



Aspectos geológicos e hidrogeológicos del Balneario de Archena (Murcia)

Geological and hydrogeological aspects of Archena thermal (Murcia)

José Antonio López Geta^{1,*}, Juan José Durán Valsero², Ramón Aragón Rueda², Jorge Hornero Díaz²

¹Grupo Especializado del Agua (GEA) de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas.

²Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

*e-mail: jalopezgeta@gmail.com

PALABRAS CLAVE

Balneario de Archena
aguas termales
fallas activas
acuifero
hidroquímica

RESUMEN

El Balneario de Archena está localizado en la localidad del mismo nombre, en la Región de Murcia, al sureste de la Península Ibérica. Se accede a él desde el núcleo urbano de Archena. Estas aguas son conocidas desde muy antiguo, posiblemente desde la existencia de las comunidades íberas y con seguridad por los romanos, cuyos restos se han encontrado en el mismo balneario. Son aguas de facies clorurada sódica con alto contenido en sulfato y fueron declaradas minero-medicinales el 29 de junio de 1816 y como tal aprobado el perímetro de protección según el Real decreto de 1928. Se sitúa en un lugar con un gran significado tectónico, la zona de contacto entre la Zona Interna de la Cordillera, de carácter metamórfico (el llamado Bloque de Alborán), y la Zona Externa, de carácter sedimentario. Este megacontacto es muy activo tectónicamente y condiciona la presencia de numerosas surgencias de aguas termales y de mineralización especial. El área de contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa de la Cordillera Bética en la Región de Murcia se caracteriza por la presencia de varias depresiones geológicas, rellenas por sedimentos margosos de edad Terciaria, pudiéndose observar fallas que las comunican con los materiales más profundos como calizas y dolomías. Estos sistemas de fallas hacen posible la presencia en estas margas de diversos manantiales con temperaturas altas.

KEYWORDS

Balneario de Archena
springs of thermal
waters
high temperature
active faults aquifer
hydrochemical

ABSTRACT

The Balneario de Archena is located in the town of the same name, in the Region of Murcia, southeast of the Iberian Peninsula. It is accessed from the town of Archena. These waters are known from very old, possibly from the existence of the Iberian communities and with security by the Romans, whose remains have been found in the same spa. They were declared mineral-medicinal on June 29, 1816 and as such approved the perimeter of protection according to the Royal Decree of 1928. It is situated in a place with a great tectonic significance, the contact zone between the Inner Cordillera Zone, metamorphic character (the



so-called Alboran Block) and the External Zone, of sedimentary character. This megacontact, is very active tectonically and conditions the presence of numerous springs of thermal waters and special mineralization. The contact area between the Internal Zone and the External Zone of the Bética Mountain Range in the Region of Murcia is characterized by the presence of several geological depressions, filled by sediments of Tertiary age, faults can be observed that communicate them with the deepest materials such as limestones and dolomites. These systems of faults make possible the presence in these marls of several springs with high temperature the environment of the Depression of Archena is an area of great historical and current seismicity, caused by the existence of numerous active faults.

1. INTRODUCCIÓN

El Balneario de Archena, como describe el poema del insigne Ignacio López de Ayala, nacido en Cádiz en 1739 y fallecido en Tarifa en 1789, “...sus aguas producen dulce alivio...”. Con este testigo de sus bondades partimos en el estudio de este Balneario.

*Venid, enfermos, de remotas partes,
Emprended confiados estos baños,
Que el cielo aquí con inauditas artes,
Compadecido de la suerte i daños
De los mortales, ó sus males cura,
O dulce alivio al parecer procura (...)*

Poema Phisico de los Baños Calientes de la villa de Archena en el reino de Murcia - IGNACIO LÓPEZ DE AYALA

Está localizado en la localidad del mismo nombre en la Región de Murcia, al sureste de la Península Ibérica. Se ubica en la orilla derecha del Río Segura en un paraje de gran belleza paisajística en sintonía con el extraordinario valle de Ricote. Se accede a él desde el núcleo urbano de Archena a través de una carretera tras recorrer 2 km (Figuras 1 y 2). Son aguas cloruradas sódicas, con un alto contenido en sulfatos.



Figura 1. Situación geográfica del balneario de Archena (Murcia).



Cuadro 1. Datos de identificación y localización del Balneario de Archena

IDENTIFICACIÓN			
DENOMINACIÓN:	Balneario de Archena Pozo	Nº DE REG. NACIONAL :	2636/3/0003
		NATURALEZA:	Manantial-pozo
LOCALIZACIÓN			
PROVINCIA:	Murcia	HOJA TOPOGRÁFICA 1/50.000 Nº: 26-36(912)	
T. MUNICIPAL:	Archena	COORDENADAS U.T.M.	
LOCALIDAD:	Archena	ZONA	X Y
PARAJE:	Los Baños	30S	648,800 4 221,600
CUENCA HIDROGRÁFICA:	Segura	COTA:	100 m s.n.m.
SUBCUENCA:	Segura	REFERENCIA:	MTN 1:50 000
UNIDAD HIDROGEOLÓGICA:	07.22. Sierra de Espuña		
SISTEMA ACUÍFERO:	Cajal		



Figura 2. Panorámica del entorno del Balneario, situado en la margen izquierda del río Segura, en el valle de Ricote (Murcia). En Archena confluye la rambla del Moro una de las más importantes de esta parte de la cuenca.

2. EL BALNEARIO Y SUS ANTECEDENTES

Las surgencias de agua que abastecían al Balneario durante muchos años se sitúan en el subsuelo del edificio más antiguo del mismo (hoy hotel Las Termas), existiendo dos hoteles más. Bajo este hotel existe una galería termal donde se encuentran los dos pozos que suministraban en su momento un caudal aproximado de unos 8 litros por segundo.

Esas aguas son conocidas desde muy antiguo, posiblemente desde la existencia de las comunidades íberas que poblaban el cercano Cabezo del Tío Pío y con seguridad por los romanos, cuyos restos se han encontrado en el mismo balneario



(Figura 3), y en la lápida encontrada en sus proximidades y conservada actualmente en el vestíbulo del Balneario, con la siguiente inscripción:

D. CORNEIUS. CARITU. L.
MEIVS. LABEO.
II. VIR. AQUAS. EX. D.
REFICIENDAS
= = = CVRARVNT. I. Q. P = = =

Las aguas fueron declaradas minero-medicinales el 29 de junio de 1816 y aprobado el perímetro de protección según establece el Real Decreto de 1928 publicado en la Gaceta de Madrid, de 16 de abril de 1928. Se trata de aguas extremadamente duras y de elevada mineralización, con aproximadamente 4000 mg/L de residuo seco, contenido alto en sílice y cantidades apreciables de flúor y litio, como queda recogido en otros apartados de este artículo (1).



Figura 3. En el Balneario se encuentran algunos testigos físicos que confirman su origen histórico de época ibera y romana, destacando a la derecha la lápida que recoge la presencia antigua en este lugar.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Balneario de Archena se ubica geológicamente en la Cordillera Bética, gran unidad geodinámica del Sur y Sureste español. En este contexto, el núcleo urbano de Archena se encuentra en un lugar con un gran significado tectónico: la zona de contacto entre la Zona Interna de la Cordillera, de carácter metamórfico (el llamado Bloque de Alborán), y la Zona Externa, de carácter sedimentario. Este megacontacto, denominado por algunos autores Accidente Cádiz-Alicante, es muy activo tectónicamente y condiciona la presencia de numerosas surgencias de aguas termales y de mineralización especial (Figura 4).

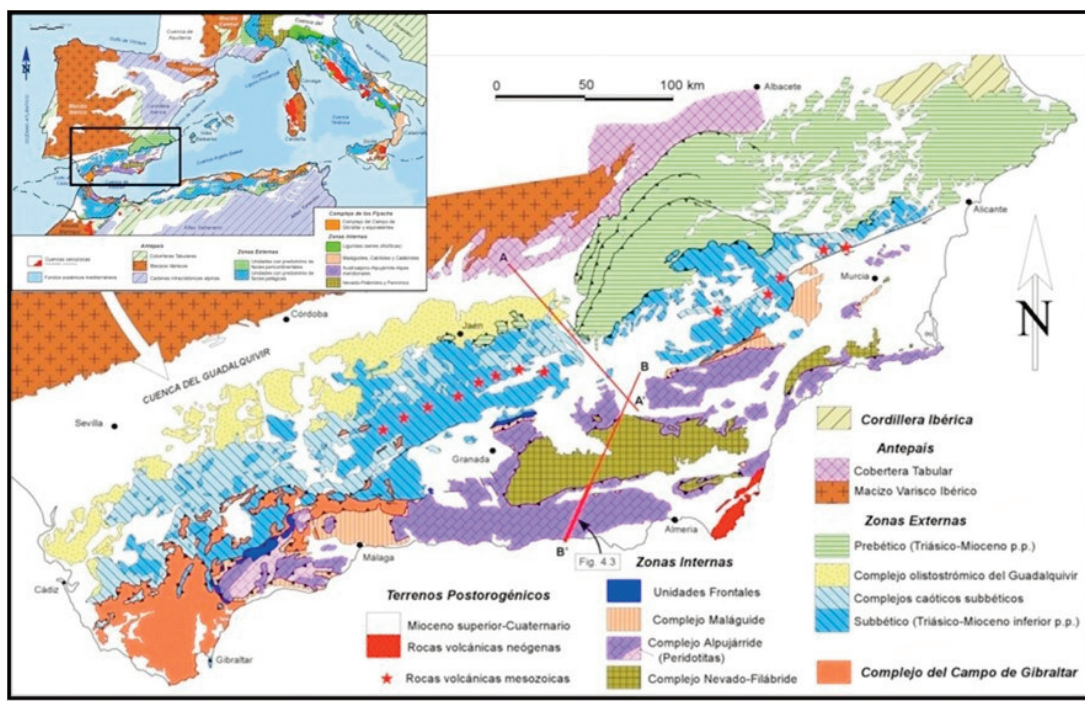


Figura 4. Emplazamiento en la península Ibérica de la Cordillera Bética, gran unidad geodinámica del Sur y Sureste español.

