

**GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL
ENTORNO DE LOS MANANTIALES
DE AGUA MINERO-MEDICINAL DEL
BALNEARIO DE PARACUELLOS DE
JILOCA (ZARAGOZA)**

RUTH SOTO MARÍN
EDUARDO A. GARRIDO SCHNEIDER
*Instituto Geológico y Minero de España
(IGME-CSIC)
Campus Aula Dei, Montañana, Zaragoza*

Resumen

Este trabajo describe la geología e hidrogeología del entorno de los manantiales de agua minero-medicinal de Paracuellos de Jiloca (comarca Comunidad de Calatayud) con el objetivo de entender su origen y funcionamiento hidrogeológico.

Palabras clave: Geología, hidrogeología, manantial, aguas minero-medicinales, Cuenca de Calatayud.

Abstract

This work describes the geology and hydrogeology of the surroundings of the mineral-medical water springs of Paracuellos de Jiloca ("Comunidad de Calatayud" region) with the aim of understanding their origin and hydrogeological functioning.

Keywords: Geology, hydrogeology, spring, mineral-medical water, Calatayud basin.

1. INTRODUCCIÓN

La Comarca de Calatayud cuenta con tres municipios en los que surgen manantiales de aguas minero-medicinales que son explotados en balnearios; Paracuellos de Jiloca, Alhama de Aragón y Jaraba [Fig. 1]. En la actualidad hay seis balnearios activos: tres en Jaraba, dos en Alhama de Aragón y uno en Paracuellos de Jiloca [Fig. 2]. El balneario de Paracuellos de Jiloca es el más antiguo de Aragón (Francés Causapé et al., 2018) [Fig. 3]. La primera construcción del balneario, conocida como Baños Viejos, se remonta a 1848, aunque las aguas minero-medicinales de Paracuellos de Jiloca ya eran conocidas y utilizadas desde época romana (e.g. Francés Causapé et al., 2018). Tradicionalmente, las aguas de los manantiales de Paracuellos de Jiloca se han denominado “aguas sulfurosas” o “podridas” debido a su contenido relativamente alto en gas sulfhídrico (SH_2). Su composición química le aporta propiedades medicinales especialmente indicadas para el tratamiento de enfermedades cutáneas y, en menor medida, intestinales.

Las propiedades minero-medicinales y la temperatura de las surgencias que brotan de los manantiales de Paracuellos de Jiloca, Alhama de Aragón y Jaraba son muy distintas debido a su diferente contexto geológico e hidrogeológico. Las aguas de Paracuellos de Jiloca se caracterizan por su fuerte mineralización, el contenido en ácido sulfhídrico y su hipotermalismo, ya que son aguas que surgen a una temperatura media calificada como normal o fría, entre 15 y 17 °C (López Geta et al., 2018). Por el contrario, las aguas de los manantiales de Alhama de Aragón y Jaraba son mesotermiales, dado que manan a temperaturas entre 31 y 35 °C, y presentan composiciones sulfatadas-bicarbonatadas, cálcicas o cálcico-magnésicas, con una mineralización débil o media, como son las aguas de Alhama de Aragón (Sánchez-Navarro, 2003). A grandes rasgos, estas diferencias se deben a la interacción con los materiales presentes en diferentes unidades estratigráficas. Los manantiales de Alhama de Aragón y Jaraba se hallan en el contacto entre dos grandes unidades geológicas, la Cordillera Ibérica y la Cuenca de Almazán [Fig. 1], y su acuífero principal corresponde a materiales carbonatados del Cretácico superior. Por otro lado, los manantiales de Paracuellos de Jiloca surgen en el interior de la Cuenca de Calatayud, una gran depresión que fue rellenada durante

