	34	30
O ₂ disuelto	0,8	0,89

Tabla 6. Datos químicos obtenidos en laboratorio en las surgencias de los baños (año 1993).

LABORATORIO								
	1993 Baños Nuevos	1993 Baños Viejos		1993 Baños Nuevos	1993 Baños Viejos		1993 Baños Nuevos	1993 Baños Viejos
mg/L								
pH	7.3	7.3						
Cond.	17760	17080						
R.S.110°C	14267	13627						
D.Q.O mg/l O2	20	19						
CO3	0	0	NH4	1,20	1,04	As	0,00	0,00
CO3H	142	154	Ca++	664	560	Hg	0,00	0,00
SO4	4600	3700	Mg++	540	452	Cr	0,050	0,040
Cl	5000	4800	Na+	3671	3355	Cd	0,00	0,00
NO3-	0	0	K+	17	15	Se	0,00	0,00
NO2	0.08	0.00	Li+	0,38	0,42	Al	-1	-1
P2 O4 -3	0.00	0,00	SiO2	53,6	52	B	0,42	0,40
			Fe	0,15	0,10	F-	2,00	2,00
			Mn	0,070	0.060	S	-10	-10
			Cu	0,00	0,00	CN-	0,00	0,00
			Pb	0,430	0,410.	Rad X	0,917+- 0,815	Menor 0,975 Bq/L
			Zn	0,00	0,00	Rad b	1,015+- 0,472	1,129+ -0,497 Bq/L

Tabla 7. Análisis isótopos laboratorio de la Universidad de Barcelona (1994).

Lab. (UAB) 20/04/94 (T) y 4/2/94 (O18)	
TRITIO	7.7+-1.3
DEUTERIO	-56.0 0/00 SMOW
OXIGENO -18	-7.84 0/00 SMOW

Tabla 8. Contenido analítico de la muestra de agua tomada en el nuevo sondeo número SAMT/07/Z (analizada el 31 de marzo de 2017).

Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	23840		
pH	7.25		
mgr/L			
R.S. 180 ^o	17030	NH ₄	0.00
Na ⁺	3590	PO ₄	0.22
K ⁺	21	SiO ₂	41.8
Ca ⁺	780	Fluoruro	2
Mg ⁺	700	Fenoles	<0.5
Cl ⁻	5300	Bromato	0.010
SO ₄ ⁼	4400	COT	2,94
HCO ₃ ⁻	253		
CO ₃ ⁼	0		
NO ₃ ⁼	0		
NO ₂ ⁻	0.00		
$\mu\text{gr}/\text{L}$			
Ag	< 1	Hg	< 10
Al	< 20	Mn	19.4
As	1.11	Mo	<4
U		Ni	<10
Boro	< 2000	Pb	5.19
Ba	11,8	Sb	< 1
Be	< 1	Se	< 10
		Th	< 1
Cd	< 4	Ti	< 1
Co	< 1	U	< 1
Cr	< 5.59	V	< 1
Cu	<4	Zn	25.9
Fe	< 300	CN	<0.010



Figura 14. Recogida muestra de agua en el depósito al que se bombean las aguas procedentes del nuevo sondeo, y que desde ahí son distribuidas al balneario.

A la vista de los datos analíticos disponibles de las aguas de los baños, se pueden establecer las siguientes consideraciones: La temperatura del agua en la surgencia se sitúa entre los 15,8 °C y 16,5. Es una temperatura normal, que no indica en principio que estas aguas puedan verse sometida a una circulación muy profunda favorecida por una estructura favorable o la presencia de alguna falla. Son aguas ricas en sílice, entre 52,0 y 53,6 ppm, que puede indicar una circulación profunda, sin embargo, el origen de esta sílice puede deberse como se comenta más adelante a las características mineralógicas que presentan los materiales miocenos que albergan el flujo subterráneo.