El área de contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa de la Cordillera Bética en la Región de Murcia está caracterizada por la presencia de varias depresiones geológicas rellenas por sedimentos de edad Terciaria (Figura 5). Esas depresiones están rellenas de margas miocenas que pueden ocupar una superficie de unos 1000 km², pudiéndose observar fallas que las comunican con los materiales más profundos como calizas y dolomías, que posiblemente se puedan prolongar hacia el Sur, aflorando en Sierra Espuña y hacia el norte en la Sierra de Cajal. Estos sistemas de fallas hacen posible la aparición en estas margas de diversos manantiales con temperaturas altas, como son los casos de los Baños de Mula, Archena y Fortuna, entre otros más de la zona.



Figura 5. Depresiones miocenas en la zona de Archena situadas entre las unidades externas e internas de las Cordilleras Béticas. En amarillo, las diferentes cuencas terciarias, atravesadas por numerosas fallas y demás accidentes tectónicos (2).

El entorno de la Depresión de Archena es una zona de gran sismicidad histórica y actual, provocada por la existencia de numerosas fallas activas (figura 6).

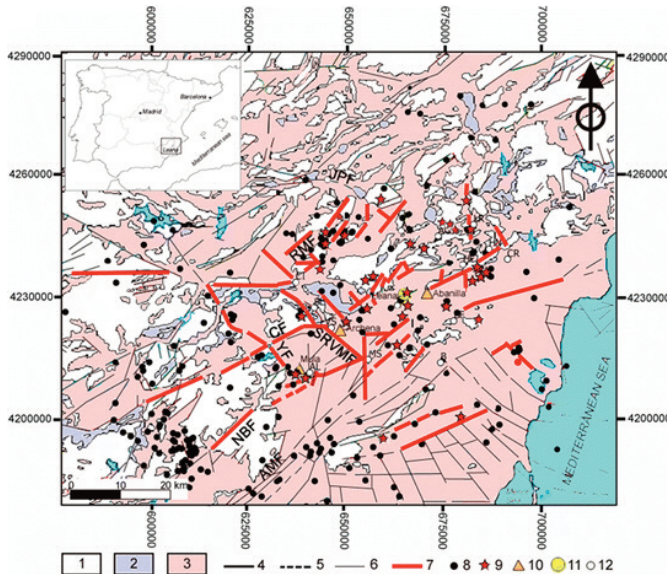


Figura 6. Mapa neotectónico y localización de los principales enjambres de fallas activas en el entorno del Baleario. 1, 2 y 3: materiales pretectónicos, tectónicos y posttectónicos; 4, 5 y 6: fallas, falla supuesta y con actividad neotectónica; 7: principales fallas que afectan al punto termal; 8 y 9: situación de algunos epicentros de terremotos registrados en el área potencialmente de influencia; 10 y 11: fuentes termales; 12: ciudades. Fallas: AMF Alhama de Murcia, CF Crevillente, JPF Jumilla-Pinoso, NBF Bética Norte, SRVMF río Segura Vega Media, RMF Rambla del Moro, YF Yéchar (3).



4. GEOLOGÍA DEL ENTORNO DEL BALNEARIO

En el entorno del Balneario se observa la presencia de una serie de materiales aflorantes, básicamente pertenecientes a tres tipos de formaciones geológicas: Triás, predominantemente formado por yesos, dolomías y arcillas; Mioceno Superior, constituido por margas, areniscas y conglomerados, y Cuaternario constituido por materiales detríticos relacionados con la presencia de los aluviales del Segura y sus afluentes (Figura 7).

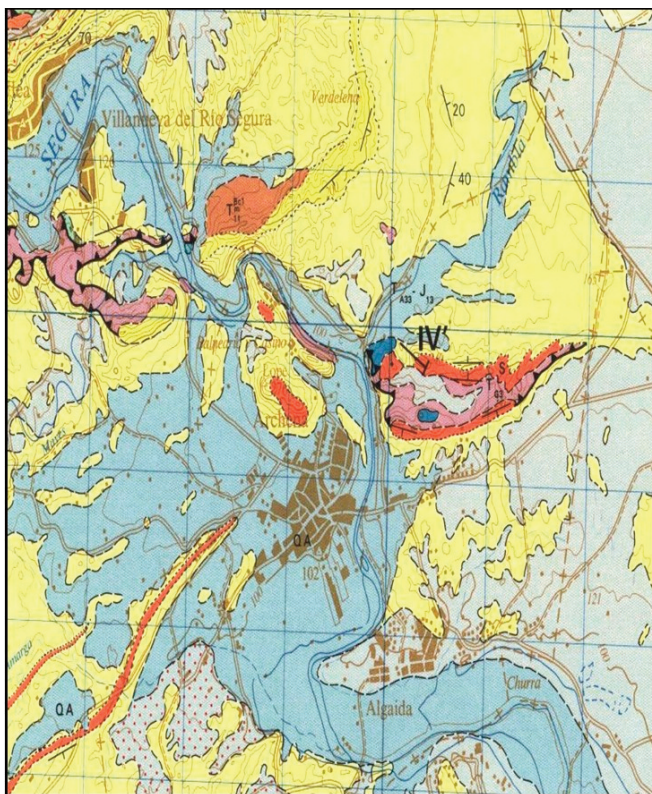


Figura 7. Mapa con las diferentes formaciones geológicas presentes en el entorno del Balneario, entre las que destacan los materiales cuaternarios (color gris) y terciarios (color amarillo). El resto corresponde a afloramientos localizados de materiales cretácicos, jurásicos y triásicos. Se indica el corte geológico representado en la figura 8 (4).

Los materiales aflorantes compuestos por yesos, dolomías y arcillas presentan una importantísima deformación tectónica, estando afectados por pliegues, fallas y movimientos halocinéticos (Figura 8). Los yesos están muy deformados, mostrando estructuras frágiles (enjambres de fallas y diaclasas rellenas de yeso fibroso) y dúctiles (bolas de yeso que crecen en zonas de sombras de presión) (Figura 9). Este tipo de facies está asociada a la presencia de sal gema o halita, y aunque no se observa su presencia en superficie, es segura su existencia en profundidad.

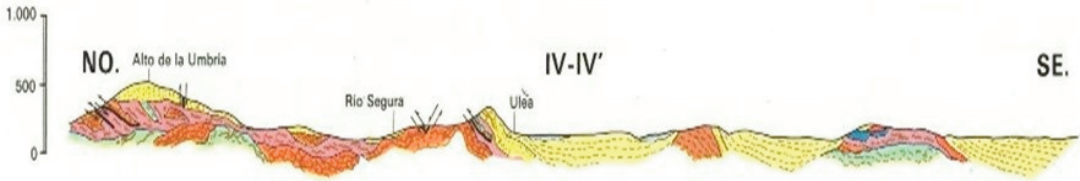


Figura 8. Corte indicado en la figura 7, que representa en la dirección NO-SE, la complejidad geológica en el entorno del Baleario (4).



Figura 9. Los yesos están muy deformados, mostrando estructuras frágiles (enjambres de fallas y diaclasas rellenas de yeso fibroso) y dúctiles (bolas de yeso que crecen en zonas de sombras de presión). Esto puede observarse con detalle en la carretera que va hacia Villanueva del Río Segura.

En cuanto a la presencia de las dolomías triásicas hay que destacar que están muy tectonizadas, dando lugar con frecuencia a texturas brechiformes, sobre todo en las inmediaciones de las zonas de fractura. Se observan bellos ejemplos de fallas de salto en dirección, con las estrías totalmente horizontales (Figura 10).



Figura 10. Conglomerados y detalles espectaculares de zonas de fricción del movimiento de fallas, completamente horizontales.

El paisaje está dominado por los extensos afloramientos de margas miocenas, en primer plano de la figura 11, con algunos niveles de areniscas y conglomerados más resistentes a la erosión, que destacan como crestas en algunas colinas, como ocurre en la existente al sur del balneario.