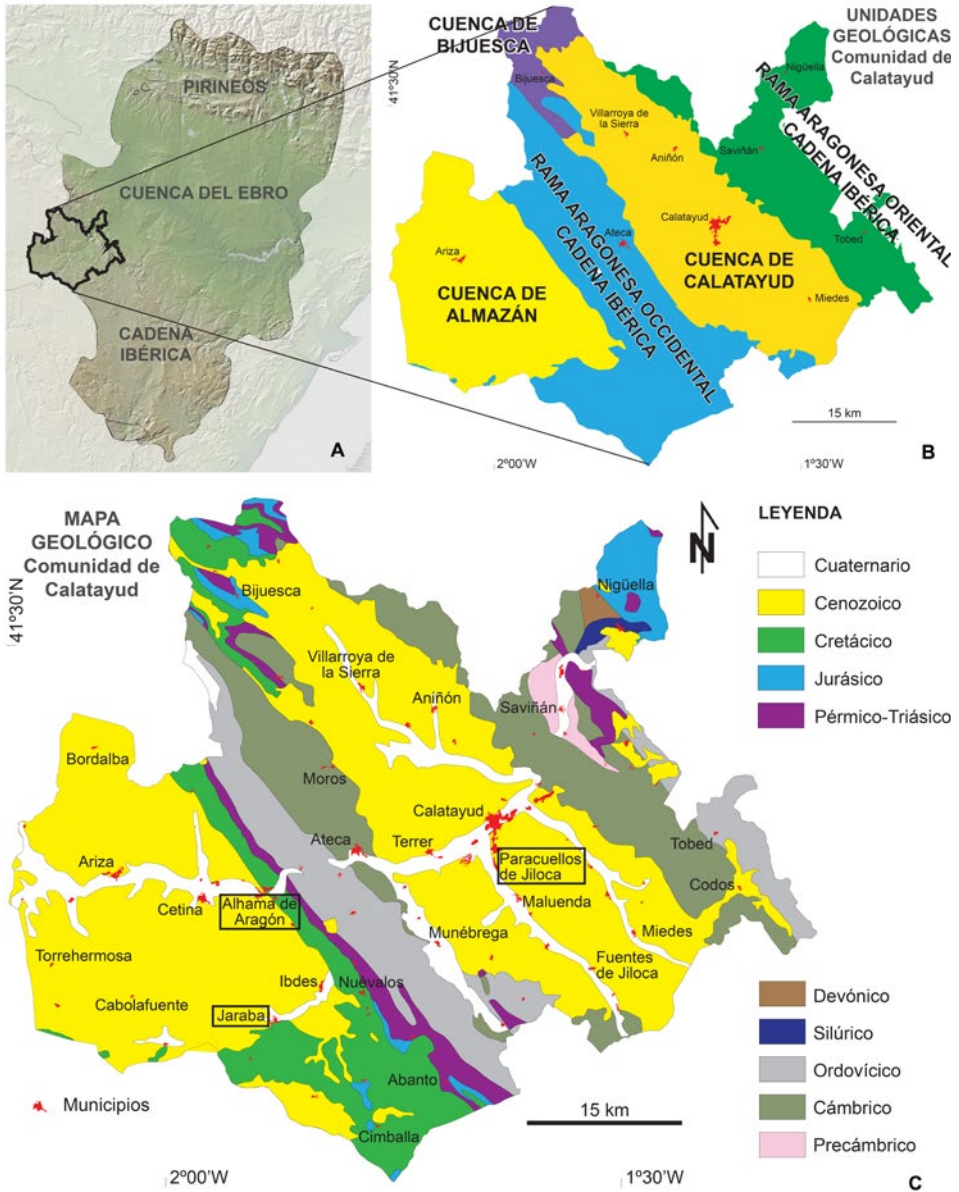


Fig. 1.

A. Mapa del relieve de Aragón (extraído de GeoMapApp; <http://www.geomapapp.org>) mostrando la localización de la comarca Comunidad de Calatayud.

B. Mapa de unidades geológicas de la comarca Comunidad de Calatayud.

C. Mapa geológico de la comarca Comunidad de Calatayud. Modificado de Soto (2024).

el Neógeno con sedimentos de origen continental (conglomerados, areniscas, limos y arcillas en sus márgenes, y evaporitas y carbonatos en su zona central) [Fig. 1]. En este trabajo se muestra cuáles son las principales características geológicas e hidrogeológicas del entorno de Paracuellos de Jiloca para entender el origen de las aguas minero-medicinales que brotan de sus manantiales.



Fig. 2. Fotografía que muestra a la derecha el edificio rehabilitado del actual establecimiento balneario de Paracuellos de Jiloca (antes conocido como Baños Viejos), y a la izquierda los restos y ruinas de la edificación de Baños Nuevos.