En (1) se especula, sobre la circulación y el carácter termal de las aguas, lo que equivaldría a suponer una mayor penetración del flujo en el subsuelo, pero en este mismo informe se considera que dada la disposición subhorizontal de las formaciones miocenas y la tectónica presente es poco probable una penetración por debajo del nivel de descarga de Paracuellos (cota aproximada de unos 550 m s.n.m.). Por lo que el gradiente térmico vendría impuesto por las máximas cotas de la probable área de recarga al E y SE de Paracuellos que presenta una cota del orden de 870 m s.n.m. Eso supone que la profundidad máxima de circulación del agua sería del orden de 300 m, concluyendo que eso implicaría una elevación de la temperatura del agua de unos 10 °C con respecto a la que tendría en la zona de infiltración, para que no se observe esa temperatura, la velocidad de flujo sería lo suficientemente lenta que permitiera que el agua se enfriase a medida que se acerca a la zona de descarga, hasta presentar una temperatura de surgencia similar a la media medioambiental. La presencia de boro, flúor y litio, junto con los contenidos importantes de metales pesados y sílice, podría llevar a pensarse en la posibilidad de que la circulación subterránea pueda tener carácter termal y se enfríe antes de llegar a la zona de surgencia. Estas propuestas pueden ser razonables, pero hay que tener en cuenta que esos elementos químicos están presentes en superficie en los materiales miocenos por donde circula el flujo y pueden incorporarse al agua a lo largo de un tiempo relativamente prolongado de contacto agua-roca, con la lixiviación favorecida posiblemente por un cierto incremento de temperatura asociado al carácter exotérmico de la hidratación de las anhidritas.

En el manantial de los Baños Nuevos, se detecta un fuerte olor a sulfhídrico, acumulándose, como se observa en la Figura 15, depósitos blancos de azufre reducido. El muestreo de gases realizado en el marco del estudio (1), puso en evidencia la presencia de metano, con empobrecimiento relativo de oxígeno frente a nitrógeno, en consonancia con el carácter reductor de las aguas y la presencia de azufre reducido en la zona de surgencia.



Figura 15. A la izquierda Galería de los Baños nuevos (ref. 2517/3/0002), donde se observa los depósitos blancos de azufre, y a la derecha recogidos para su uso.

El pH es ligeramente básico (entre 7,125 y 7,25), emergiendo en condiciones francamente reductoras, con un Eh negativo comprendido entre - 310,0 Mv y -320,0 Mv y contenidos muy bajos de oxígeno disuelto (entre 4,08 y 7,63 mg/L), concordantes con su carácter reductor, aunque cabe una cierta reoxigenación en la zona de descarga (1).

Las aguas presentan una mineralización muy fuerte, como lo constatan los altos valores del residuo seco a 110 °C, comprendidos entre 13.627 mgr/L y 14.267 mg/L y con una conductividad eléctrica comprendidos entre 19.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 20.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en campo y de 17.080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 17.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en laboratorio (1). En el análisis reciente de 2017, el residuo a 180 °C es de 17.030 mgr/L y la conductividad eléctrica de 23.840 $\mu\text{S}/\text{cm}$; datos que se sitúan en un abanico de valores muy estrecho.

Los materiales geológicos presentan una mineralización muy diversa como se puede ver en las Tablas 9 y 10, lo que ocasiona unas aguas, que debido a su tránsito por esas formaciones, alcancen una composición química muy diversa, con unos contenidos muy altos en alguno de los componentes químicos, así, entre los cationes, destaca el sodio con más de 3 000 ppm (éste se eleva a 3590 ppm en el análisis recientemente realizado en el sondeo); las concentraciones de calcio también son altas entre 560 y 664 ppm, al igual que en el magnesio entre 452 y 540 ppm. El potasio está presente en contenido apreciable, entre valores que se sitúan entre los 15 y 17 ppm y también pequeñas cantidades de litio que varían entre 0,38 y 0,42 ppm. En cuanto a los aniones mayoritarios, son los cloruros (entre 4 800 y 5 000 ppm) y los sulfatos (3700 a 4600 ppm) los que presentan mayores valores

Tabla 9. Fases minerales y su composición química (4).