Figura 11. Paisaje donde se observa la morfología del terreno, destacando las cretas resistentes a la erosión y a los movimientos tectónicos.

El Cuaternario que se sitúa en el valle del Segura y zonas adyacentes, está representado, como puede verse en la figura 12, por materiales detríticos del río, destacando las gravas, arenas, limos y arcillas, en conexión en algunos lugares con la red de drenaje actual del río Segura.



Figura 12. Depósitos cuaternarios estratificados formados por materiales arenosos y arcillosos, con la presencia de gravas de diferentes tamaños, propios de los arrastres del río.

5. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL SISTEMA HIDROTERMAL EN EL ENTORNO DEL BALNEARIO

La caracterización hidrogeológica del Balneario tiene diferentes objetivos como son conocer la geometría de los acuíferos, estimar los parámetros del sistema hidrotermal y su funcionamiento hidrodinámico, precisando por donde circulan las aguas desde su infiltración en superficie hasta su descarga y comprobar el porqué de la temperatura anómala que presentan las aguas aflorantes en comparación con la temperatura ambiente.



5.1. Geometría y características del sistema hidrotermal

Conocer la geometría del sistema hidrotermal y sus características es fundamental a la hora de definir este tipo de sistemas, pero su complejidad y la falta de información del subsuelo, especialmente de sondeos profundos, dificulta el concretar este modelo geológico e hidrotermal. Se sabe que el sistema hidrotermal profundo está confinado por las margas miocenas y que los materiales permeables del Triás, en especial las dolomías y los yesos, juegan un papel importante en su capacidad de almacenamiento y, sobre todo, en la composición fisicoquímica de sus aguas.

La cuenca de Mula-Fortuna está formada por materiales carbonatados del Subbético, y dado que está recubierto por depósitos terciarios muy impermeables, el agua experimenta un elevado confinamiento, lo que conlleva que con esas condiciones la carga hidráulica se transmita rápidamente. En estas condiciones las extracciones pueden afectar rápida y severamente al caudal de descarga de los manantiales termales, como se observó en el bombeo realizado en algunos sondeos situados en el entorno de los Baños de Mula, lo que provocó que llegara a desaparecer y recuperarse una vez cesado el bombeo en ellos (5).

La recarga natural de agua al acuífero profundo, que es el origen de las aguas del Balneario de Archena, es escasa, dada la baja precipitación media anual de la zona, estimada en unos 316 litros por metro cuadrado y la elevada evapotranspiración, derivada de las altas temperaturas a lo largo del año, con una media anual del orden de los 19°C.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la cuenca miocena está marcada por una serie de fallas muy importantes que contribuyen a la presencia de diferentes surgencias, muchas de ellas aprovechadas para baños o balnearios. De esas fallas, una es la que cruza por el Balneario, denominada tectónicamente como FV, por su paso por Villanueva del río Segura, con una componente E-w, y con un desarrollo que puede alcanzar los 10 km y rumbo N100E. El termalismo en Archena se vincula a la falla Mula-Archena-Fortuna (falla de los Baños) que presenta un rumbo NE-SW; se atribuye también la presencia de estas surgencias, a las fallas que condicionan el encajamiento del curso del río Segura a su paso por Archena.

A través de estos sistemas de fallas, el agua podría alcanzar una profundidad que oscilaría entre los 2,3 km y 2,6 km (5). Esa profundidad varía, dependiendo de que el cálculo se haga a partir del gradiente geotérmico natural de aumento de 3° por cada 100 m de profundidad o se realice partiendo de la temperatura en profundidad o “Temperatura Base” de 96 °C, calculada mediante indicadores o índices geotermómetros.

Con el modelo geológico descrito, existe una importante incertidumbre en cuanto a la zona donde se produce la recarga, qué antigüedad pueden tener las aguas del sistema hidrotermal y a qué profundidad se sitúa el acuífero. Esta incertidumbre se debe principalmente a la escasez de información geofísica y de sondeos mecánicos profundos que aporten conocimiento del subsuelo, como se ha comentado anteriormente. Para el estudio de la zona de recarga se ha utilizado,



entre otros métodos, la caracterización isotópica de las aguas del balneario de Archena (5) y cuyos datos han sido analizados por el CEDEX (6) y recogidos en la tabla 1. En dicho informe (5) se llega a una serie de consideraciones que pueden resumirse en:

1. El contenido en Tritio (^3H), menor de 1,87 UT, indica que son aguas cuya infiltración en el acuífero fue anterior 1953, al ser inferior a 5 UT. Ese valor sugiere también que puede darse una cierta mezcla con aguas freática más jóvenes, que podría confirmarse si se tiene en cuenta los análisis disponibles con ciertas cantidades, aunque bajas, de nitratos.

2. La antigüedad de las aguas, según el contenido de ^{14}C y corregido por el contenido de ^{13}C , lo sitúa el informe en torno a los 12.463,73±0,15 y 13.355,45-0,15 año.

3. Para fijar la zona o zonas de recarga del sistema termal y su cota, en el informe mencionado se han utilizado los isótopos de la molécula de agua: Deuterio (^2H) y Oxígeno 18 (^{18}O). Los valores calculados isotópicamente, situarían la cota de infiltración a unos 550 y 650 m s.n.m. Esto pondría en duda la recarga a través de Sierra Espuña, con una cota 1579 m s.n.m. en el Morrón, y resto de la Sierra superando los 1000 m.

Tabla 1. Parámetros isotópicos analizados y valores obtenidos (6)

FECHA TOMA	PARÁMETRO	RESULTADO
28/4/2004	TRITIO	1,87 UT
28/4/2004	DEUTERIO	-45,30* δ(‰)
28/4/2004	OXÍGENO 18	-6,50 δ(‰)
28/4/2004	CARBONO 14	15,57 ± 0,82 δ(‰)
28/4/2004	CARBONO 13	-4,44 δ(‰)

En cualquier caso, en el futuro este tipo de interpretaciones relacionadas con la estimación de las áreas de recarga y los tiempos de residencia del agua subterránea en el acuífero deben ser contrastadas con más información isotópica e hidroquímica. Esta nueva información debería servir para avanzar en el conocimiento hidrogeológico del acuífero hidrotermal y, como se explica a continuación, en las incertidumbres relacionadas con su modelo conceptual de funcionamiento.

5.2. Funcionamiento hidrodinámico del sistema hidrotermal

En cuanto al funcionamiento hidrodinámico del sistema termal existen ciertas dudas científicas, dada la escasez de datos básicos: campañas de geofísica y sondeos profundos para establecerlo. De forma simplificada en la figura 13, se



puede observar el esquema de funcionamiento más probable que viene condicionado por las características de los materiales, la estructura geológica y por las fallas existentes por donde circula el agua y se deducen la dirección y sentido de las líneas de flujo.

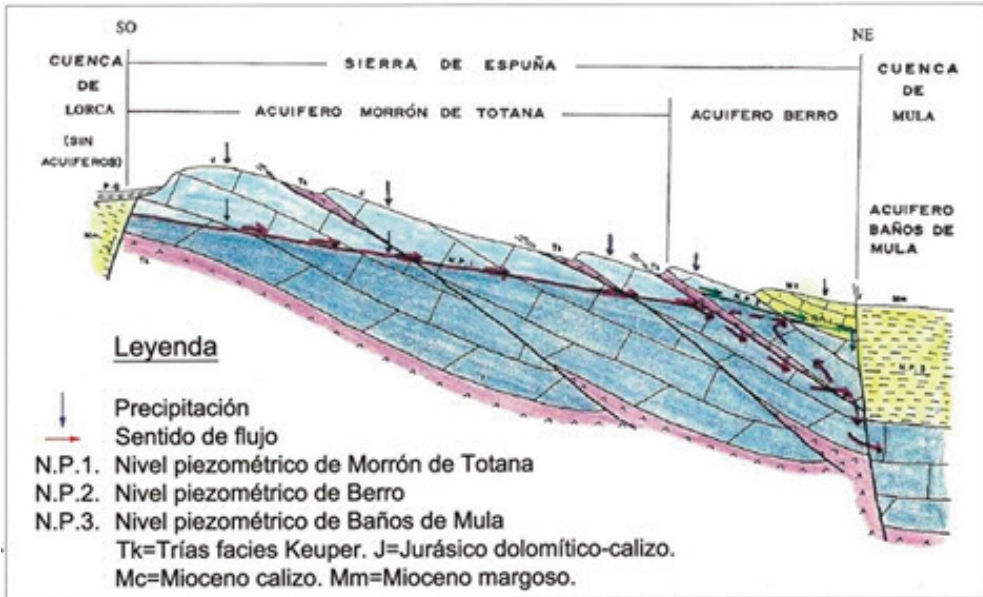


Figura 13. Esquema de funcionamiento hidrodinámico de transferencia del agua entre la Sierra de Espuña y el acuífero hidrotermal.