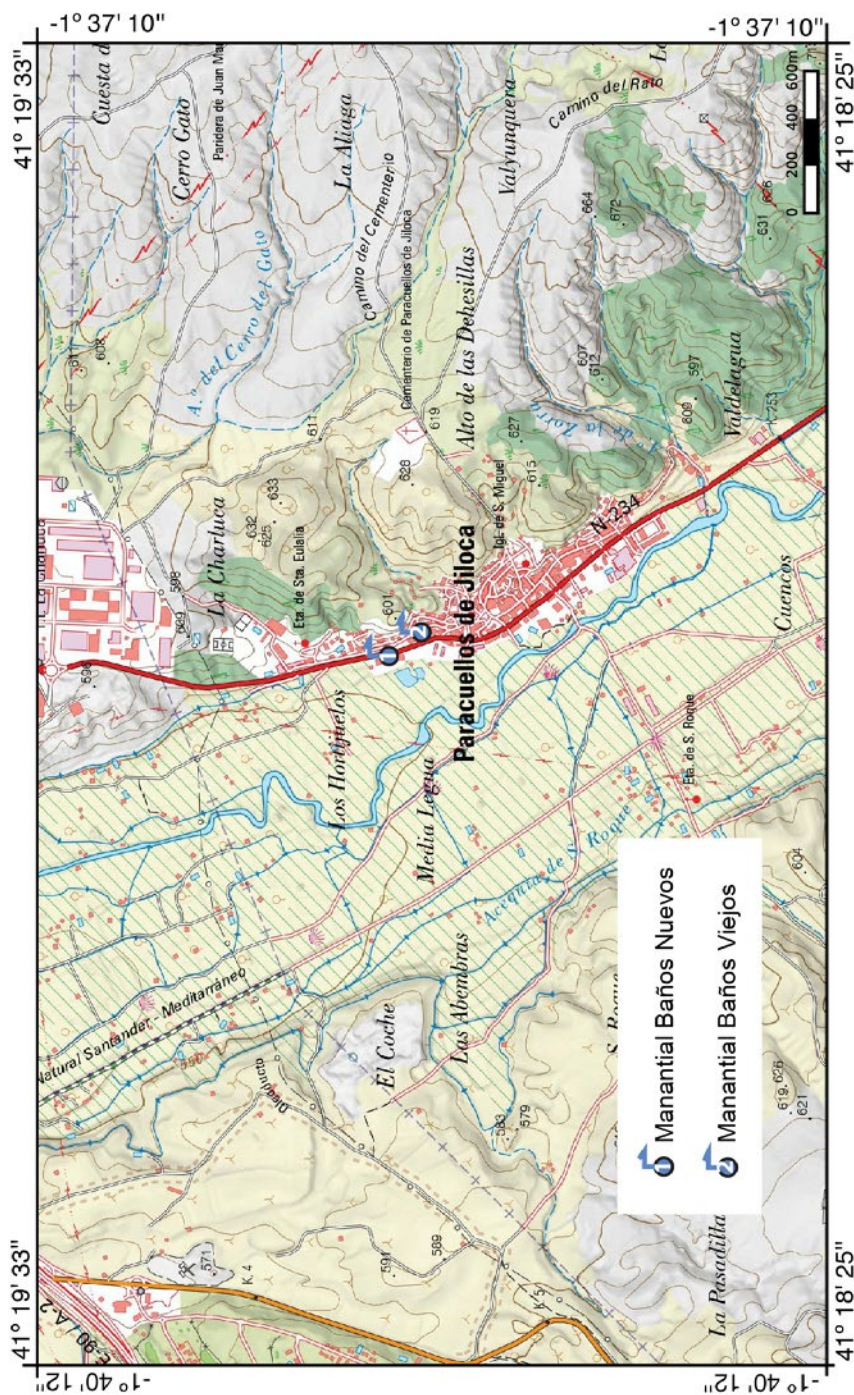


Fig. 3. Mapa topográfico (tomado del Instituto Geográfico Nacional, www.ign.es) mostrando la localización de los dos manantiales (Baños Nuevos y Baños Viejos) de Paracuellos de Jiloca (ver coordenadas de los dos manantiales en Tabla 1).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. Cuenca de Calatayud

La Cuenca de Calatayud representa una depresión tectónica rellena de formaciones Neógenas (más modernas) localizada entre dos alineaciones montañosas de rocas Paleozoicas y Mesozoicas (más antiguas) paralelas y orientadas en una dirección NO-SE (e.g. Soto, 2024) [Fig. 1]. Los sedimentos depositados en el interior de la Cuenca de Calatayud son de origen continental y de edad comprendida entre el Paleógeno y Plioceno (e.g. Alcalá et al., 2000). Constituyen uno de los registros sedimentarios continentales Neógenos más completos de la Península Ibérica, con gran variedad de rocas desde el punto de vista sedimentológico y litológico (Sanz-Rubio et al., 2003). Las rocas de relleno consisten fundamentalmente en sedimentos continentales aluviales (conglomerados, areniscas, limos y arcillas) depositados en abanicos aluviales en las zonas de los márgenes de la cuenca que pasan distalmente a sedimentos lacustres (evaporitas y carbonatos), alcanzando un espesor de hasta 1.200 metros en las zonas centrales de la misma (e.g. Sanz-Rubio et al., 2003) [Fig. 4]. Estratigráficamente el relleno Neógeno de la Cuenca de Calatayud presenta tres grandes unidades: Unidad Inferior (Ramblense-Aragoniense medio), con lutitas y gran contenido de rocas evaporíticas y yeso; Unidad Intermedia (Aragoniense medio-Vallesiense), en la cual abundan las rocas detríticas y carbonatadas; y Unidad Superior (Vallesiense superior-Plioceno), mayoritariamente compuesta por rocas detríticas y carbonatos (e.g. Ortí y Rosell, 1998; Sanz-Rubio et al., 2003).

La localidad de Paracuellos de Jiloca se localiza sobre terrazas fluviales del Plioceno-Pleistoceno del río Jiloca depositadas sobre la extensa formación evaporítica conocida como Yesos de Calatayud (Unidad Inferior; Ortí y Rosell, 1998) [Fig. 5] y localmente sobre sedimentos detrítico-carbonatados de las Unidades Intermedia y Superior hundidos en megacolapsos relacionados con la disolución de las evaporitas de la Unidad Inferior infrayacente (Gutiérrez, 1996). Los Yesos de Calatayud forman parte de la Unidad Inferior (depositados hace aproximadamente entre 23 y 11 millones de años) del relleno sedimentario Neógeno de la Cuenca de Calatayud (GEODE) [Fig. 6]. Los yesos de la formación Yesos de Calatayud y que afloran hoy día en superficie constituyen un mineral secundario procedente de la hidratación de la anhidrita y de la disolución de glauberita (Ortí y Rosell, 2000). El páramo situado entre los valles de los ríos Jiloca y Perejiles presenta grandes estructuras de colapso resultado de fenómenos de disolución y karstificación de sedimentos evaporíticos y de subsidencia, que afectan tanto a sedimentos neógenos como cuaternarios (Gutiérrez, 1996, 1998). Todo ello da lugar a espectaculares ejemplos de deslizamientos rotacionales de grandes bloques de roca y campos de dolinas de disolución en la superficie del páramo (Gutiérrez, 1996, 1998).

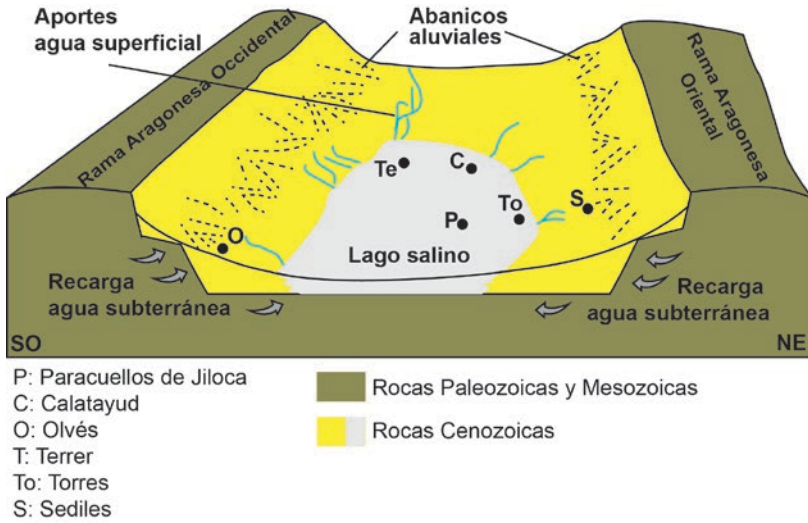


Fig. 4. Esquema 3D mostrando la localización del lago salino Mioceno de la Cuenca de Calatayud.



Fig. 5. Fotografía mostrando las rocas (yesos y lutitas) de aspecto tabular que se encuentran al este de Paracuellos de Jiloca y las fracturas subverticales que las afectan.