Fase mineral	Composición química	INF	INT	SUP	Sin.	Pos.	Existencia
<i>Yeso</i>	CaSO ₄ ·2H ₂ O	(1)	(1)		X (INF, INT)	X (INF)	Satinspar, nódulos, macrocristales (INF) Microlenticulas, selenitas, detrítico (INT)
<i>Anhidrita</i>	CaSO ₄	(1)	(3)		X (INF, INT)		Ocasional en nódulos de yeso en superficie. Pseudomorfos muy comunes. Descrita en sondeos (IGME y MYTA)
<i>Glauberita</i>	CaSO ₄ ·Na ₂ SO ₄	(2)			X		Pseudomorfos en superficie. Descrita en sondeos (MYTA)
<i>Celestina</i>	SrSO ₄		(3)		X		Microcristales en el techo de la U. Inferior y carbonatos diagenéticos
<i>Tenardita</i>	Na ₂ SO ₄	(2)			X?		Descrita en sondeos (MYTA)
<i>Mirabilita</i>	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	(3)				X	Eflorescencias
<i>Bloedita</i>	Na ₂ SO ₄ ·MgSO ₄ ·2H ₂ O	(3)				X	Eflorescencias
<i>Halita</i>	NaCl	(1)			X		Pseudomorfos escasos en superficie. Descrita en sondeos (IGME)
<i>Epsomita</i>	MgSO ₄ ·7H ₂ O	(1)	(2)			X	Eflorescencias
<i>Hexaedrita</i>	MgSO ₄ ·6H ₂ O	(3)	(3)			X	Eflorescencias, por deshidratación de epsomita
<i>Magnesita</i>	MgCO ₃	(1)	(3)		X		Masiva y/o laminada
<i>Dolomita</i>	CaCO ₃ ·MgCO ₃	(3)	(1)		X		Masiva y/o laminada
<i>Calcita</i>	CaCO ₃		(1)	(1)	X (INT, SUP)	X (INT)	Masiva, laminada, clástica, etc.
<i>Aragonite</i>	CaCO ₃	(3)			X		Cristales aislados en láminas

Tabla 10. Fases minerales deposicionales y composición química (4).

Asociación Mineral	Fases minerales deposicionales	Composición química	Presencia en superficie (Postdeposicional)	Unidad Litoestratigráfica	Ambiente sedimentario	Edad
VI	<i>Calcita</i>	CaCO ₃	Calcita	Unidad Superior	Fluviolacustre	Mioceno superior
V	<i>Yeso</i> <i>Magnesita</i> <i>Dolomita</i> <i>Celestina</i>	CaSO ₄ ·2H ₂ O MgCO ₃ CaCO ₃ ·MgCO ₃ SrSO ₄	Calcita (diagenética) Celestina	Unidad Intermedia	Centro lago	Mioceno medio
IV	<i>Yeso</i> <i>Magnesita</i> <i>Dolomita</i> <i>Celestina</i>	CaSO ₄ ·2H ₂ O MgCO ₃ CaCO ₃ ·MgCO ₃ SrSO ₄	Yeso Magnesita Dolomita Celestina	Unidad Intermedia	Centro lago	Mioceno medio
III	<i>Yeso</i> <i>Magnesita</i>	CaSO ₄ ·2H ₂ O MgCO ₃	Yeso Magnesita	Unidad Inferior (Techo unidad, SE)	Centro lago	Mioceno inferior
II	<i>Anhidrita</i> <i>Glauberita</i> <i>Magnesita</i> <i>Aragonite</i> ± <i>Tenardita</i> ± <i>Halita</i>	CaSO ₄ CaSO ₄ ·Na ₂ SO ₄ MgCO ₃ CaCO ₃ Na ₂ SO ₄ NaCl	Yeso Magnesita Aragonite	Unidad Inferior	Margen lago	Mioceno inferior
I	<i>Halita</i> <i>Anhidrita</i> <i>Magnesita</i>	NaCl CaSO ₄ MgCO ₃	No	Unidad Inferior	Centro lago	Pre-Mioceno