Hasta el momento, los estudios disponibles (2, 9, 12) han planteado dos hipótesis de funcionamiento: la primera considera que la recarga del sistema se produce por los relieves de la sierra Espuña, y circula hacia el Este, descargando principalmente por los baños de Mula, Archena y Fortuna (Figura 14).

En la segunda de las hipótesis, existirían dos sistemas hidrotermales independientes: el primero considera que la recarga se produce en los afloramientos permeables de Sierra Espuña y la descarga surge en Los Baños de Mula; y en el segundo sistema el agua se recargaría en las sierras de Lúgar, Corque y Baños, descargando por los manantiales de Archena y Fortuna.

En la primera de esas hipótesis las salidas totales pueden coincidir con los recursos hídricos infiltrados en la Sierra, mientras en la segunda hipótesis la superficie de recarga es más reducida lo que supone una menor infiltración, insuficiente para confirmar los caudales drenantes.

Estas dos hipótesis son estudiadas más detalladamente en el proyecto "Caracterización evolución fisicoquímico de las aguas subterráneas en áreas tectónicamente activas. Aplicación a sismicidad histórica y actual de la región de Murcia" realizado por el Instituto Geológico y Minero de España y en el que participó el cuarto autor de este artículo. En el estudio (13) se contempla esas dos hipótesis, cuyos aspectos principales se recogen a continuación.

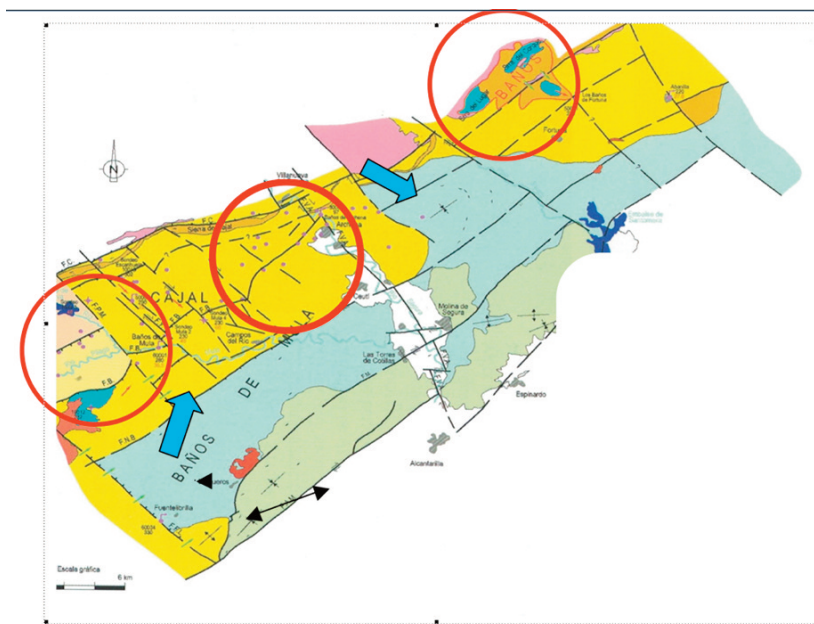


Figura 14. Flujo desde sierra de Espuña hacia NE, y descarga en las fuentes termales: a la izquierda los Baños de Mula, en el centro Balneario de Archena y a la derecha los Baños de Fortuna, independientes o no según el modelo de funcionamiento considerado (2).

5.2.a. Hipótesis de un único sistema hidrotermal

Se asume que el comportamiento del acuífero mixto formado por las calcarenitas tortonienses y las calizas y dolomías jurásicas y triásicas no originan un sellado completo de la estructura, siendo factible la continuidad del flujo termal, mezcla del agua de las dos formaciones acuíferas, la fría relacionada con las calcarenitas y la termal con las calizas y dolomías. El agua termal circularía lentamente siguiendo una trayectoria más o menos tortuosa ligada a los desplazamientos laterales y verticales relacionados con las fallas existente. El caudal de salida está determinado por las condiciones de descarga aguas abajo, es decir, por la surgencia de los Baños de Mula-cota de 210 m s.n.m. y caudal de unos 65 L/s en coherencia con el agua que saldría en los restantes puntos de salida según los recursos estimados.

La descarga del Balneario de Archena tiene lugar en la zona central de la cuenca a favor de la zona de debilidad estructural asociada a la conjunción de las fallas de Baños y de la Vega Alta. Es una zona de gran complejidad estructural, con varias fallas y afloramientos triásicos al norte de Archena, por lo que no es descartable la presencia de un pequeño bloque levantado del acuífero termal, lo que facilitaría la salida de una parte del agua termal que continúa su recorrido en sentido SO-NE a gran profundidad. La descarga de Archena, con una cota de unos 95 m s.n.m, presenta un caudal mínimo de unos 4 L/s, según referencias clásicas, aunque no puede descartarse que existan salidas directas al cauce del río Segura, ya que está muy próximo al punto de salida del agua termal.



El flujo subterráneo continuaría hacia el este, hasta alcanzar posiblemente una nueva elevación de la estructura acuífera, en la que la parte más visible serían los afloramientos de las sierras de Baños, del Corqué y del Lugar, que están relacionadas tectónicamente con la Falla de Baños, y que a favor de esta, daría lugar a la descarga termal de Fortuna a una cota de 240 m s.n.m. y con un caudal medio aproximado de 11 L/s y un caudal punta (influencia de las precipitaciones) que puede alcanzar los 50 L/s.

A partir de Fortuna, la circulación se reduce notablemente y termina descargándose en la Fuente de Abanilla a una cota de 220 m s.n.m. y un caudal de 1,87 L/s. No se conoce ninguna salida termal más al Este. En la interpretación geológica se considera que no estaría relacionada con un cabalgamiento, sino con el hecho de que se verticalizaría formando el eje fallado de un anticlinal muy apretado, en cuyo núcleo subafloraría el acuífero jurásico, circunstancia que justificaría, junto con el desplazamiento lateral de más de 7 km, el punto final de la descarga del flujo termal que tiene su origen en Sierra Espuña.

5.2.b. Hipótesis de dos sistemas hidrotermales

La posibilidad de que existan dos sistemas hidrotermales en la cuenca de Mula-Fortuna parece menos verosímil que la de sistema único. Esta afirmación está basada en dos razones principales: una, en la hipótesis de que la estructura termal jurásica-triásica que se recarga en Sierra Espuña quede atrapada bajo el mioceno margoso de la cuenca de Mula, de manera que la circulación hidrotermal, tanto a través de dicho acuífero como de las calcarenitas del Tortoniense, quede interrumpida parcialmente y el flujo no tenga otra posibilidad que descargarse en el manantial de los Baños de Mula, y la otra estaría justificada por la similitud en la marca isotópica y evolución de facies hidrogeoquímica que presentan las aguas termales de Archena, Fortuna y Abanilla, para las que será difícil justificar un origen no común.

De acuerdo con esas premisas anteriores, la única posibilidad que existe como el área de recarga preferente del flujo hidrotermal que acabaría descargándose en las tres citadas surgencias serían los afloramientos jurásicos de las sierras del Lugar, Corqué y Baños, situadas al norte de Fortuna. Estos tres relieves podrían corresponder a una estructura única y aislada, difícil de interpretar a la luz de la información geológica disponible, pero para la que no existen razones definitivas como para descartar absolutamente dicha posibilidad. Esta estructura estaría enraizada hacia el oeste, sur y este, de manera que fuera posible la continuidad del flujo en dichas direcciones dando lugar a las descargas termales de Fortuna, Archena y Abanilla.

Uno de los principales argumentos en contra de la hipótesis de dos sistemas hidrotermales es que el sistema Archena-Fortuna-Abanilla tendría una superficie de afloramiento de solo unos 10 km², realmente escasa para justificar una descarga termal mínima, entre 17 L/s y 25 L/s, equivalente a 0,5-0,8 hm³/año, lo que supondría una infiltración media anual entre 50 y 80 mm/año, que resulta difícil, aunque no imposible para una lluvia y evapotranspiración media de 300 mm y 265 mm/año respectivamente.



5.2.c. Nueva alternativa

Por otro lado, en este trabajo se ha planteado una tercera posibilidad. Se considera los afloramientos triásicos arcillo-evaporíticos como un acuífero, cuya recarga justifica los caudales surgentes en Archena, tal y como se han descrito en otros lugares de la Cordillera Bética (zonas de Antequera y Archidona, en Málaga; sectores de las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén). La alta capacidad de almacenamiento de los materiales detríticos triásicos (donde además de arcillas y margas existen también dolomías arenosas de tipo carniolas, así como niveles detríticos más gruesos) y, sobre todo, la presencia generalizada de yesos (y probablemente otras sales evaporíticas en profundidad) permiten la creación de un acuífero con capacidad de almacenamiento y transmisividad suficientes para explicar los caudales presentes. Esta hipótesis aún deberá ser trabajada en el futuro mediante diferentes estudios y técnicas hidrogeológicas, isotópicas y así como la realización de balances a partir de cartografías detalladas.