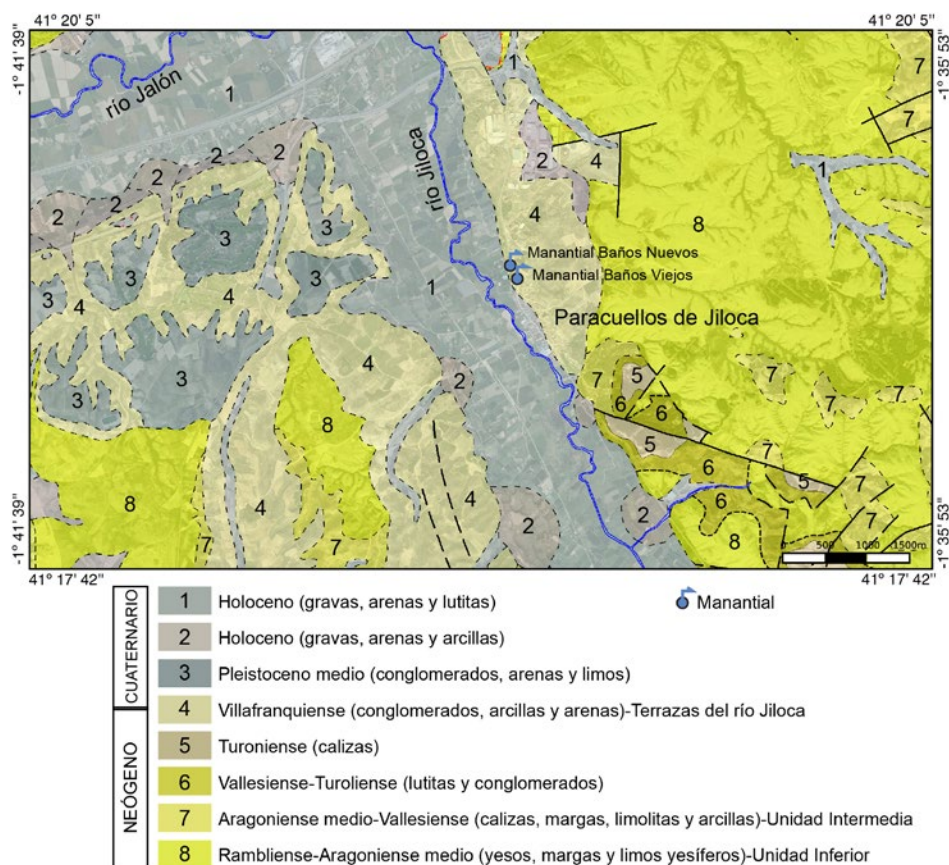


Fig. 6. Mapa geológico de Paracuellos de Jiloca y alrededores.
Mapa GEODE sobre imagen satélite de Google Earth.

2.2. Lago evaporítico Mioceno de la Cuenca de Calatayud

Durante el Mioceno inferior y medio, hace aproximadamente entre 23 y 11,6 millones de años, la parte central de la Cuenca de Calatayud estaba ocupada por un gran lago salino de poca profundidad (e.g. Ortí y Rosell, 1998) [Fig. 4]. Esto se conoce gracias a numerosos estudios que se han realizado en la zona desde el punto de vista estratigráfico y sedimentológico, analizando tanto los materiales que afloran en superficie como aquellos que han sido atravesados en sondeos (e.g. Sanz et al., 2003; Ortí y Rosell, 2000). Este gran lago salino era un lago endorreico, como es la actual Laguna de Gallocanta, que ocupaba el interior de una cuenca con drenaje interno [Fig. 7]. Podría recibir aportes de aguas subterráneas provenientes

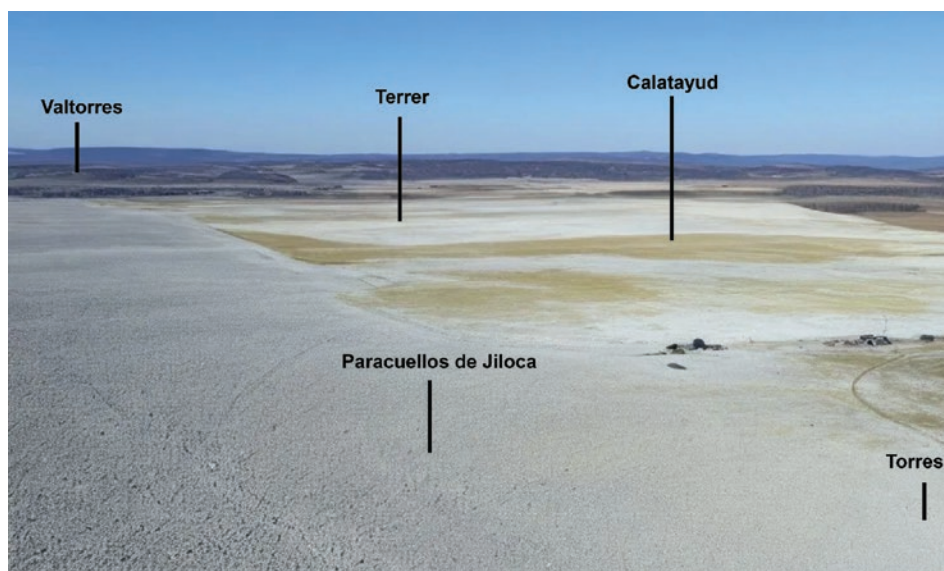


Fig. 7. Imagen realizada con Inteligencia Artificial (IA) para simular el gran lago salino que ocupaba el centro de la Cuenca de Calatayud durante el Mioceno.

de formaciones Paleozoicas y Mesozoicas de los relieves que lo rodeaban y aportes de aguas superficiales provenientes de abanicos aluviales laterales y flujos paralelos al eje de la cuenca endorreica [Fig. 4].