Como conclusión, las aguas muestreadas pueden clasificarse como sulfatada, clorurada, cálcica, magnésica, sódica, fluorada, con una facies clorurada sódica, propia

de una circulación en materiales evaporíticos como queda reflejado en el diagrama de Piper (Figura 16) (1) y rica en sílice (entre 52,0 y 53,6 ppm).

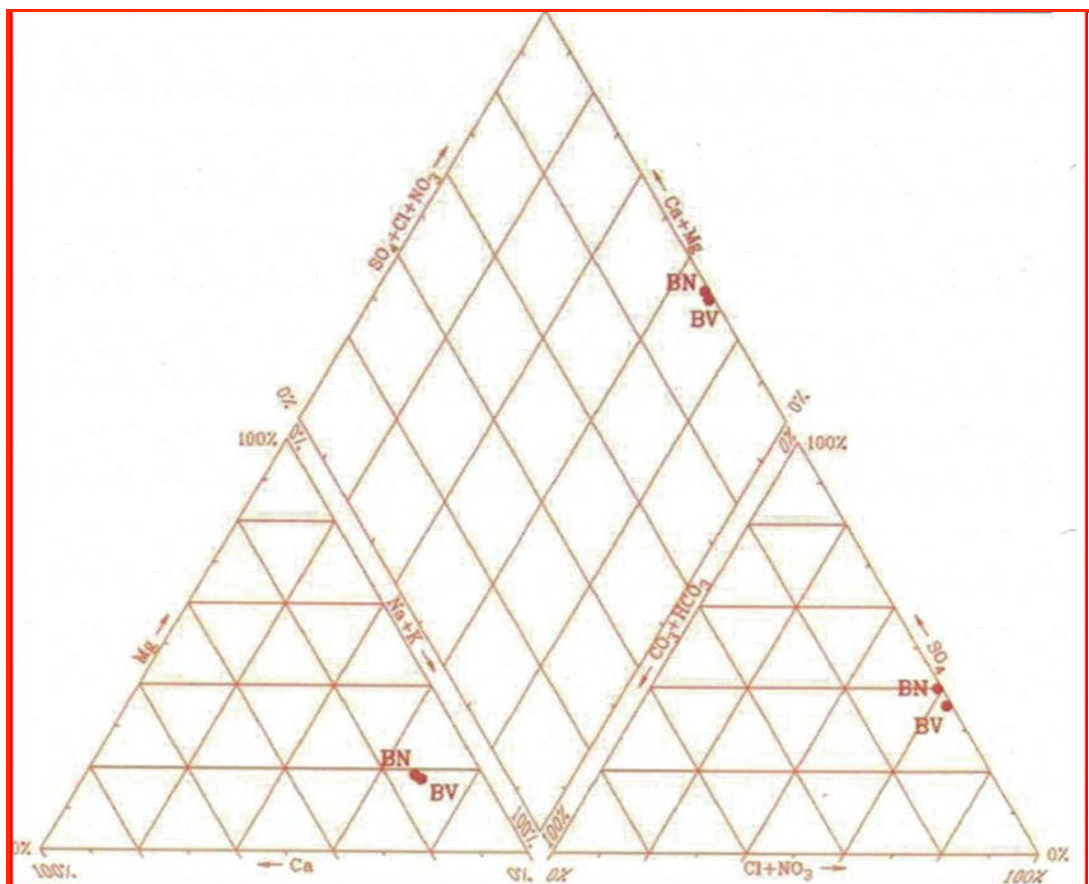


Figura 16. Diagrama de Piper de las muestras de agua de las surgencias (1).