5.3. Inventario y características de las captaciones del Balneario

Se dispone de un exhaustivo inventario de puntos de agua del entorno del Balneario (2), cuya situación puede verse el mapa de dominios hidrogeológicos (Figura 15), donde se muestra el tipo de captación o surgencia, de las que destacamos las surgencias termales correspondientes a los puntos: 2 (Balneario de Fortuna nuevo), 3 (Balneario de Fortuna viejo), 4 (Baños de Mula), 6 y 7 (Balneario de Archena) y 8 (Baños de Alhama “ Agua de Dios”).



Figura 15. Mapa de dominios hidrogeológicos e inventario de puntos de agua. Leyenda: puntos azules, aguas minerales naturales; amarillos, salinas; negro, salinas; triángulos verdes, baños y balnearios fríos; rojos, puntos termales y naranja, baños y balnearios termales (2).



En el propio Balneario de Archena existen una serie de captaciones reflejadas en la figura 16, cuyos datos principales en cuanto a tipo de obra, profundidad, temperatura, conductividad eléctrica y uso se recogen en la tabla 2. De estas captaciones, cuatro corresponden a pozos excavados, poco profundos, con aguas con temperaturas y conductividades eléctricas que superan los 40°C y más de 6.000 µS/cm, respectivamente.

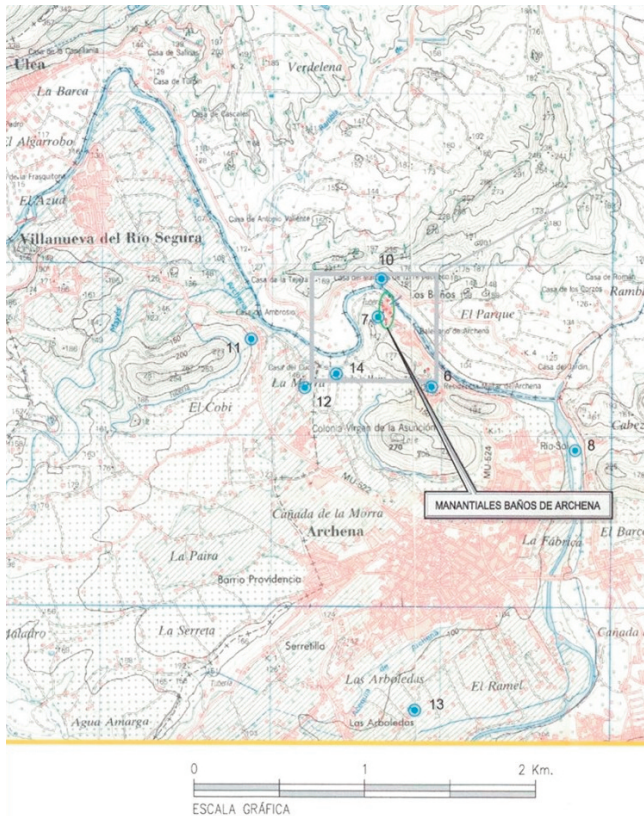


Figura 16. En este mapa se recogen las diferentes captaciones existentes en el entorno del Balneario de Archena (5).

Tabla 2. Características de las captaciones antiguas en el Balneario (5)

Tipo de obra	Diámetro (m)	Profundidad (m)	Temperatura °C	Conductivida µS/cmd	Uso actual
Pozo excavado	2,17*1,20	3.50-3.80	49.3	6770	No
Pozo excavado	1.2	3-abr.	45	6600	No
Pozo excavado	1,5*1,5	3	43.4	6580	No
Pozo excavado	1,5+1,5	3.5	40.8	6540	No



En el año 2016, se realizaron dos sondeos, uno (P-1-Madrid) situado en el parking principal del Balneario, con un caudal aforado de 12 L/s, y explotación recomendada de 10 L/s, y otro (P-2-Manolito) situado en la proximidad de la calle del río Segura, a espaldas del Hotel Termas, con un caudal aforado de 13,4 L/s, y caudal de explotación recomendado de 4,4 L/s, que es el utilizado actualmente con el apoyo en circunstancias determinadas del P-1 (Figura 17). En la tabla 3 se recogen sus características constructivas.

Tabla 3. Características de los sondeos más recientemente construidos

Obra	Profundidad perforación (m)	Diámetro (mm)	Entubación acero INOX AISI316 (mm)	Observaciones
Pozo-1	0-25	444	350	Tapón bentonita-cemento
	0-97	220	180 (filtro puentecillo)	Desarrollo con aire comprimido
Pozo-2	0-1		500 (prefabricado)	Saneamiento del terreno y hormigón
	0-28,5	400 *8	350 *6 (tubería ciega)	Cementado anular
	0-101	250	180*4 (con filtro)	Metro 97 brusca salida de agua a 48 °C

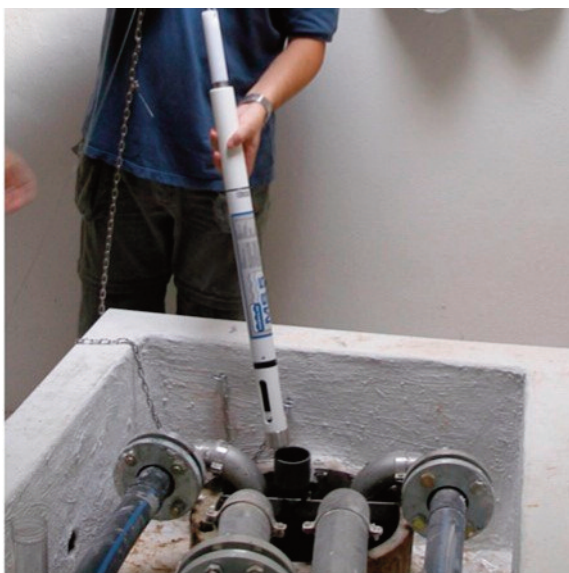


Figura 17. Sondeo P1. Se puede observar en el centro el sondeo, las tuberías de extracción del agua, un tubo piezométrico y la colocación del sensor de conductividad eléctrica-temperatura instalado para el control continuo de la evolución de los parámetros fisicoquímicos del agua.



6. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DEL BALNEARIO

6.1. Antecedentes

El Balneario de Archena tiene una larga historia y tradición, pues sus aguas, debido a su temperatura y composición química, han sido utilizadas muy probablemente, como se ha comentado anteriormente, desde los Íberos; y confirmado por los testigos físicos atribuidos a la época romana. Se dispone de mucha información muy variada, como queda recogida en los anales de la Real Academia Nacional de Farmacia, en la monografía nº. 12 del Balneario de Archena presentado en el año 1986 por el Dr. Juan Manuel López Azcona.

En el estudio de López Azcona *et al.* (7) se incluyen los datos de las características fisicoquímicas de las aguas del Balneario (manantial principal), procedentes de diferentes autores, muestreos y años. Estos se han recogidos en la tabla 4, que incluye los parámetros: temperatura, Na, SiO₂, residuo seco y temperatura de “Base” calculada utilizando como geotermómetro el anhídrido silíceo. En dicha tabla, se puede observar que la temperatura del agua en superficie oscila entre los 49 °C y 52 °C, la temperatura “Base” entre 87 °C y 96 °C, el Sodio (Na) varía entre 930 mg/L y 990 mg/L, el SiO₂ entre 35,6 mg/L y 43,3 mg/L. Todos ellos reflejan una componente geoquímica importante, procedente seguramente de aguas de circulación profunda. En esta interpretación no se han considerado los datos aportados por López Azcona, debido a que como él indica en su artículo (8), los valores estaban afectados temporalmente por la explosión de un polvorín en la zona.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del agua del Balneario de Archena. Temperatura y contenido en mg/L, y de Na, SiO₂, Residuo Seco y Temperatura “Base” en °C (7)

AUTOR	Templado y Martínez	López de Azcona	Oliver Rodés	García Puertas
Año	1949	1963	1976	1983
° C Agua	49,0	41,1	52,0	51,7
Na	942	542	990	930
SiO ₂	35,6	11,8	37,4	43,3
Residuo Seco	3722	2090	3912	3984
° C Base ⁴	87	90	89	96

Como geotermómetros se ha dispuesto de los valores recogidos en la tabla 5. Para el cálculo de la temperatura base, como se puede observar en la mencionada tabla, se ha utilizado como geotermómetro el contenido en sílice, aplicando este contenido a diferentes índices de cálculo. El resultado es un abanico de datos de temperaturas, todos ellos con valores altos, oscilando entre 69,5 °C y 85,2 °C.



Tabla 5. Temperatura “Base”, estimada con SiO₂ como geotermómetro utilizando para su cálculo los métodos de Siever, Fournier y Michard (9)

CÁLCULOS GEOTERMOMÉTRICOS	
GEOTERÓMETRO	T °C
Cuarzo (Siever)	69,5
Cuarzo (Founier)	84,0
Cuarzo (Michard)	85,2

Del manantial principal se ha dispuesto de un número importante de datos procedentes de diferentes autores e instituciones, entre ellos los procedentes de los análisis realizados en los laboratorios del IGME en los años 1985 y 2003 (5), que se recogen, conjuntamente con las demás fuentes en la tabla 6. Se observa que coinciden los valores más altos en algunos de los parámetros físicos como la conductividad eléctrica y/o iones: cloruro, bicarbonato y sulfato y cationes: sodio, calcio y sílice.