La ubicación del actual Paracuellos de Jiloca coincide con el interior del gran lago salino que existía durante ese periodo. El lago salino del Mioceno inferior y medio tendría unas dimensiones de aproximadamente 14 km de largo con una geometría alargada en dirección NO-SE y paralela a las directrices estructurales del sector central de la Cordillera Ibérica. Estaría localizado sobre el actual valle del río Jiloca, estando su parte central situada entre Calatayud y Velilla de Jiloca (e.g. Ortí y Rosell, 1998). Como se ha mencionado anteriormente, el mineral característico que se puede encontrar actualmente en lo que fue la parte central del lago salino es fundamentalmente yeso secundario, que originalmente era anhidrita, halita, yeso primario y glauberita (Ortí y Rosell, 1998).

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS MINERO-MEDICINALES DE LOS MANANTIALES DE PARACUELLOS DE JILOCA

El balneario de Paracuellos de Jiloca realiza un aprovechamiento de las aguas que naturalmente surgen de dos puntos, que tienen un caudal conjunto de entre 2 y 3 L/s. El edificio que alberga las modernas instalaciones hoteleras y el balneario es conocido como Baños Viejos. Junto al escarpe que se eleva por su parte trasera se localiza una galería excavada donde mana el agua de su interior. Una segunda surgencia tiene lugar unos metros más al norte, frente a un gran edificio ahora en desuso que antiguamente albergó los denominados Baños Nuevos (ver situación de manantiales en Fig. 3). Además, en el año 2006 se perforó un pozo de 55 metros de profundidad (ver datos del mismo en “Sondeo” de Tabla 1), que permite bombear agua desde los 18 metros de profundidad, mejorando el aprovechamiento y regulación de los caudales que naturalmente brotan por los dos manantiales (López Geta et al., 2018).

Las aguas del manantial denominado Baños Viejos del balneario de Paracuellos de Jiloca están reconocidas como minero-medicinales y declaradas de utilidad pública desde 1850. El manantial de Baños Nuevos tiene únicamente la declaración de utilidad pública desde 1876.

Las propiedades fisico-químicas de las aguas son bastante uniformes y estables en el tiempo. Las descritas en este trabajo provienen de los datos recogidos por López Geta et al. (2018) y Torija-Isasa et al. (2018), y pueden tener ligeras variaciones respecto a los resultados que ofrecen otras fuentes y autores, pues dependerá del momento en que se toma la muestra del agua y de los laboratorios que las analizan.

Las aguas minero-medicinales de Paracuellos de Jiloca son hipotermales, como se ha mencionado anteriormente. Para que un agua se considere como termal, tanto la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, como el Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería, especifican que su temperatura ha de superar en al menos cuatro grados centígrados la temperatura media atmosférica del lugar en el punto de alumbramiento. Como la temperatura del agua en ambos manantiales está entre 15,7 y 16,5 °C y la temperatura media atmosférica en el balneario de Paracuellos es de 13,2 °C (Botey et al. 2018), se considera por lo tanto que es una temperatura normal o fría para este tipo de aguas. Mucho se ha especulado sobre un posible termalismo de estas aguas. En circunstancias normales, ese incremento de temperatura se consigue cuando los flujos subterráneos de agua logran profundizar varios centenares de metros y ascender posteriormente con la rapidez suficiente como para que su temperatura no descienda de forma sustancial, siendo

el gradiente geotérmico terrestre (unos 3 °C cada centenar de metros) el responsable de que alcancen temperaturas más elevadas, pero nada indica que esa circunstancia pueda suceder en el entorno de Paracuellos de Jiloca.

Respecto a su mineralización, las aguas minero-medicinales de Paracuellos de Jiloca presentan una mineralización muy fuerte, teniendo en cuenta los altos valores que se tienen del residuo seco a 110 °C, comprendidos entre 13.627 mg/L y 14.267 mg/L, y la alta conductividad eléctrica, comprendida entre los 19.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 20.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ medidos en campo, o entre los 17.080 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 17.760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cuando es medida en laboratorio (IGME, 1994).

En cuanto a su composición química, son del tipo cloruradas, sulfatadas, fluoradas, cálcicas, magnésicas, sódicas, sulfuradas y muy duras (Torija-Isasa et al., 2018). Su naturaleza química es el resultado de las características del sistema de flujo subterráneo, de la naturaleza y composición mineralógica de los terrenos circundantes, así como del efecto combinado de los procesos químicos y biológicos que tienen lugar durante el recorrido del agua por el subsuelo. Son aguas que han interactuado con halita y posiblemente glauberita, además de con yesos y anhidrita. En consecuencia, se tiene un agua que presenta una alta salinidad debido a la alta concentración de los diferentes iones que lleva disueltos, entre los que destacan, principalmente, aniones como los cloruros (en torno a 5.000 mg/L) y los sulfatos (próximos a 4.000 mg/L); entre los cationes destacan el sodio (con más de 3.000 mg/L), y calcio y magnesio como responsables de la elevada dureza del agua, con concentraciones que fácilmente superan los 600 y 500 mg/L respectivamente. La Tabla 1 resume las características fisicoquímicas y contenido en elementos mayoritarios presentes en las distintas captaciones del balneario, que son mostradas también de forma gráfica en la Fig. 8.

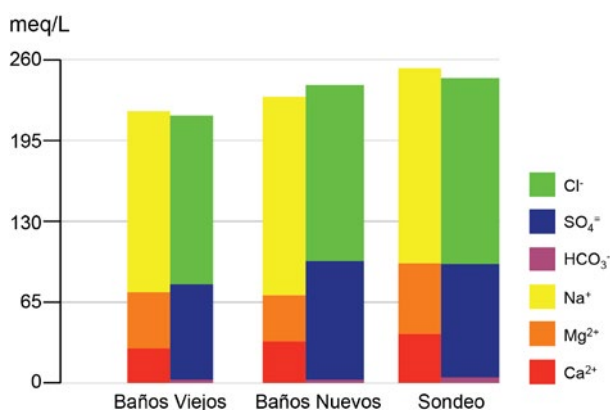


Fig. 8. Diagrama de Collins, mostrando las concentraciones de elementos mayoritarios expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L) de las captaciones Baños Viejos, Baños Nuevos y sondeo (ver texto) de Paracuellos de Jiloca.

		Baños Viejos	Baños Nuevos	Sondeo
N° inventario		251730001	251730002	251730123
Coordenada X	UTM ETRS89	613654	613590	613627
Coordenada Y	UTM ETRS89	4574798	4574934	4574898
Cota estimada	m s.n.m.	550	550	574
Fecha análisis		14/03/1993	14/03/1993	31/03/2017
Cl⁻	mg/L	4.800	5.000	5.300
SO₄⁼	mg/L	3.700	4.600	4.400
HCO₃⁼	mg/L	154	142	253
CO₃⁼	mg/L	0	0	0
NO₃⁼	mg/L	0	0	0
Na⁺	mg/L	3.355	3.671	3.590
Mg²⁺	mg/L	540	452	700
Ca²⁺	mg/L	560	664	780
K⁺	mg/L	15	17	21
Temperatura	°C	15,8	15,8	
pH		7,21	7,24	7,25
Eh	mV	-320	-310	
Conductividad eléctrica	µS/cm	17.760	17.080	23.840
Residuo Seco (⁽¹⁾ a 110 °C; (⁽²⁾ a 180 °C	mg/L	13.627 (⁽¹⁾)	14.267 (⁽¹⁾)	17.030 (⁽²⁾)

Tabla 1. Características y composición de elementos mayoritarios de las captaciones de Baños Viejos, Baños Nuevos y del sondeo (ver texto) de Paracuellos de Jiloca (datos tomados de López Geta et al., 1998).

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO; ORIGEN DE LAS AGUAS CLORURADAS-SULFATADAS DE LOS MANANTIALES DE PARACUELLOS DE JILOCA

Las características físicas y la composición química del agua subterránea son resultado de una serie de complejos procesos de alteración y meteorización química que proporcionan la mineralización a cada gota que fluye por un manantial. Se inicia en el momento mismo en que se condensa el vapor de agua de las nubes y se forman las primeras gotas que caen atravesando la atmósfera en forma de lluvia y precipitaciones. Pero, adquiere mayor importancia desde que estas gotas toman contacto con el suelo y el terreno, circulando por la zona edáfica primero para seguir infiltrándose en el terreno, cruzando la zona no saturada hasta llegar a continuación al nivel freático, donde acaban incorporándose a la zona saturada y al flujo subterráneo en los acuíferos. Los acuíferos son unidades geológicas que poseen poros intergranulares, fisuras o conductos creados por disolución, los cuales permiten almacenar y transferir agua. Estos huecos pueden estar más o menos conectados, facilitando que el agua fluya, lo que confiere características acuíferas a dicha formación geológica. Los acuíferos son por tanto formaciones capaces de almacenar y transmitir importantes volúmenes de agua que se drena puntualmente por manantiales y surgencias, o de manera difusa en ríos, lagos, humedales, incluso al mar.

Así, durante las precipitaciones, gases y polvo atmosférico dejan su primera impronta en las gotas de lluvia. Al tocar el suelo se incorporan elementos presentes en los compuestos más solubles de la superficie; la vegetación y la materia orgánica de la zona edáfica modifican la acidez del agua, disminuye el pH y aumenta el contenido en dióxido de carbono disuelto (CO_2). El mecanismo incrementa la agresividad del agua y favorece la disolución de los materiales carbonatados existentes en la zona no saturada y de la matriz rocosa de las formaciones calizas, como las de los relieves más elevados que se localizan al sureste de Paracuellos de Jiloca. Las aguas incorporan de esta forma iones fundamentales en su composición química, como: bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}). De forma paralela, se va desarrollando una incipiente red de conductos que poco a poco dirige el agua hacia el interior de la formación, generando un flujo preferente capaz de alcanzar mayores profundidades, que retroalimenta el proceso de disolución y el agrandamiento de la incipiente red cárstica.

El agua, una vez que ha circulado por estas calizas del entorno de Paracuellos de Jiloca se pone en contacto con las formaciones de sales, yesos y margas subyacentes. De forma similar lo hace el agua de las precipitaciones que caen directamente sobre las superficies donde aflora este tipo de

materiales, muy presentes en el entorno de Paracuellos de Jiloca. Las sales, como la halita (NaCl), el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la anhidrita (CaSO_4) son materiales muy solubles en contacto con el agua, por lo que fácilmente aportan cantidades importantes de iones que son mayoritarios en la composición química de las aguas subterráneas, como son en este caso: cloruros (Cl^-), sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), sodio (Na^+) y calcio (Ca^{++}). Cuanto mayor es la presencia de estas sales en el terreno y el tiempo en contacto con el agua, mayor es el contenido de sus iones disueltos en el agua. Hay que tener en cuenta que la solubilidad en agua de la halita y el yeso es muy diferente (356 gr/L de halita frente a 2,6 gr/L de yeso). El agua solo se satura del mineral de halita cuando se han disuelto grandes cantidades de cloruros y de sodio, por lo que estos elementos tienden a incorporarse a una disolución acuosa con gran facilidad. Por el contrario, el agua se satura con más facilidad en el mineral de yeso, adquiriendo concentraciones inferiores en disolución de iones sulfato y calcio.