La composición en metales pesados es significativa, destacando los contenidos en plomo que, probablemente, se encuentra en forma de partículas de sulfuro de plomo (galena), a pesar de los valores de pH y Eh de las dos surgencias. Las dos muestras contienen hierro (100 a 150 $\mu\text{g/L}$), manganeso (60 a 70 $\mu\text{g/L}$), plomo (410 a 430 $\mu\text{g/L}$) y cromo (40 a 50 $\mu\text{g/L}$). En los dos puntos se ha determinado boro, son siempre de 30 $\mu\text{g/L}$.



Figura 17. Fuente situada en los Bañerios.

6. PROTECCIÓN DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROMINERALES DEL BALNEARIO DE PARACUELLOS DE JILOCA

El "Estatuto sobre la explotación de aguas minero-medicinales ", aprobado por Real Decreto-Ley de 25 de abril de 1928, publicado en la Gaceta de Madrid nº 117 de 26 de abril de 1928, contempla la figura legal del perímetro de protección de las captaciones donde afloran las surgencias de las aguas minerales. El objetivo del perímetro de protección de las aguas surgentes aprovechadas por un balneario es protegerlas de la posible contaminación por actividades no autorizada y la afección a sus caudales por otras extracciones de agua realizadas en su entorno. Esta protección queda establecida, según el mencionado Real decreto-Ley, por un área con unas características y dimensiones determinadas. que responden a modelos metodológicos diferentes. Esta figura de protección, muy novedosa en su momento, fue un gran avance por lo que supuso proteger las aguas minero-medicinales de los posibles afecciones cuantitativa y química. Iniciativa que se ha continuada posteriormente por otras legislaciones, como la ley de aguas de 1985, publicada con posterioridad, incorporando algunas modificaciones en cuanto a su diseño. Para su aplicación se disponen de algunas metodologías específicas realizadas por el IGME, consultables en su Servicio de publicaciones.

El Balneario de Paracuellos de Jiloca, cumpliendo el Real Decreto-Ley de 25/4/1928, estableció, en el año 1929, dos zonas de protección, una compuesta por dos cuadrados iguales de 300 m de lado (9 ha de superficie total), centrados en el manantial respectivo, que delimitaba la "zona de expropiación" respectiva prevista en el estatuto; y otra, de 910000 ha, como perímetro de protección propiamente dicho. Se establecieron coordenadas de los 29 vértices de la poligonal compleja que delimita el perímetro de protección de 1929 (Figura 18).

La experiencia ha demostrado que los perímetros de protección implementados de acuerdo con el mencionado Real Decreto-Ley, pueden en ciertas ocasiones y lugares dejar de cumplir plenamente su función, debido al desarrollo económico y social originado en su entorno, lo que aumenta las posibles afecciones al no tener en cuenta el riesgo de vulnerabilidad por actividades antrópicas como extracciones de agua o vertidos no autorizados. que pueden implantarse en un ámbito más lejano de la propia surgencia.

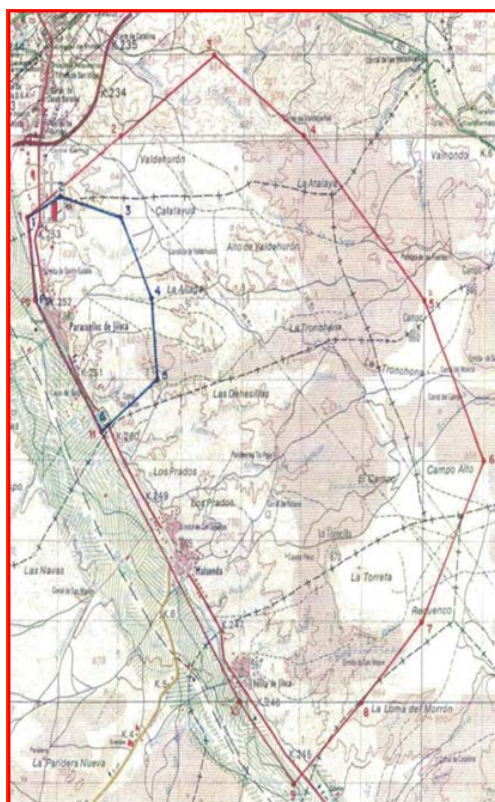


Figura 18. Delimitación del perímetro de protección de las surgencias, cumpliendo el Real Decreto de 25/4/1928.

Ante esta posibilidad de que el perímetro de protección resulte insuficiente para la protección cuantitativa como cualitativa del recurso hidrotermal explotado en Paracuellos de Jiloca, se aconseja, a que por parte de la Propiedad se tome la iniciativa de modificar el perímetro de protección actual, adaptándolo a las necesidades actuales, modificando sus límites de forma que incluya tanto el entorno más inmediato, como el de su radio de influencia y cuenca vertiente hidrogeológica y a ser posible las zonas de recarga.

Para efectuar estas modificaciones del diseño del perímetro de protección, se requiere llevar a cabo una serie de actividades, siendo las más importantes la caracterización detallada de la geológica e hidrogeología del entorno de la surgencia y hasta donde pueda verse afectado hidrodinámicamente el funcionamiento y la circulación del agua de la vertiente hidrogeológica de las surgencias, teniendo en cuenta la diversidad de formaciones geológicas, sus características litológicas y grado de permeabilidad hidráulicas del entorno del Balneario y su posicionamiento topográfico (Figura 19).

De esas formaciones, el acuífero aluvial, con relativa alta permeabilidad, y proximidad de la superficie libre del agua al suelo e inexistencia de recubrimiento superficial impermeable, crean unas condiciones que le hacen muy vulnerable a la contaminación, aunque la situación del río por encima de las surgencias disminuyen la

probabilidad de afección, reduciéndose ésta a pequeña, cuestión que habrá que estudiar detalladamente, al existir potenciales fuentes de contaminación (algunas edificaciones, desagües, alcantarillado entre otras posibles) que son necesarias identificar y eliminar a ser posible o establecer las condiciones técnicas para que estas no produzcan efectos no deseados.

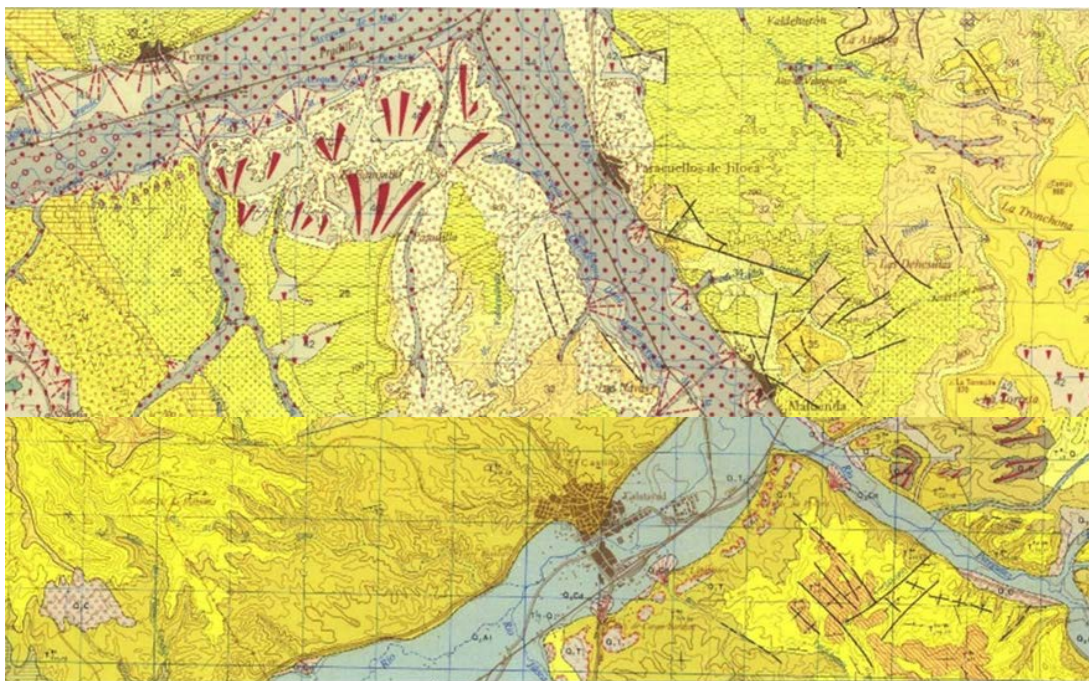


Figura 19. Geología de detalle del entorno del Balneario, extraída de la cartografía geológica de España, serie MAGNA a escala 1.50.000, hojas de Areca y Calatayud.

En cuanto al "acuífero yesífero", sus características geológicas, su baja permeabilidad hidráulica, solo perturbada en los sectores karstificados y por las direcciones preferenciales de circulación, puede contribuir a proteger los efectos negativos de una captación vertical, pozo o sondeo, con la salvedad de que se intercepte la circulación subterránea que da lugar al aprovechamiento hidromineral de Paracuellos de Jiloca, afectando de manera sensible y rápidamente a la cuantía de la descarga de las captaciones del balneario. No puede descartarse tampoco que los conductos preferentes de circulación continúen desde la zona de descarga hacia el oeste bajo el relleno aluvial de Jiloca, y el bombeo en un sondeo que los captase aguas abajo del aprovechamiento provocaría una rápida afección cuantitativa a las captaciones del balneario.

Hay que impedir que nuevas captaciones puedan realizarse en el entorno inmediato de la surgencia; y si se proponen debe ir acompañado de un estudio hidrogeológico que cuantifique el posible impacto o grado de afección y su compatibilidad o no con los aprovechamientos del Balneario. Hay que procurar una

vigilancia especial, para impedir el riesgo de algún vertido o inyección de residuos industriales peligrosos.

En síntesis, el riesgo real de afección cuantitativa es mínimo, ya que un agua tan salada como la que circula por los yesos no tiene prácticamente otra aplicación que la balnearia. El peligro que podría plantear un eventual sondeo perforado al este del río Jiloca, en busca de agua dulce en alguna posible formación acuífera subyacente, es que intercepte el aparato cárstico que da lugar a las descargas de Paracuellos y otro independiente del anterior que tuviera el área de descarga situada a menor cota topográfica. El eventual abandono del sondeo, por no alcanzar los objetivos previstos (de captar agua dulce, por ejemplo), sin ningún tipo de acondicionamiento o aislamiento de los tramos cársticos captados puede ponerlos en contacto hidrodinámico y provocar el "desvío" de una parte del flujo que descarga en Paracuellos hacia el nivel inferior.

7. CONCLUSIONES

El Balneario está situado en un territorio en el que dominan los depósitos tabulares de la cuenca miocena de Calatayud compuestos por yesos y arcillas grises, con intercalaciones de conglomerados y brechas silíceas distribuidas irregularmente en la serie (tanto en vertical como con cambios laterales de facies) que afloran extensamente al E y NE de Paracuellos. Sobre la serie yesífera reposan formaciones calcáreas (calizas y margas con arcillas lignitíferas) y de fangos y conglomerados silíceos, de extensión importante al este de Paracuellos.

Las formaciones evaporíticas, presentan una carstificación medianamente importante, sin embargo, la permeabilidad del acuífero debe ser baja y condicionar un tiempo de residencia relativamente elevado en el acuífero, entre 10 y 20 años. La recarga del acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia que cae sobre el Mioceno yesífero y, de forma diferida a través de las lluvias que se infiltra en las formaciones calizo-margosas que existen entre Paracuellos de Jiloca y Villalba de Perejil.

La temperatura del agua se sitúa en la surgencia entre 15,8 °C y 16,5: las aguas muestran un fuerte olor a sulfhídrico, dejando en el manantial de los Baños Nuevos, un residuo de depósitos blancos de azufre reducido. El pH es ligeramente básico, emergiendo en condiciones francamente reductoras, con un Eh negativo y contenidos muy bajos de oxígeno. Las aguas presentan una mineralización muy fuerte, con una conductividad eléctrica alta. Entre los cationes, destaca el sodio con más de 3 000 ppm; las concentraciones de calcio también son altas entre 560 y 664 ppm, al igual que en el magnesio entre 452 y 540 ppm. El potasio está presente en contenido apreciable y también pequeñas cantidades de litio que varían. En cuanto a los aniones

mayoritarios, son los cloruros (entre 4 800 y 5 000 ppm) y los sulfatos (3700 a 4600 ppm) los que presentan mayores valores

Las aguas se clasifican como sulfatada, clorurada, cálcica, magnésica, sódica, fluorada, con unas facies cloruradas sódicas, propia de una circulación en materiales evaporíticos y ricos en sílice.

En el Balneario de Parauellos de Jiloca, en el año 1929, siguiendo la normativa establecida en el anterior Real Decreto-Ley comentado, se delimitaron dos zonas de protección para las captaciones al amparo de lo que establecía.

8. RECOMENDACIONES

La Propiedad debe tomar la iniciativa de modificar el perímetro de protección disponible en estos momentos, adaptándolo a la legislación actual, modificando sus límites, de forma que incluya tanto el entorno más inmediato, como el de su radio de influencia y cuenca vertiente hidrogeológica y a ser posible las zonas de recarga.

Argumentar los criterios técnicos y administrativos que permitan delimitar un perímetro de protección con las dimensiones optimas, compatible con otros uso existentes o posibles en el futuro, adecuado a las condiciones geológicas e hidrogeológicas, que proteja las captaciones utilizadas.

Por parte de la propiedad, implementar el sistema de control continuo de los caudales bombeados, así como de la evolución de los niveles piezométricos.

9. REFERENCIAS

1. Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebidas envasadas en la Comunidad autónoma de Aragón. Varios tomos. Madrid: Centro documentación IGME 1994.
2. Ruiz Salazar M. Anuario oficial de las aguas minerales de España, Tomo I. Madrid: Imprenta Esterotipia y Galvanoplastia de Aribau y Cía 1877.
3. Andón A, Sanz-Rubio E, Alcalá L, Alonso-Zarza AM, Calvo JP, Orti F, Rossel L, Sanz-Rubio E. Cuencas de la Cordillera Ibérica. En: Geología de España. SGE e IGME 2004; pp. 562-563.
4. Andón A, Sanz-Rubio E, Alcalá L, Alonso-Zarza AM, Calvo JP, Orti F, Rossel L. Cuenca de Calatayud. En: Geología de España. SGE e IGME 2004; pp. 563-564.
5. Sanz-Rubio E, Sánchez-Moral S, Cañaveras JC, Abdul-Aziz H, Calvo JP, Cuezva S, Mazo AV, Rouchy JM, Sesé C, Van Dam J. Síntesis de la cronoestratigrafía y evolución sedimentaria de los sistemas lacustres evaporíticos y carbonatados

Neógenos de la cuenca de Calatayud-Montalbán. Estudios Geológicos 2003; 59: 83-105.

6. Ortí F, Rosell L. Unidades evaporitas de Calatayud (Mioceno inferior-medio, Zaragoza). Geogaceta 1998; 23: 111-114.

7. Mapa Geológico de España. Serie MAGNA E.1:50.000, N^o. 437. ATECA.