También se ha dispuesto de los datos aportados por la Propiedad de fechas recientes, abril de 2017 y mayo de 2018. Como datos más reveladores de esos años, destaca para el año 2017: una temperatura de 49,5 °C, conductividad eléctrica a 25 °C de 6289 μ S/cm, pH con valor de 6,9, calcio 281 mg/L, cloruro 1618 mg/L, magnesio 28 mg/L, Sodio 788 mg/L y sulfato 546 mg/L y entre la información del año 2018 destacan los parámetros medidos in situ: una temperatura de 46,2 °C, conductividad eléctrica a 25 °C con un valor de 7420 μ S/cm y un pH de 6,4 y los iones calcio 243 mg/L y cloruro 1358 mg/L.

A la vista de esta información se puede concluir que las aguas del Balneario de Archena son aguas con una alta mineralización, con un elevado grado de madurez (aguas muy evolucionadas), acorde con la edad del agua y un largo tiempo de residencia. Son aguas con una temperatura del entorno de los 50 °C en el punto de emergencia, y un residuo seco oscilando entre los 4 y 5 g/L, con una facies clorurada sódica, acorde con la presencia de los materiales triásicos yesíferos y salinos anteriormente descritos. Las aguas presentan otras características singulares como una cantidad importante de sulfato (830 mg/L), así como de elementos minoritarios típicos de aguas termales, como flúor (2,16 mg/L), bromo (2,04 mg/L) y sílice (33,5 mg/L). In situ se observa un olor muy característico, debido al desprendimiento de una cierta cantidad de gas sulfhídrico.

También se dispone de datos del año 1999 de los Baños de Archena y Fortuna (Tabla 7) correspondientes a análisis realizados “in situ” y en el laboratorio del IGME, , que pueden contribuir a avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico del sistema hidrotermal, cuestión que como se ha indicado en apartados anteriores, es una de los temas a concretar o al menos a avanzar en ello.



Tabla 6. Parámetros hidroquímicos del manantial principal del Balneario de Archena, correspondientes a diferentes fechas de análisis (5)

ANALÍTICA FÍSICO-QUÍMICA DEL MANANTIAL PRINCIPAL DEL BALNEARIO DE ARCHENA (MURCIA)						
Parámetros	Unidades	DR. García Puertas	IGME	MunuerLab (Lab. De ensayos)	Lab. Salud Pública de Murcia	IGME (Hidrogeología y Aguas Subt.)
AÑO		1983	1985	1996	2002	2003
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS						
Temperatura	°C	51,70	50,00	44,20		49,70
Ph		6,83		7,49	6,89	
Conductividad a 20° C	$\mu S \cdot cm^{-1}$	5,341,3		5.200,00	6.098,00	
EXAMEN PRELIMINAR						
Residuo seco a 180 °C	mg/l	3.984,00	3.912,0	3.650,00	3.903,00	2.342,00
Dureza total	°HF	106,00	104,00		112,20	47,70
Alcalinidad TA	°HF					0,00
Alcalinidad TAC	°HF					9,90
POLUCIÓN DEL AGUA						
Nitrógeno Amoniacal NH_4^+	mg/l		0,00	4,40	1,56	0,00
M. Orgánica (Oxid. Al MnO_4/K)	mg/l O_2		4,34			5,80
ANIONES						
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/l	448,99	549,70	347,00	545,00	
Cloruros (Cl)	mg/l	1.778,43	1.744,60	2.300,00	1.659,70	
Carbonatos (CO_3^{2-})	mg/l		0,00		0,00	
Bicarbonatos (CO_3H)	mg/l	329,19	376,40		396,70	
Nitratos (NO_3)	mg/l		0,00	4,30	0,00	14,00
Nitritos (NO_2)	mg/l		0,00	0,00	0,06	8,90
Fluoruros (F)	mg/l	2,21	2,50	2,35		2,33
Fosfatos (PO_4^{3-})	mg/l		0,00	14,40		
Cianuros (CN)	mg/l					
Bromuros (Br)	mg/l	2,83	3,30	2,30		
Ioduros (I)	mg/l	0,12	0,30	0,60		
CATIONES						
Calcio (Ca^{2+})	mg/l	298,32	307,80		318,40	
Magnesio (Mg^{2+})	mg/l	76,23	66,20		79,70	
Sodio (Na^+)	mg/l	930,20	990,00			
Potasio (K^+)	mg/l	132,41	110,00	58,00		
Amonio (NH_4^+)	mg/l		0,00	4,40		0,00
Hierro (Fe)	mg/l	1,05	0,30			0,05
Manganeso (Mn)	mg/l	0,31	0,00	0,00		0,03
Silíce (SiO_2)	mg/l	43,26	37,40			
Cobre (Cu)	mg/l	0,01				
Zinc (Zn)	mg/l	0,00				
Litio	mg/l	0,83	2,00	2,00		
GASES						
Sulfhídrico (SH2)	mg/l	8,20		10,40		



Tabla 7. Parámetros hidroquímicos Archena y Fortuna

Parámetros	Baños de Archena mg/L “in situ”	Baños de Archena mg/L	Baños Fortuna mg/L	Baños Archena mg/L		Baños Fortuna mg/L
T. agua °C	49.9		27.8	Ca ⁺⁺	303	269
T. ambiente °C	26.5			Mg ⁺⁺	96	106
Eh mV	275.1			Na ⁺	1027	1087
pH	6.806	7.5		K ⁺	55	10
Conductividad eléctrica µS/cm	6340	6624	6832	SiO ₂	33.5	23.8
Alcalinidad (CO ₃ H)	71		4866	Fe	0.05	0.04
NO ₃ ⁻	24.2	7.8		Mn	0.029	
NH ₄ ⁺	0.4	4496		Cu	0	
Fe	0.7	258	133	Zn	0	
SiO ₂	38.5	1603	1653	Pb	0	
O ₂ disuelto	0.3	830		As	0	
				Hg	0	
				Cr	0	0.005
				Cd	0	
				Se	0	
				F	2.16	
				B	2.04	

Del balneario de Alhama de Murcia se dispone de dos analíticas realizados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y en el laboratorio ManuelLab correspondiente al año 2013 y otra analítica correspondiente al año 2016 del sondeo “Aguas de Dios”, cuyo corte litológico se puede ver en la figura 18. Este sondeo se sitúa en el término municipal de Alhama de Murcia, cuyo análisis se realizó con motivo de la solicitud de la declaración de agua mineromedicinal para uso por vía tópica del agua del citado sondeo. Se ha contado también con otros análisis de los Baños de Mula, recogidos todos en la tabla 8.



Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos de los Baños de Alhama y Mula para diferentes fechas de analítica (2 y 10)

Parámetros	Sondeo “Aguas de Dios”. Baños de Alhama de Murcia mg/L		Baños de Mula mg/L	Sondeo “Aguas de Dios”. Baños de Alhama de Murcia mg/L			Baños de Mula mg/L
	2013	2016	1999	Parámetros	2013	2016	1999
Temperatura °C	39.8		37.3	Na ⁺	444	369.53	102
pH	7.18	6.97		Ca ⁺⁺	418	422.08	268
Conductividad eléctrica µS/cm	3460	2780	2544	Mg ⁺⁺	117	104.4	86
Dureza total	164 °f		1760	K ⁺		39.92	11
Residuo seco (180 °C)	3190	3189.4		Al	<5 µg/L		
Cl ⁻	548	453.09	150	Mn	<5 µg/L		
SO ₄ ²⁻	1264	1178	817	Pb	<5 µg/L		
HCO ₃ ⁻	330	323.3		Hg	<0.5 µg/L		
CO ₃ ⁻	<5		169	Ni	<5 µg/L		
F ⁻	3.3	3.156	1.29	As	<5 µg/L		0.012
B ⁻	1	0.843	0.3	Cu	<0.01		0.3
NO ₃ ⁻		3.75	2	Litio (Li ⁺)		1.24	
NO ₃ ⁻		2.93		Fe	<0,01		
				SiO ₂			25.7



CORTE GEOLÓGICO SONDEO TERMAL " AGUA DE DIOS"