Por otro lado, el ión sulfato, en ambientes reductores donde exista materia orgánica y presencia de bacterias reductoras del sulfato, puede verse sometido a un conjunto de reacciones químicas y procesos de reducción que dan como resultado sulfuro de hidrógeno gas (H_2S). En ambientes reductores, a pH menor que 7, la forma reducida estable es el H_2S , mientras que en soluciones alcalinas predomina el ión HS^- . Cabe recordar que el pH de las aguas de Paracuellos de Jiloca es de 7,2 en el punto de surgencia, ligeramente alcalino, con Eh muy negativo, por debajo de -300 Mv (muy reductor), con un contenido muy bajo también de oxígeno disuelto y elevada concentración en iones sulfato. Por tanto, durante el recorrido subterráneo de estas aguas se consiguen las condiciones apropiadas para una paulatina reducción de iones sulfato a HS^- .

La mayoría de las aguas subterráneas sulfurosas presentan contenidos apreciables de HS^- o H_2S que, incluso a concentración muy baja, confieren al agua el característico olor a huevos podridos como el que se percibe de los manantiales de Paracuellos de Jiloca.

La naturaleza química clorurada sódica y alto contenido en sulfato y calcio del agua de los manantiales de Paracuellos de Jiloca se interpreta por tanto debida a la disolución de niveles de yesos y resto de minerales evaporíticos (fundamentalmente halita) presentes en las formaciones rocosas del subsuelo que caracterizan la zona (López-Geta et al., 2018). Estos mismos autores interpretan que la recarga del acuífero se podría producir por infiltración de agua de lluvia sobre los materiales del Mioceno de la zona y sobre las formaciones calizo-margosas de la Unidad Intermedia y Superior del relleno de la Cuenca de Calatayud que afloran en el páramo entre Paracuellos de Jiloca y Villalba de Perejil [Fig. 9]. También podría producirse recarga desde los márgenes de la Cuenca de Calatayud como

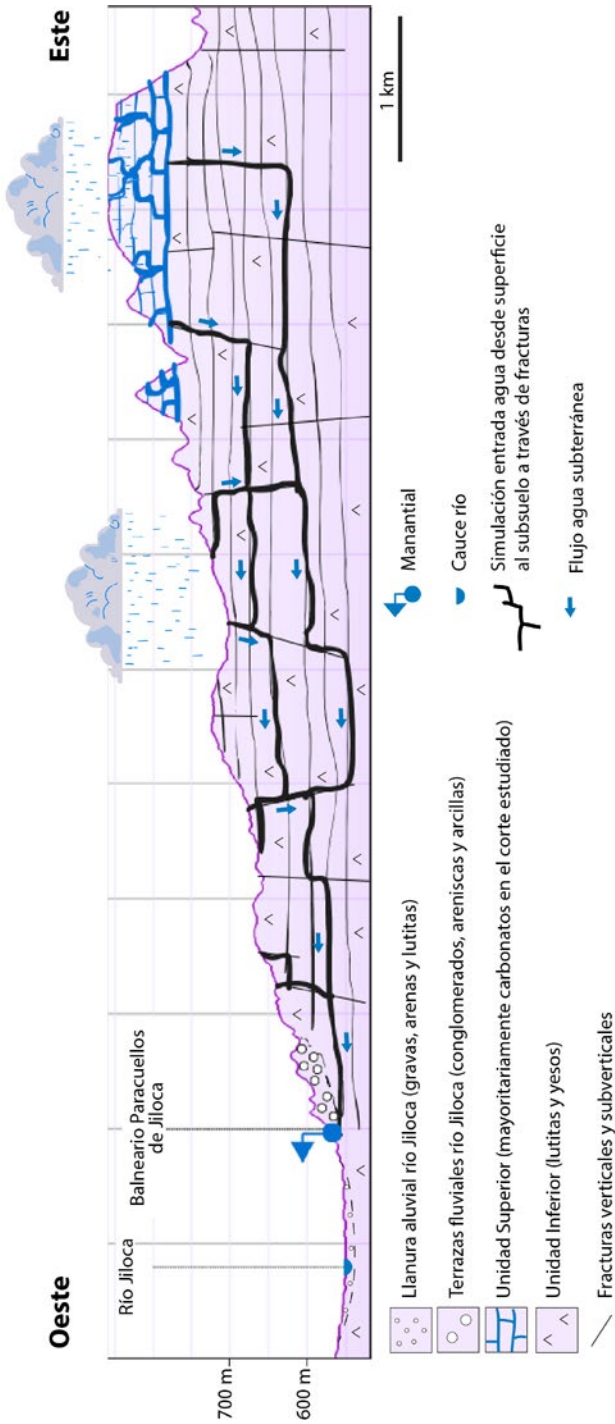


Fig. 9. Corte geológico de dirección este-oeste mostrando de forma simplificada el funcionamiento hidrogeológico del acuífero asociado a los manantiales de Paracuellos de Jiloca. Ver texto para más detalles.

ocurre en el valle del río Perejiles desde la sierra Vicort (Sánchez-Navarro et al., 2012). Teniendo en cuenta la datación realizada mediante el análisis de radioisótopos de tritio (^3H) presentes en el agua (López-Geta et al., 2018), se advierte que el tiempo de residencia del agua en el acuífero puede ser relativamente elevado, entre 10 y 20 años, por lo que se deduce que la permeabilidad media del acuífero debe ser baja, proporcionando así tiempo suficiente como para explicar la naturaleza sulfatada cálcica y elevada mineralización de estas aguas.

La descripción del funcionamiento hidrogeológico del acuífero asociado a los manantiales de Paracuellos de Jiloca puede simplificarse con el corte de la Fig. 9. El agua de las precipitaciones se infiltra a través de pequeños conductos y fisuras existentes en las formaciones carbonatadas, alcanzando los niveles de yesos. Esta formación de yesos y margas miocenas, que también contiene halita y glauberita, tiene muy baja permeabilidad y no constituye en sí mismo un acuífero, pero parece estar afectada sin embargo por una intensa red de fracturas verticales [Figs. 5 y 9], discontinuidades que favorecerían un lento proceso de infiltración de la escorrentía superficial y la disolución de las sales, un proceso ampliamente documentado en esta zona (Gutiérrez, 1996). La acumulación del agua en los múltiples niveles margosos insolubles limitaría su penetración, favoreciendo un flujo lento y difuso dentro de una formación que progresivamente gana permeabilidad. Poco a poco el flujo subterráneo se canaliza a través de conductos y fisuras de mayor tamaño generadas por la disolución de las sales, creando zonas más permeables entre yesos, que funcionarían de manera similar a como lo haría una formación cárstica carbonatada, dirigiendo el agua hacia los puntos de surgencia. En este caso, los escarpes miocenos que se levantan junto a la llanura aluvial del río Jiloca imponen un brusco cambio de pendiente capaz de interceptar el gradiente del flujo subterráneo, propiciando la salida del agua a favor de los manantiales de Paracuellos de Jiloca.

5. CONCLUSIONES

Paracuellos de Jiloca cuenta con dos manantiales de aguas minero-medicinales que tradicionalmente se han denominado “aguas sulfurosas”, caracterizadas por su fuerte mineralización, alto contenido en ácido sulfhídrico (SH_2) y su hipotermalismo. Estos manantiales surgen en el interior de la Cuenca de Calatayud, una gran depresión que durante el Mioceno estuvo ocupada por un gran lago salino de poca profundidad en su parte central. Los procesos de evaporación en este lago dieron lugar a la formación de yeso y otros minerales evaporíticos.

La naturaleza química clorurada sódica del agua de los manantiales de Paracuellos de Jiloca y su alto contenido en sulfatos, calcio y ácido sulfhídrico (SH₂) se interpreta debida fundamentalmente a la disolución de halita y yeso presentes en las formaciones rocosas que atraviesa en el subsuelo y que caracterizan la zona.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa una contribución del Grupo de Investigación GeoAp (E01-20R) del Gobierno de Aragón.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALCALÁ, L., ALONSO-ZARZA, A. M., ÁLVAREZ SIERRA, M. Á., AZANZA, B., CALVO SORANDO, J. P., CAÑAVERAS, J. C., ... SANZ RUBIO, E. (2000), "El registro sedimentario y faunístico de las cuencas de Calatayud-Daroca y Teruel. Evolución paleoambiental y paleoclimática durante el Neógeno". *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13(2), pp. 323-343.
- BOTEY FULAT, R., CADENAS CORTINA, I., AMBRONA RODRÍGUEZ, A.I. y JIMÉNEZ SÁNCHEZ, Y. (2018), Climatología del Balneario de Paracuellos de Jiloca. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* (Vol. 84, pp. 108-131).
- FRANCÉS CAUSAPÉ, M., LÓPEZ GUZMÁN, J., y LÓPEZ GONZÁLEZ, M. (2018), Centro Termal Balneario Paracuellos de Jiloca (Zaragoza): historia y generalidades. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* (Vol. 84, pp. 16-42).
- GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España. Disponible en: http://mapas.igme.es/gis/rest/services/Cartografia_Geologica/IGME_Geode_50/MapServer/kml/mapImage.kmz [Fecha de consulta: 28-06-2025].
- GUTIÉRREZ, F. (1996), Gypsum karstification induced subsidence: effects on alluvial systems and derived geohazards (Calatayud Graben, Iberian Range, Spain). *Geomorphology* 16 (4), pp. 277-293.
- GUTIÉRREZ, F. (1998), Fenómenos de subsidencia por disolución de formaciones evaporíticas en las fosas neógenas de Teruel y Calatayud (Cordillera Ibérica). Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 569 p. Inédita.
- IGME (1994), 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.
- LÓPEZ GETA, J.A., DURÁN VALSERO, J.J. y RAMÍREZ ORTEGA, A. (2018), El Balneario de Paracuellos de Jiloca (Zaragoza): sus características geológicas e hidrogeológicas. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* (Vol. 84, pp. 81-107).

- ORTÍ, F. y ROSELL, L. (1998), Unidades evaporíticas de la Cuenca de Calatayud (Mioceno inferior-medio, Zaragoza). *Geogaceta*, (23), pp. 111-114.
- ORTÍ, F. y ROSELL, L. (2000), Evaporative systems and diagenetic patterns in the Calatayud Basin (Miocene, central Spain). *Sedimentology*, 47 (3), pp. 665-685.
- SÁNCHEZ NAVARRO, J. (2003), Los manantiales del Alhama y Jaraba como ejemplo de drenaje térmico regional en Aragón. *Naturaleza aragonesa* 11, 61-69.
- SÁNCHEZ NAVARRO, J.A., COLOMA LÓPEZ, P., GARCÍA GIL, A., y MATEO LÁZARO, J. (2012), El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciarias de Calatayud (Cuenca del río Perejiles). *Geotemas* 13, 954-957.
- SANZ-RUBIO, E., SÁNCHEZ-MORAL, S., CAÑAVERAS, J. C., ABDUL-AZIZ, H., CALVO SORANDO, J. P., CUEZVA, S., ...VAN DAM, J. (2003), Síntesis de la cronoestratigrafía y evolución sedimentaria de los sistemas lacustres evaporíticos y carbonatados neógenos de la cuenca de Calatayud-Montalbán. *Estudios Geológicos* 59, pp. 83-105.
- SOTO, R. (2024), Geología de la Comarca de Calatayud. Cuarta Provincia, (6), Centro de Estudios Bilbilitanos, Institución Fernando El Católico, Calatayud, pp. 185-202.
- TORIJA-ISASA, M.E., GARCÍA MATA, M., TENORIO SANZ, M.D., ALONSO ESTEBAN, J.I. y LÓPEZ COLÓN, J.L. (2018), Estudio de las características físico-químicas de las aguas del Balneario de Paracuellos de Jiloca (Zaragoza). *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* (Vol. 84, pp. 43-56).