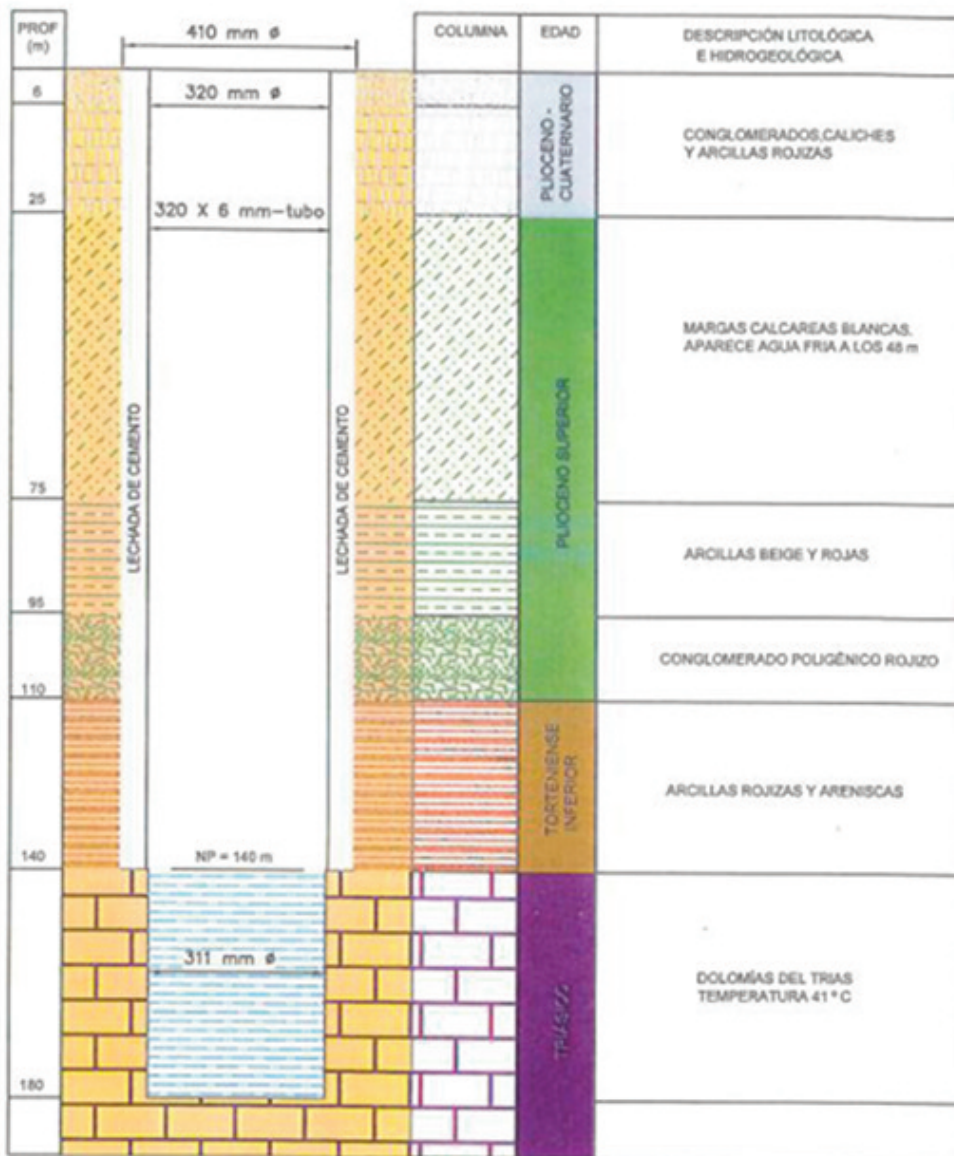


Figura 18. Detalle del sondeo termal “Agua de Dios”, y litologías atravesadas, destacando la zona productiva coincidente con las dolomías del Triás, con una temperatura de 41 °C, según descripción de Miguel Pérez Manzanera.

En dos fotos de la figura 19, una histórica, de los inicios del balneario, y otra de la actualidad, pueden verse las incrustaciones carbonáticas y precipitados en una de las fuentes existente en el interior del balneario situada en el subsuelo del edificio del hotel Las Termas.

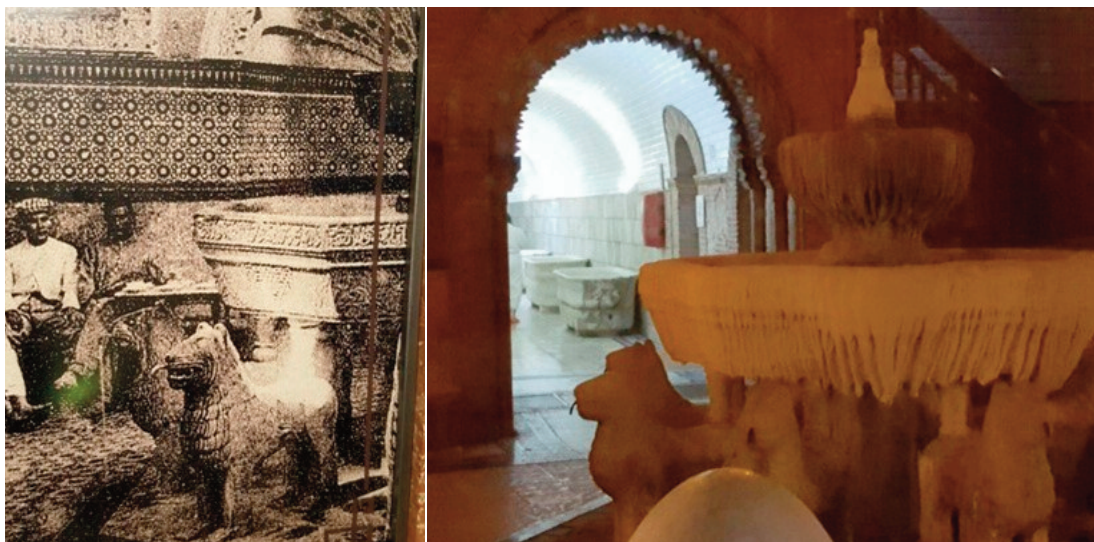


Figura 19. Se puede ver los depósitos de carbonatos, formada por la precipitación de los carbonatos .

Contrastando la información aportada por las tablas 7 y 8 con la información de los diferentes balnearios o baños, se observa que la naturaleza fisicoquímica del agua de Archena es muy similar a la de Fortuna, por lo que podría considerarse que el origen de estas aguas debe ser el mismo o muy similar; no ocurre lo mismo con las aguas de los Baños de Mula, que guardan más semejanza con las de Alhama.

7. PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MINERO-MEDICINALES DEL BALNEARIO

La legislación vigente en materia de aguas minero-medicinales define una figura de protección denominada “perímetros de protección”. Esta figura administrativa-legal tiene como objetivo principal proteger las aguas que se captan de la potencial contaminación por actividades, tanto urbanas, como ganaderas o industriales, que pudieran llevarse a cabo de forma irregular en su entorno o en la zona de influencia o cono de bombeo y controlar o restringir la extracción de las aguas del acuífero que pueda afectar a las aguas captadas por el Balneario (11).

La figura de perímetro de protección para las aguas minerales aparece en nuestra legislación en el Reglamento de 1868. Su artículo 19 prohibía la realización de trabajos dentro del perímetro del establecimiento del Balneario sin permiso del Ministerio de Gobernación. Más tarde el estatuto sobre explotación de las aguas mineromedicinales de 1928 (Gaceta de Madrid de 26 de abril de 1928) fija para los manantiales declarados de utilidad pública una “zona de expropiación forzosa” consistente en un cuadrado de 300 metros de lado, con el fin de garantizar la integridad y pureza del manantial; posteriormente se hace referencia a un perímetro de protección variable en cada caso según la constitución del terreno. La actual legislación como la Ley de Minas de 11 de abril de 1978 y el Reglamento de la Ley de 25 de agosto de 1978, y el Real Decreto 781/1998 de 30 de abril que



modifica el Real Decreto 1164/1991 del Reglamento Técnico Sanitario para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasada, contemplan los perímetros de protección de las aguas mineromedicinales como medio de asegurar la cantidad y composición de las aguas minerales (11).

7.1. Perímetro autorizado

Por parte de la Dirección General de Industria, Energía y Minas (Consejería de Industria, Trabajo y Turismo de la Región de Murcia) con fecha de resolución 7 de septiembre de 1998 se otorga la autorización de aprovechamiento y perímetro de protección del agua termal para uso terapéutico del Balneario de Archena. La designación del perímetro de protección se recoge en la figura 20.

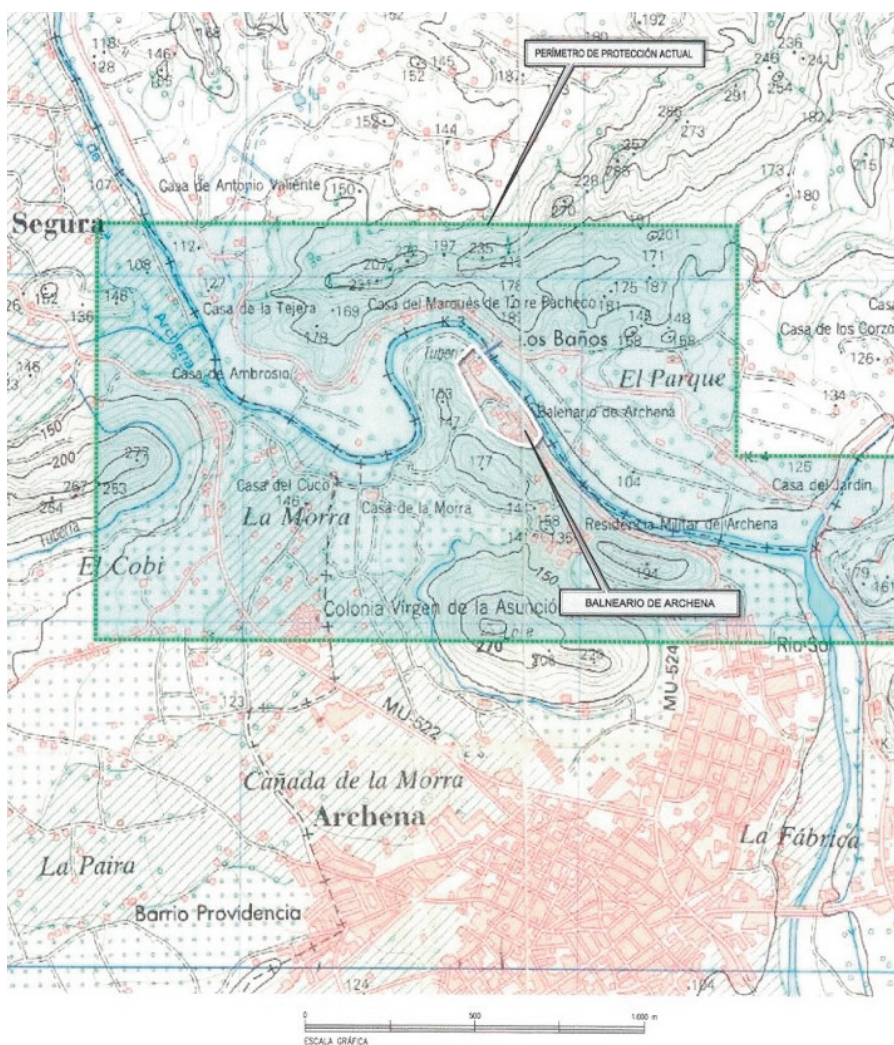


Figura 20. Delimitación del perímetro de protección de las captaciones del Balneario actualmente aprobado.



7.2. Propuestas de actualización del perímetro de protección

A lo largo de este artículo se ha comentado que en el entorno del Balneario de Archena se sitúan otros balnearios, como son los Baños de Mula y de Fortuna, situados a 14 y 20 km respectivamente del balneario de Archena. Estos balnearios disponen del correspondiente perímetro de protección de sus aguas. En la actualidad sus propietarios consideran que, dada la evolución social y económica de sus entornos y el posible deterioro ambiental, estos perímetros de protección son insuficientes para proteger sus aguas en cantidad y calidad; circunstancia que los ha llevado a solicitar a la autoridad competente la ampliación de los actuales perímetros de protección.

Parece evidente, que teniendo en cuenta el sistema hidrotermal y los posibles problemas ambientales, los propietarios, según la información verbal disponible, han procedido a la solicitud de ampliación de los diferentes aprovechamientos con un aumento muy sustancial de la superficie de los perímetros, pudiendo solaparse entre ellos, lo que puede originar conflictos entre los diferentes propietarios.

Para soslayar esta situación, la autoridad competente ha propuesto la creación de un coto minero, entendiéndose por ello como la agrupación de interés de titulares de derechos de explotación en diversas zonas de un mismo yacimiento. Las obligaciones, responsabilidades y derechos serían compartidos por los distintos titulares de los aprovechamiento o futuros. Esta figura sustituiría a la actual otorgada a cada uno de los balnearios.

8. CONCLUSIONES

El balneario de Archena (Murcia) se sitúa en una zona de alta actividad tectónica, motivada por el contacto entre la Zona Interna y la Zona Externa del sector oriental de la Cordillera Bética. Dicha situación, de carácter regional, favorece la presencia en superficie de numerosas surgencias termales, con aguas de elevada temperatura, en el entorno de los 50 °C en el punto de emergencia y muy probablemente superior a los 80 °C en profundidad.

El agua termal emergente procede de un acuífero profundo constituido por formaciones carbonáticas mesozoicas, del que no se conoce suficientemente su caracterización y funcionamiento hidrogeológico. La compleja estructura geológica y los materiales aflorantes del Trías, ricos en yesos y sales evaporíticas, condicionan de manera importante la circulación subterránea y la marca hidroquímica de las aguas, de facies mayoritaria clorurada sódica.

El esquema de funcionamiento hidrogeológico del acuífero relacionado con las surgencias es complejo como lo pone de relieve los diferentes estudios realizados. En alguno de ellos, se plantean dos hipótesis de funcionamiento, una basada en un único sistema termal, con el que estarían relacionadas las diferentes manifestaciones termales, y otra donde se contempla un doble sistema en el que unas u otras fuentes dependerían de uno u otro sistema. A estas dos hipótesis, se ha incorporado en este artículo una tercera. En esta se contempla la posibilidad de la presencia de un acuífero profundo relacionado con las formaciones triásicas,



similar a los modelos geológicos vistos en otros lugares de la geografía española, que condicionaría el flujo y movimiento del agua subterránea.

9. RECOMENDACIONES

A la vista del conocimiento disponible adquirido por diferentes trabajos realizados y diversos autores, y las incertidumbres existentes en cuanto a la relación entre las surgencias y el acuífero origen de esas aguas y, por otro lado, los caudales surgentes y la posible recarga y zonas donde se produce esta, se proponen Las siguientes acciones:

- Profundizar en el estudio del acuífero, incidiendo especialmente en los aspectos del origen de las aguas y funcionamiento hidrogeológico del acuífero o acuíferos, lo que ayudará a establecer la relación entre las surgencias y las aguas surgentes, aplicando técnicas más precisas de cartografía geológica de detalle y métodos y técnicas hidroquímicas e isotópicas.
- Plantear para todo el sistema termal, una red de control de niveles piezométricos, caudales y calidad de las aguas, compartida con otros usuarios del mismo acuífero.
- Mantener activa la vigilancia de posibles focos de contaminación que se puedan producir como consecuencias de actividades no autorizadas por la administración competente.
- Establecer un nuevo perímetro de protección de las captaciones existentes, destinadas a suministrar agua a los diferentes baños, compartido y gestionado entre los diferentes propietarios, como instrumento de una adecuada gestión del acuífero. Compartiendo esa gestión y su control, asimismo, entre la administración minera y los diferentes propietarios.

10. REFERENCIAS

1. IGME-M.C. y T. (2001). Las aguas minerales en España. Visión histórica, contexto hidrogeológico y perspectiva de utilización. Editores: J. Baeza. J.A. López-Geta y A. Ramírez. Instituto Geológico y Minero de España. 454 pp y CD.
2. Pinuaga Espejel, J.I. y Martínez Parra, M (2003). Panorama de las aguas minerales en la región de Murcia. Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas. Nº.5. Instituto Geológico y Minero de España. 189 pp.
3. Bernardeau L, Baena J, Gabaldón V, Barranco LM (1991). Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividades de fallas en la Región de Murcia. Instituto Geológico y Minero de España Madrid. http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Tematica/IGME_Neotectonico_1M/MapServer/wMSServer
4. MAGNA. Mapa Geológico de España a E.1:50.000. Hoja 912 (26-36) Mula.
5. GEOCISA (2004). Revisión y propuesta de ampliación del perímetro de protección del manantial de agua minero-medicinal y termal del balneario de Archena (Murcia).



6. CEDEX (2004). Informe Laboratorio Isotópico. Informe GEOCISA 2004
7. López Azcona, J.M.; Mosso, M.A.; Díaz, F.; De la Rosa, M.C.; García Puertas, P.; Torija Isasa, M.E.; Orzaez Villanueva, M.T.; Plaza Piñol, F.; Aguayo Martos, L. y Alias, J.L. (1986). Estudio sobre el Balneario de Archena. Memoria nº 12. Instituto de España-Real Academia de Farmacia. Madrid. ITGE.361-373.
8. López Azcona J.M. (1965). Efecto de la explotación de 1 de septiembre 1963 en el manantial de Archidona. Madrid, 12 de febrero de 1965,32 99 y mapa.
9. IGME (2003). Panorama de las Aguas Minerales en la Región de Murcia. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 5. Ed: Pinuaga Espejel J.L. y Martínez Parra M. ISBN 84-7840-467-8. 189 pp.
10. Martínez Pagán, Verónica (MMMM). Memoria de las aguas minero-medicinales de Alhama de Murcia. Escuela profesional de hidrología médica e hidroterapia Facultad de Medicina-UCM.
11. ITGE (1996). Guía para la elaboración de perímetros de protección de las aguas minerales y témales. Instituto tecnológico Geominero de España. 104 pp.
12. IGME (1982): Estudio hidrogeológico de la comarca Caravaca-Cehegín (Subbético de Murcia).
13. IGME (2009): Caracterización y evolución físico-química de las aguas subterráneas en áreas tectónicamente activas. Aplicación a zonas con sismicidad histórica y actual de la Región de Murcia. 8 tomos. Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito).