

Condicionamientos hidrogeológicos del Balneario de San Nicolás (Alhama de Almería, Sur de España) y su influencia en las características fisicoquímicas de sus aguas

Title in English: *Hydrogeological conditionings of the Baths of San Nicolás (Alhama de Almeria, South of Spain). Influence in the water physical and chemical characteristics*

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

¹Vocal de la Comisión de Aguas Minero-medicinales, Real Academia Nacional de Farmacia. ²Instituto Geológico y Minero de España (IGME). ³Académico Correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia *jalopezgeta@gmail.com

An. Real. Acad. Farm. Vol 83, Special Issue (2017) pp. 79-104.

RESUMEN

El balneario de San Nicolás se ubica en la localidad de Alhama de Almería, en la falda norte de la Sierra de Gádor, provincia de Almería, sureste de España. Constituye un balneario de aguas calientes de larga tradición histórica, como evidencian algunos de los restos romanos y árabes hallados en sus instalaciones y el entorno. El suministro de agua a los baños provenía originalmente de un manantial, que en el año 1552 desapareció como consecuencia de un importante terremoto con epicentro cercano a la población. En la actualidad, las aguas proceden de tres captaciones verticales, que perfora las rocas carbonáticas del Trías alpujárride, aflorantes en el monte Milano, en cuyas faldas septentrionales y orientales se desarrolla la población de Alhama. Hacia el valle del cercano río Andarax existen una serie de extensas plataformas travertínicas, relacionadas con el paleodrenaje natural de las aguas que alimentan los baños y de otros manantiales cercanos, alineados a lo largo de dos fallas normales de dirección N75°E y N105°E, que ponen en contacto las rocas carbonáticas triásicas del acuífero de la sierra de Gádor con los sedimentos miocenos y cuaternarios que rellenan la Depresión del Andarax. Este acuífero es explotado en otros lugares mediante sondeos profundos, con el nivel freático actual a más de cien metros por debajo de la superficie topográfica. Las aguas captadas y utilizadas por

ABSTRACT

San Nicolás Health Spa is located in the town of Alhama de Almería, on the northern slope of the Sierra de Gádor, province of Almeria, South-East of Spain. Is a spa of water hot of long historical tradition, as evidenced some of them Roman and Arab remains found. The supply of water to bathrooms came originally of a natural spring. In the year 1552 the spring disappeared as consequence of an important earthquake with epicenter close to the village. Currently, the waters are uploaded from three vertical wells located in the interior of a horizontal gallery. The gallery is built in the carbonatic Triassic rocks from Alpujárride Complex of the Milano mountain. The city of Alhama develops in North and East of the mountain. Toward the nearby valley of the Andarax River there are a series of large travertinic platforms, related to the natural paleo drainage of waters that feed the baths and other nearby springs, aligned along two normal faults with N75°E and N105°E orientations, which put in contact the rocks of Triassic carbonate aquifer of the sierra de Gádor with Miocene and Quaternary sediments that fill the Andarax Depression. This aquifer is exploited by deep drilling, and the piezometric surface is now a hundred metres below the surface topography. The spa waters have a temperature exceeding 40 ° C, with low mineralization, HCO₃-SO₄ facies, some radioactivity and high content of SiO₂ and

el balneario presentan una temperatura que supera los 40°C, con una escasa mineralización, facies bicarbonatada-sulfatada, cierta radioactividad y alto contenido en sulfatos y SiO₂.

Palabras clave: acuíferos; aguas termales; Alhama de Almería; Balnearios; Cordillera Bética; travertinos.

sulfates.

Keywords: Alhama de Almería; Betic Cordillera; karstic aquifer; spas; termal waters; travertines.

1. ANTECEDENTES

Alhama de Almería es una localidad y municipio de la provincia de Almería en la comunidad autónoma de Andalucía, situado en la Alpujarra Almeriense y el valle del Andarax. En el año 2014 contaba con 3753 habitantes. Su extensión superficial es de 26 km² y tiene una densidad de 144,35 hab/km². La localidad se encuentra situada a una altitud de 520 m s.n.m. y a una distancia de 25 km de la capital de provincia, Almería.

Esta localidad se ha denominado a lo largo de su historia como Alhama la Seca, Alhama de Salmerón y actualmente como Alhama de Almería y es conocida también por ser la localidad natal del que fuera presidente de la Primera República Española, Nicolás Salmerón Alonso (1838 - 1908) (9).

Hay pruebas evidentes de la existencia de un asentamiento romano, como atestiguan numerosos hallazgos, sobresaliendo la aparición, en 1984, de una estatua de mármol de figura femenina, "la Dama de Alhama", encontrada en las cercanías del manantial hidrotermal. También, bajo el Frontón municipal se hallaron los restos de una imponente villa romana. Esta escultura, denominada "La Dama de Alhama", corresponde a una pequeña escultura femenina (parte superior) (Figura 1) a la que le faltan las extremidades inferiores (en su totalidad), mientras que las superiores lo están solo en partes. Es de mármol blanco, de no muy buena calidad, midiendo 26,6 cm de altura por 19,28 de anchura, lo que nos indica que probablemente alcanzará una altura original de 70 cm. Caracterizada por el hieratismo frontal, parece corresponder al siglo II d.C. Ha sido interpretada como una posible ninfa del manantial de Alhama (1).



Figura 1. Escultura, torso de “La Dama de Alhama”. Pequeña escultura femenina, probablemente alcanzaría una altura original de 70 cm (modificado de Cara y Rodríguez, 1992) (1).

Al-Idrisi, famoso geógrafo árabe de la segunda mitad del siglo XII, nos ofrece algunos datos sobre la Alhama de los musulmanes: " A seis millas de Pechina está Alhama, fortaleza situada en lo alto del cerro. Los viajeros de lejanos países relatan que no existe en el mundo otra que sea más sólida ni otro lugar cuyas aguas termales manen tan cálidas. Desde todos los puntos cardinales acuden ahí enfermos que permanecen allí hasta verse aliviados de sus dolencias o completamente curados. Los habitantes de Almería venían antes a reposar con sus mujeres e hijos. Empleaban allí grandes sumas en comer, beber y otros placeres y el alquiler de una habitación podía alcanzar los 3 dinares almorávides al mes”.

Próximo a Alhama de Almería, se encuentra el yacimiento prehistórico de Los Millares, también denominado Poblado de Los Millares, está situado entre los municipios de Santa Fe de Mondújar y Gádor, a 17 km de Almería, España. Conocido como uno de los asentamientos más importantes de la Europa de la Edad del Cobre, da nombre a la cultura arqueológica de Los Millares, que se extendió por parte de Andalucía Oriental y Levante, siendo contemporánea de los también calcolíticos grupos de Vila Nova, en la desembocadura del río Tajo. Esta zona arqueológica está formada por el poblado y su necrópolis, ubicados sobre la meseta del mismo nombre, que en forma de espolón queda enmarcada en sus flancos norte y este-sureste por el río Andarax y la rambla de Huéchar. El poblado contó con un importante sistema defensivo, compuesto de líneas amuralladas y un conjunto de fortines situados en pequeñas colinas al borde de la sierra de Gádor y a ambos lados de la rambla de Huéchar. La necrópolis consta de casi un centenar de tumbas colectivas, la mayoría de tipo tholos, pero también aparecen cistas, sepulcros de corredor y cuevas (Figura 2).



Figura 2. Poblado prehistórico de Los Millares.

Como antecedentes, destacar algunos hechos cronológicos relacionados expresamente con el Balneario de San Nicolás:

1874. Se constituye la Sociedad Constructora del Establecimiento de Baños Termales de “San Nicolás o Sociedad Balneario de San Nicolás de Alhama de Almería”.

1877. Se hace la Declaración de agua Termal del Balneario y de su Fuente.

1881. Se recoge la primera referencia al Balneario en la Gaceta de Madrid.

1887. Su referencia es recogida en el Libro “Elementos de Hidrología Médica” de E. Doz y A. Buille como Alhama La Seca, con 887 L/min y 46°C.

1928. El sondeo nº14 “El Sillero” aparece en la relación de Balnearios en el Apartado B) del Art.34 del R.D. Ley 743/1928 de 26 de abril de 1928, Estatuto sobre Explotación de Balnearios (Gaceta de Madrid). Y se otorga el derecho a solicitar la fijación del Perímetro de Protección, indicándose que no prescribirá y lo podrán utilizar en cualquier momento los dueños del manantial de aguas minerales.

1982. La Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo dictamina que por estar incluido en la Relación del R.D. Ley del 1928 no existe inconveniente que las aguas del Balneario sigan declarándose Aguas Minero-medicinales.

1982. La Dirección General del Ministerio de Industria y Energía, con fecha 6 de diciembre de 1982 considera que sigue siendo válida la declaración de minero-medicinal.

1996. El Balneario y los Sondeos son adquiridos por Alhameña de Hostelería, S.L.

1997. La Delegación Provincial de la Consejería de Trabajo e Industria autoriza el cambio de titularidad de los derechos de explotación del sondeo nº 14 a nombre de la Sociedad Alhameña de Hostelería S.L.

2005. Alhameña de Hostelería solicita la fijación del Perímetro de Protección según R.D. Ley 1928.

2007. Se solicita la declaración de Aguas Minerales de los Sondeos 23 y 31.

2012. Se publica en el BOJA número 237 y en el BOP número 247 anuncio sobre la propuesta del perímetro de protección, sin que se presenten alegaciones..

2. EL SUMINISTRO DE AGUA AL BALNEARIO. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS CAPTACIONES

El suministro de agua a los baños provenía originalmente de un manantial que, en el año 1552, desapareció como consecuencia de un importante terremoto cuyo epicentro se encontró cercano a la población y que causó importantes efectos en la provincia de Almería, cuyas consecuencias están recogidas en el libro: *La actividad sísmica en el Reino de Granada.1487-1535. Estudios Históricos y Documentos*, y que como recoge el ese libro (11) (Figura 3), las consecuencias más negativas sobre la localidad de Alhama fue la desaparición de los manantiales y la emigración de los vecinos, y Alhama paso a denominarse Alhama La Seca, nombre que mantuvo durante los siglos XVI a XIX. Con fecha 1 de octubre de 1880, la Gaceta de Madrid, recogió la Real Orden por el que S.M. El Rey resuelve que desde ese momento se designe como Alhama de Almería en sustitución de Alhama La Seca.

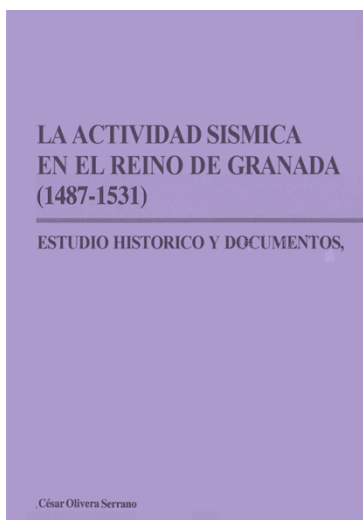


Figura 3. Libro *La actividad sísmica en el Reino de Granada.1487-1535.Estudios Históricos y Documentos* (11).

En la actualidad, las aguas proceden de tres captaciones o sondeos verticales, dos emboquillados en el interior de una galería horizontal (Figura 4) que perfora las rocas carbonáticas del Trías alpujárride aflorantes en el monte Milano, en cuyas faldas septentrionales y orientales se desarrolla la población de Alhama. En la tabla 1, se recogen las principales características técnicas de los tres sondeos de abastecimiento al Balneario, números 14 (El Sillero), 23 (San Marcos) y 31 (El Niño).



Figura 4. Acceso a la galería donde se sitúan los sondeos de captación números 14 y 23.

Tabla 1. Características técnicas de los sondeos de abastecimiento al Balneario.

CARACTERISTICAS	SONDEO 14. EL SILLERO	SONDEO 23. SAN MARCOS	SONDEO 31. EL NIÑO
Profundidad (m)	220 *	400	250
Tª agua (°C)	35-50	43,4	43,4
Nivel Estático (m)	143,03 (enero- 2010)	157,18	117,71
Diámetro (m)	0,45	0,45	0,45
Cota sondeo (m s.n.m)	526,54	532,70	509,28
Profundidad bomba (m)		170	170
Potencia bomba (CV)		150	160
Coordenadas UTM	X=538.224 Y=4.090.431	X=538.200 Y=4.090.455	X=538.200 Y=4.090.602

*A los 21,56 m se conecta con una galería con el sondeo 24 (14).

Desde las captaciones situadas tanto en el interior de la galería, como la situada en el exterior, existe una red de conducciones que llevan las aguas hasta el aprovechamiento en el Balneario (Figura 5).



Figura 5. A la izquierda situación de los sondeos de abastecimiento al Balneario de San Nicolás, en pleno núcleo de población, y a la izquierda red de conducciones a través de las calles del municipio (12).

2. EL BALNEARIO DE SAN NICOLÁS EN EL MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La actual Propiedad del Balneario ha llevado a cabo una serie de estudios, con el objetivo de establecer el perímetro de protección de las diferentes captaciones que abastecen al Balneario. De entre estos, destacar los trabajos “Estudio hidrogeológico y propuesta de protección de las aguas termales del pozo nº 23 del Balneario de San Nicolás de Alhama de Almería, 2009 (12)”, “Estudio hidrogeológico y propuesta de protección de las aguas termales del pozo nº 31, 2009 (13)” y “Estudio hidrogeológico del sondeo 14, el Sillero, del Balneario de San Nicolás. Alhama de Almería (Almería), mayo 2010 (14) y Adenda, junio 2011 (15). Con anterioridad, en los años 1990 y 1991, el IGME realizó el estudio “Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Estudio de detalle de la provincia de Almería. Tomo I” (8), donde se dedica un capítulo al Balneario de San Nicolás de Alhama de Almería.

Las mencionadas captaciones se emplazan en el Dominio cortical del Alborán (12, 13, 14), en el que se desarrolla el Orógeno Bético, donde se sitúan las Zonas Subibérica o Externa, en la posición más septentrional y la Bética o Interna en la parte más meridional, localizándose en esta última un conjunto de unidades apiladas, denominadas complejos Maláguide, Alpujárride y el Nevado-Filábride (2) (19) (Figura 6).

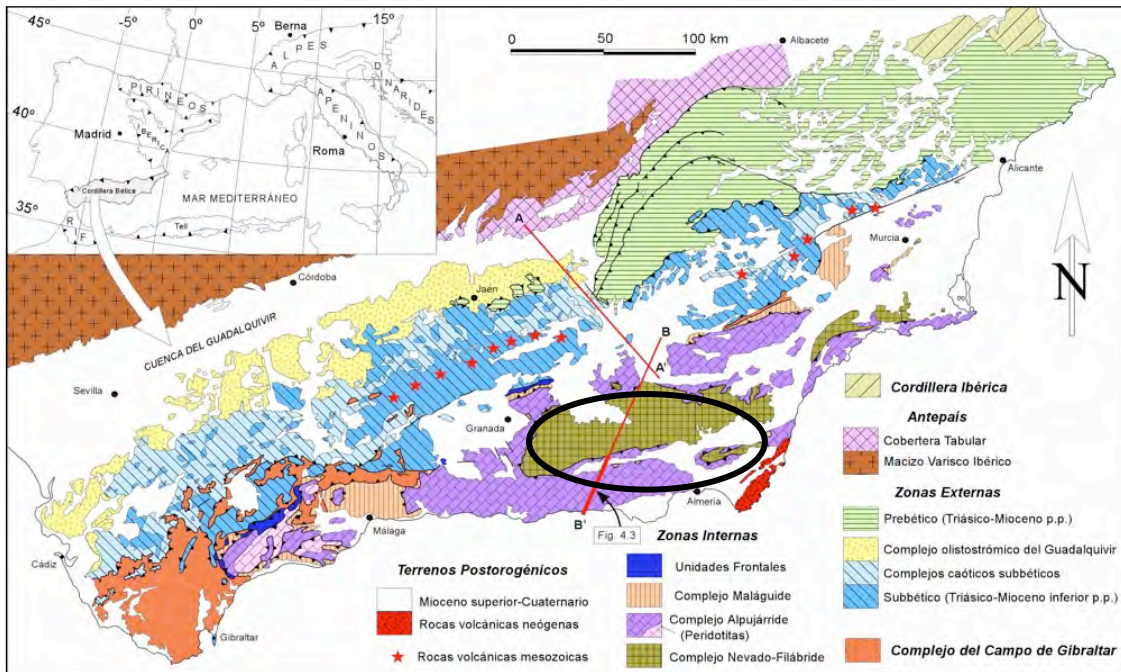


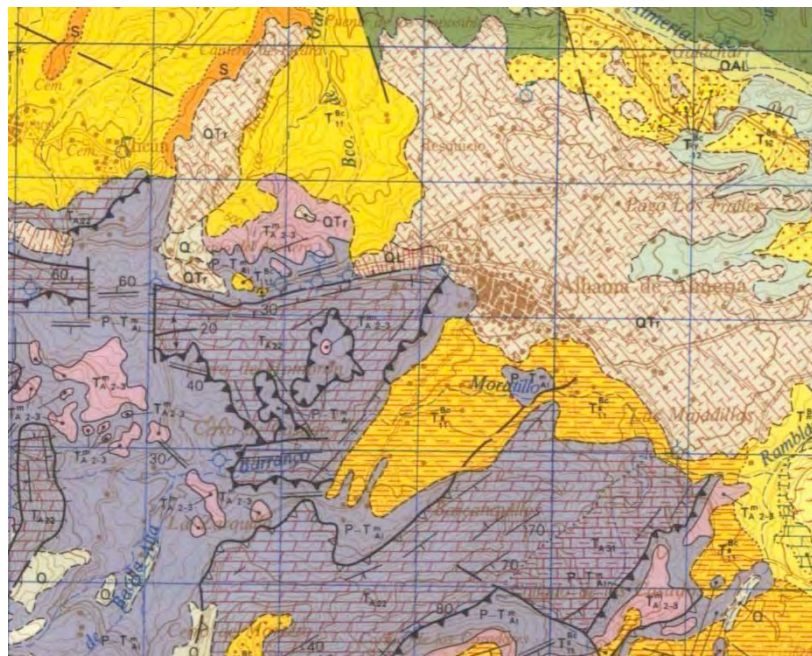
Figura 6. Mapa de localización de las zonas Externas e Internas, y de los complejos Maláguide, Alpujarride y el Nevado-Filábride.

De esas unidades, el Complejo Alpujarride (8), cabalgando sobre el Nevado-Filábride aflora en la mayor parte de la vertiente Norte de Sierra de Gádor, en el Valle del Andarax. Se distinguen dos mantos tectónicos superpuestos: el manto de Gádor en posición inferior y el de Félix en la Superior.

La base del manto de Gádor aflora únicamente en la vertiente sur de Sierra de Gádor y está formada por filitas y cuarcitas de edad permotriásica y arriba se disponen calcoesquistos de unos 150-200 m de espesor, dolomías y calizas que cubren extensas áreas en Sierra de Gádor y en afloramientos en Sierra Nevada.

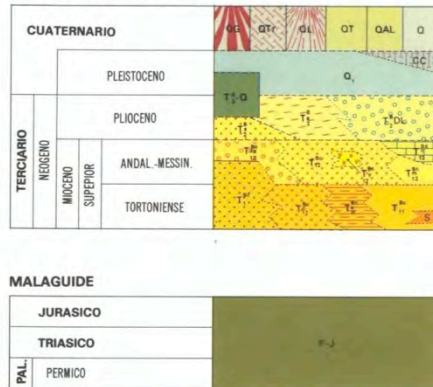
El manto Félix, aflora principalmente al pie de Sierra de Beires y en el área de Alhama; consta de una base de micasquistos paleozoicos, sobre los que se disponen filitas, cuarcitas, argilitas y pelitas de tonos azulados, coronando la serie un paquete carbonatado (dolomías y calizas) de edad triásica.

Sedimentos neógenos litorales y de plataforma cubren localmente a los materiales alpujarrides. Las facies más frecuentes son las de areniscas conglomeráticas y las de margas y yesos.



LEYENDA

TERRENOS POST-MANTOS



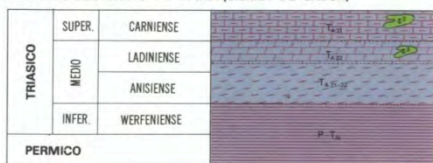
- Q Indiferenciado
- QAL Aluviones
- QT Terrazas fluviales
- GL Depósitos de laderas
- OT Travertinos
- QGL Glicis, Conglomerados y arcillas
- Q Conglomerado de cantos angulosos
- CC Costa calcárea
- T₂₋₃ Conglomerados de cantos angulosos, arcillas y limos
- T₂₋₃DL Conglomerado de cantos redondos, arenas
- T₂ Arcillas rojas y conglomerados
- T₂ Conglomerados y arenas con Ostras y Balanus
- T₂ Calizas de algas o arcaolitas
- T₂ Margas
- T₂ Yesos
- T₂ Margas, arenas y conglomerados
- T₂ Conglomerados, limos y arcillas
- T₂ Margas, intercalaciones areniscas turbiditas (S)
- T₂ Margas arenosas con yeso, calcarenitas conglomeráticas
- T₂ Calcarenitas conglomeráticas
- T₂ Calcarenitas
- P-J Calizas, dolomías, areniscas, conglomerados, pizarras y peltas

ALPUJARRIDES UNIDADES DEL MANTO DE MURTAS (≈ FELIX)



- T₂₋₃ Dolomías, calizas y calcosquistos
- P-T₂ Filitas, cuarcitas, argilitas y yesos
- CA-P Micasquistos, Cuarcitas

UNIDADES DEL MANTO DE LUJAR (SIERRA DE GADOR)



- T₂₋₃ Calizas, margo-calizas y argilitas
- S³ Mesobasitas
- T₂₋₃ Dolomías oscuras (facies franciscana), calizas y brechas
- T₂₋₃ Calcosquistos, argilitas, margas y dolomías
- P-T₂ Filitas, cuarcitas, argilitas y calizas

Figura 7. Mapa geológico y leyenda del entorno del municipio de Alhama de Almería, donde se observan los diferentes materiales aflorantes, que van desde las calizas, margocalizas y dolomías de la Unidad de Gádor, filitas y cuarcitas y travertinos (20).

El complejo Alpujárride, la estructura general del macizo (Figura 7) es de tipo anticlinorio, de dirección Oeste-Suroeste a Este-Noreste, incurvado hacia el Sureste a la altura de Félix. Después de unas fases de deformación, los dos mantos alpujárrides, así como la mayor parte de los depósitos postmanto han sido afectados por fallas normales, cuya dirección más importante es la Noroeste-Sureste. Fallas de este tipo limitan la Sierra con las depresiones del Andarax y de Almería. El límite de la Sierra de Gádor con la depresión del Andarax está constituido por una falla de desgarre (falla de Illar-Alhama-El Alquíán) que desplazó relativamente el bloque hundido hacia el Sureste, resaltando la trascendencia que este accidente puede tener desde el punto de vista hidrogeotérmico.

Los materiales carbonatados, calizas y dolomías grises o negras, se presentan, bien con aspecto masivo o estratificado en capas de pequeño espesor (Figura 8, izquierda). En el conjunto de fallas presentes, con frecuencia se observan planos de falla como puede verse en la figura 8, derecha.



Figura 8. Detalle de los materiales carbonáticos (izquierda) y plano de falla con estrías subverticales (derecha).

Hacia el valle del cercano río Andarax existen una serie de extensas plataformas travertínicas, relacionadas con el paleodrenaje natural de las aguas que alimentan los baños y de otros manantiales cercanos, alineados a lo largo de dos fallas normales de dirección N75°E y N105°E, que limitan el acuífero carbonático de la sierra de Gádor con los sedimentos mio-cuaternarios que rellenan la Depresión del Andarax (3, 4, 5, 6 y 7). Dichos edificios travertínicos se presentan actualmente deslizados parcialmente sobre los materiales terciarios de la depresión del Andarax (Figura 9).

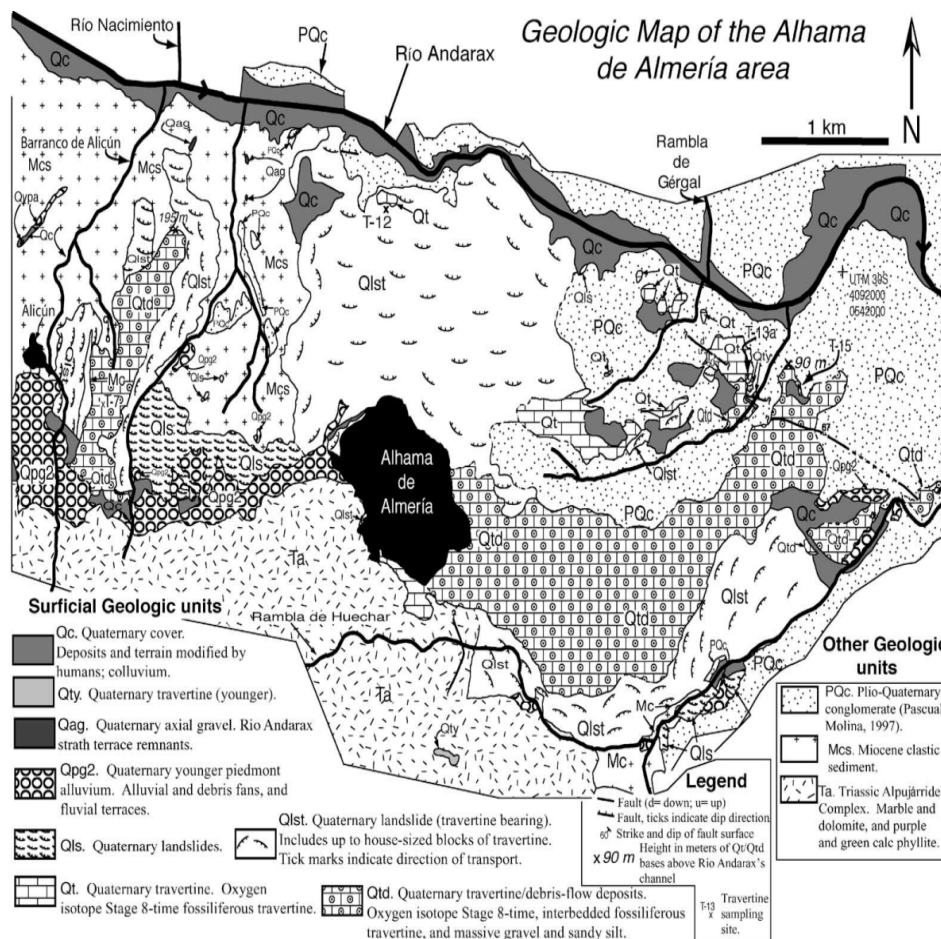


Figura 9. Mapa geológico del área de Alhama de Almería (2).

Las plataformas travertínicas destacan en el paisaje por su morfología tabular. Las dos más importantes se encuentran al este de la localidad de Alicún, orientada S-N y al este de Alhama de Almería. Con un desarrollo en planta irregular. La edad de dichos travertinos ha sido establecida por García *et al* (2003), en los estadios isotópicos 8 (frío, 300-240 Ka B.P.) y 9 (cálido, 60-300 Ka B.P.) mediante dataciones por el método de las series de Th/U (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis geocronológico de los travertinos de Alhama de Almería (Fuente 2).

Th/U analyses of travertine-fossilized plant stems collected in the eastern EAC

Sample, elevation of sampling site, map unit	U (ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Age (ka)
T-7, 540 m, Qtd	0.72 ± 0.02	1.11 ± 0.03	70.5 ± 10.1	0.95 ± 0.03	276 ± 40
T-12, 385 m, Qlst	1.81 ± 0.04	1.01 ± 0.02	168 ± 25	0.97 ± 0.03	354 ± 76
T-13a, 325 m, Qt	1.30 ± 0.03	1.04 ± 0.03	101 ± 16	0.91 ± 0.03	248 ± 29
T-15, 310 m, Qtd	0.89 ± 0.02	1.04 ± 0.02	90.9 ± 12.2	0.94 ± 0.02	282 ± 34
BFC-1, 585 m, Mt	—	—	—	—	>350

Uncertainties are standard deviations derived from counting statistics. Samples T-*n* were collected near Alhama de Almería (Fig. 10). Sample B-1 was analyzed by Laboratorio de Radiochronologia del Instituto Jaume Almera, CSIC, Barcelona, Spain.

Los materiales travertínicos son explotados en canteras, de las que extraen bloques de rocas que son posteriormente transformados en láminas de diferentes

espesores que se utilizan en la construcción, especialmente en fachadas de casas, por sus colores diversos (21) (Figura 10).



Figura 10. Arriba a la izquierda, plataformas de travertinos que se forman en la margen oriental de la Sierra de Gádor; a la derecha, una de las canteras de las que se extraen los bloques de travertinos. Abajo, izquierda, fábrica de trasformación de los bloques en láminas; a la derecha, diferentes láminas de espesores y colores diversos, dependiendo del contenido en hierro de las aguas que han dado lugar a travertinos.

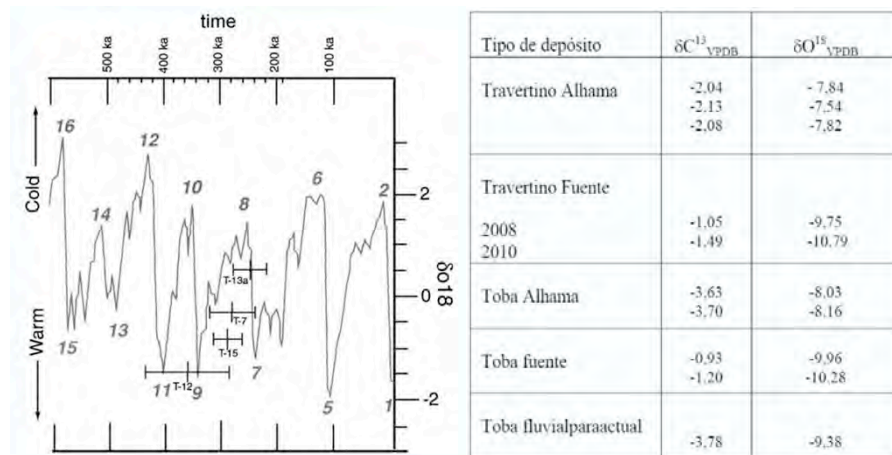


Figura 11. Interpretación paleoclimática de los análisis isotópicos de los travertinos (2).

Por su originalidad, destacar del interior de la galería, la presencia de unas incrustaciones blancas (Figura 12) que prácticamente se desacen al tocarlas, que tras su análisis por difracción de rayos X, ha resultado estar compuesta como principal mineral por la STARKEYITA que corresponde a la masa blanca antes comentada formada por sulfato de magnesio hidratado ($\text{Mg SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), especie mineral poco frecuente, además se encuentra como componente secundario, Yeso y como minerales accesorios Cuarzo y Blodita ($\text{Na}_2\text{Mg (SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), y trazas de MELANTERITA ($\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).



Figura 12. Eflorescencias de starkeyita en la galería de acceso a los sondeos del Balneario.

3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO. ORIGEN DE LA PRESENCIA DE LOS MANANTIALES APROVECHADOS EN LOS BAÑOS

En las inmediaciones del sector de Alhama de Almería, la principal formación acuífera la constituye el paquete carbonatado de edad triásica del manto de Gádor, que al oeste de Alhama muestra una potencia de acuífero saturado superior a 200 m, no conociéndose la profundidad a la que se encuentra la base impermeable del acuífero (filitas y cuarcitas permotriásicas), aunque se estima superior a 300 m. En la sierra de Gádor se han diferenciado ocho subunidades, situándose el Balneario en la de la vertiente norte. Las frecuentes fracturas y presencia de tramos menos permeables dan lugar a que el comportamiento hidráulico del acuífero sea heterogéneo, con saltos piezométricos bruscos, con valores de transmisividad distintos según las zonas y diversos grados de afección de unas captaciones a otras según se hallen en distinto o en el mismo bloque. En el tramo entre Canjáyar y Alhama no existe conexión entre el acuífero y el río Andarax, por efecto de la presencia de margas miocenas que sellan el acuífero dolomítico, de forma que el acuífero se descargaba en este contacto por galerías y manantiales, la mayoría de los cuales se han secado por efecto de los años de sequía y por incremento de los bombeos. En la

zona entre Alhama y Almería, el acuífero triásico, por el efecto de la erosión y de la tectónica, tiene un marcado funcionamiento en bloques acuíferos, entre los que existe escasa conexión. Los límites con las depresiones del Andarax y de Almería son las fallas de borde de la Sierra, aunque en el área de Viator -Huercal de Almería se capta el acuífero debajo de la cobertera terciaria. En el sector de Alhama, las cotas piezométricas pueden oscilar entre 280 y 350 m (Figura 13).

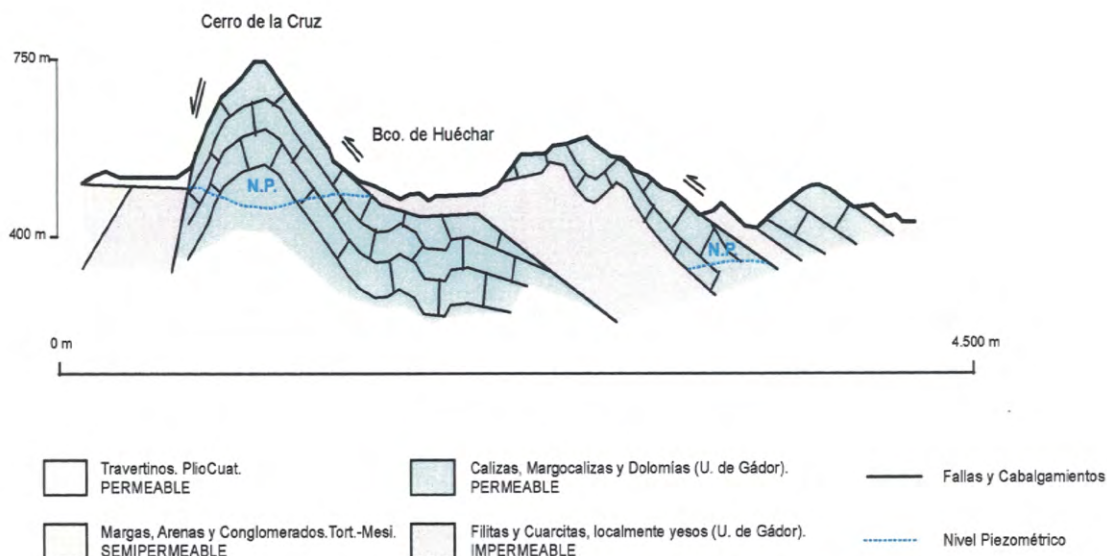


Figura 13. Corte hidrogeológico de la Sierra de Gádor (sector de Alhama de Almería) (14).

En su estado inicial, el acuífero se descargaba en su borde con la depresión terciaria, por una serie de manantiales, como pone de relieve la existencia de formación de travertinos en Alhama, como se ha descrito anteriormente. Entre estos manantiales estaban los baños de Alicún, hoy secos, y los baños de Alhama, que originariamente era un manantial. Con el paso del tiempo, debido fundamentalmente a la extracción de agua en el sector, estos manantiales se han ido secado, como sucedió con el manantial-galería aprovechado por el Balneario, lo que hizo necesario, primeramente, construir un pozo en el fondo de la galería, y posteriormente, a finales de los sesenta o principio de los setenta del pasado siglo XX, realizar varios sondeos en el entorno de la galería primitiva, cuyas características se han descritos anteriormente.

La descarga del acuífero carbonatado en el Alto Andarax (tramo Laujar-Alhama) se produce por manantiales situados por encima o en el mismo cauce del río Andarax, y drenajes subterráneos ocultos. A estas salidas hay que añadir las que se realizan artificialmente por captaciones subterráneas que se sitúan a lo largo y ancho de toda la sierra (Figura 14).



Figura 14. Casetas, en cuyo interior se sitúa uno de los numerosos pozos ubicados en el acuífero.

La recarga de las formaciones acuíferas se produce por infiltración directa del agua procedente de la lluvia y localmente por infiltración de la escorrentía superficial de Sierra Nevada al atravesar afloramientos carbonatados en Sierra de Beires.

En el sector de la Sierra de Gado, con las muestras tomadas el 16 de noviembre de 2011 (Fuente: CEDEX y TECO S.L.), en los sondeos de abastecimiento al Ayuntamiento de Alhama de Almería, a la Comunidad de Regantes de Huécija, situado al oeste de Alhama y al suroeste de Huécijar, y al sondeo número 14 del Balneario, se ha estimado, empleando el ^{18}O y 2H , que la recarga se origina entre las cotas 1200 y 1600 m s.n.m.; y que la edad del agua, datada con C^{14} , puede estimarse en 16.649 ± 314 años.

Se ha dispuesto del inventario de puntos realizado por la Propiedad (12,13, 14 y 15) y de los disponibles en en la Base de puntos de agua del Instituto Geológico y Minero de España. De esos inventarios se han seleccionado los puntos que se recogen en la tabla 3 y en la figura 15, agrupados por sectores homogéneos.

La tabla, entre otra información, refleja que los niveles piezométricos, abarca un abanico de valores que se sitúa entre la cota 247.54 m s.n.m. en el sondeo de Huechar y los 410 m s.n.m. en el sondeo Humbrión.

Tabla 3. Inventario de puntos de agua del entorno de Alhama de Almería.

Sectores homogéneos	Denominación	X	Y	Z	Profundidad del agua	N. P. (m s.n.m)
S-1	Ayuntamiento	538.035	4.090.543	549,23	163,25	385,25
S-2	El Sillero	538.224	4.090.431	526,54	147,52	379,02
S-2	San Marcos	538.200	4.090.455	532,78	155,52	377,16
S-2	El Niño	538.200	4.090.602	509,28	122,22	387,06
S-2	Cementerio	537.837	4.090.644	545	155,77	389,23
S-3	La Tara	536.777	4.090.398	558,00	176,50	381,50
S-3	Terque1	537.163	4.090.486	550,00	224,00	326,00
S-3	Humbrión 1	536.299	4.090.282	603,00	220,00	383,00
S-3	Humbrión 2	536.512	4.090.210	650,00	240,00	410,00
S-3	Humbrión 3	535.811	4.090.39	635,00	240,00	395,00
S-4	San Isidro	535.143	4.090.639	535,00	135,00	400,00
S-4	SAT 282	535.139	4.090.588	550,00	150,00	400,00
S-4	C. Conservación	534.767	4.090.875	522,00	129,61	392,39
S-4	Los Molinicos	534.091	4.091.137	510,00	123,11	386,89
S-4	La Mejora	533.254	4.092.675	450,00	70,00	380,00
S-5	Abastecimiento Alhama	537.332	4.089.290	528,00	147,00	381,00
S-6	Huéchar	539.941	4.089.080	345,00	97,46	247,54

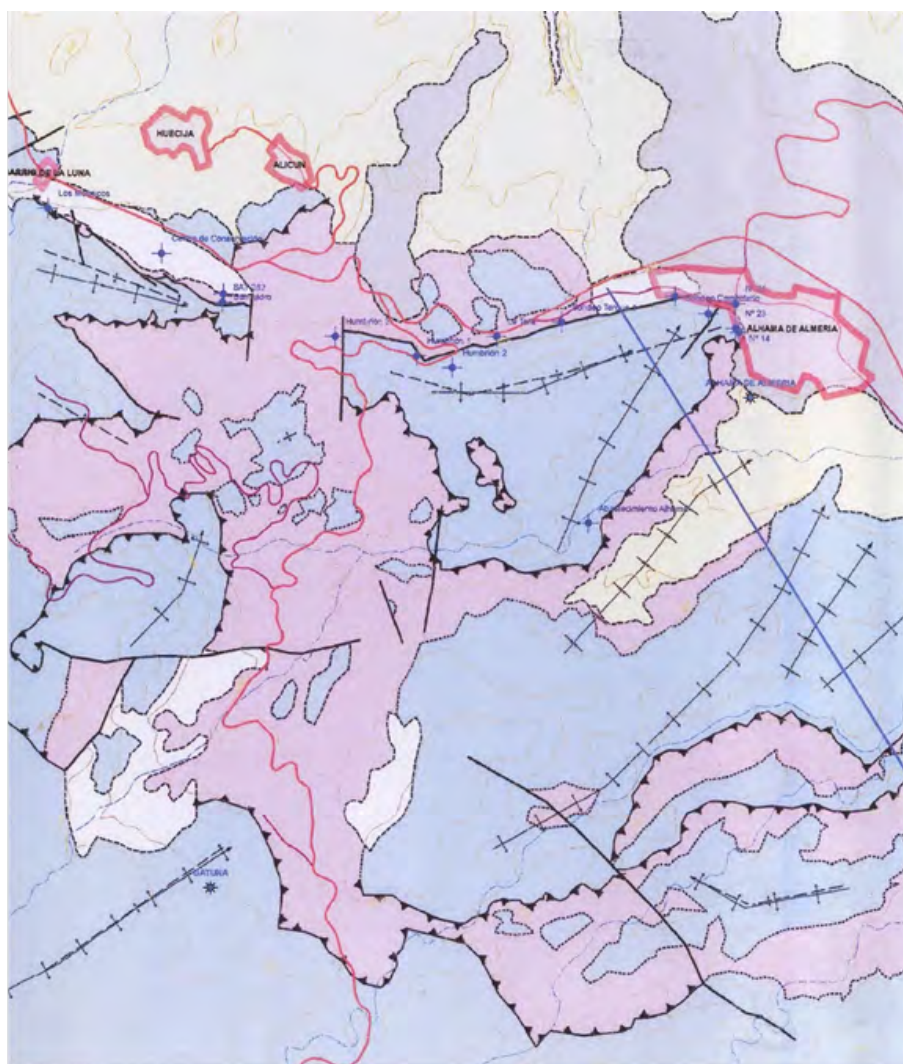


Figura 15. Mapa hidrogeológico del entorno de Alhama de Almería, y ubicación de los puntos de agua recogidos en la tabla 3 (10).

4. COMPOSICIÓN FISCOQUÍMICA Y TEMPERATURA DE LAS AGUAS. SU ORIGEN

Las aguas que discurren por el acuífero tienen su origen en las aguas de lluvia que se infiltran y llegan al acuífero, adquiriendo a lo largo de su trayectoria, hasta salir a la superficie, una composición físico-química (7, 16, 17, 18) que dependa de las características litológicas de los terrenos por los que ha circulado, acompañada de una temperatura, que dependerá del gradiente geotérmico adquirido de forma natural, o acompañada de cierta anomalía térmica tras circular a una profundidad importante, favorecido por las fallas existentes. Esta anomalía, respecto al valor natural, favorece su aprovechamiento como agua termal, además de mineromedicinal (Figura 16).

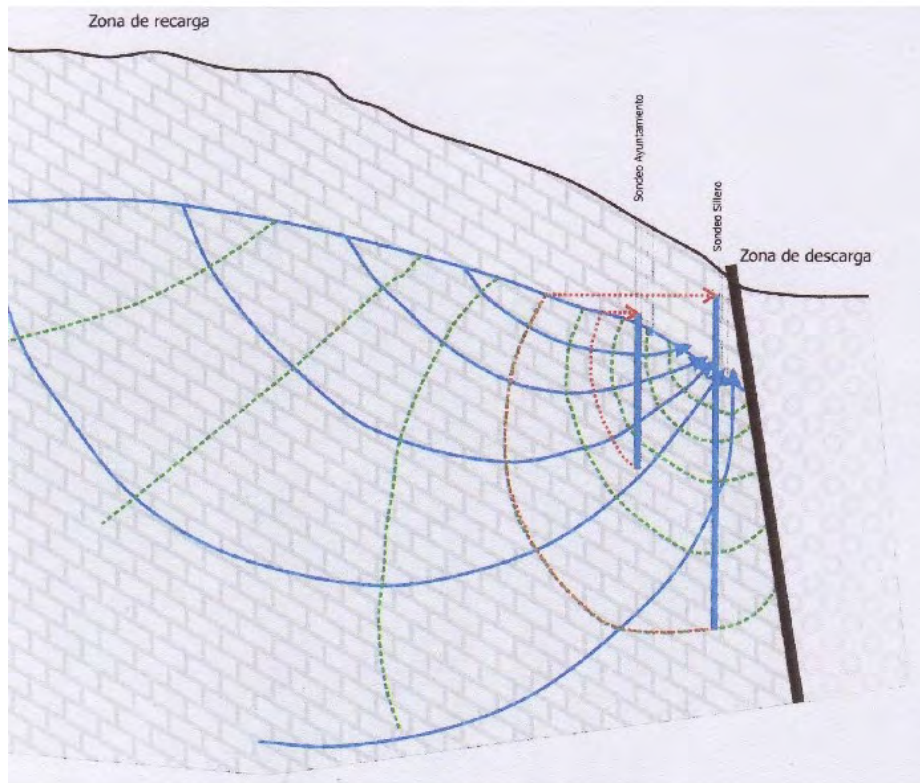


Figura 16. Trayectoria de las Líneas de flujo en el entorno de la zona de descarga del acuífero

En el caso de las aguas del Balneario de San Nicolás, la presencia, en la serie estratigráfica alpujárride de intercalaciones yesíferas, permite explicar el contenido en sulfatos, más elevado que el habitual en otros acuíferos carbonáticos. Los análisis disponibles ponen en evidencia una modesta mineralización, con una facies sulfatada o bicarbonatada-sulfatada y cierta radioactividad (Tabla 4).

Tabla 4. Composición fisicoquímica de las aguas de los sondeos de suministro al Balneario y su entorno.

Parámetros	SONDEO 23 (1)	SONDEO 31 (1)	SONDEO 14 (2)	AYTO.ALHAM A (2)	SONDEO Balsa (2)	ADARÓ 1990
Conductividad (20° C)	906	813				
Residuo Seco (180°)	672,4	602,				
pH	7,23	7,52				
Cl mg/L	24	18	23	13	13	21
SO ₄ mg/L	262	206	257	224	235	247
CO ₃ H mg/L	298	285				279

F mg/L	1,5	1,6	1,38	1,15	1,05	1,5
SiO ₂ mg/L	27,8	29,5				15,5 y 25 (in situ)
Radioactividad α total (Bq/L)	1,366±0,150	2,265±0,193				
Radioactividad β total (Bq/L)	0,256±0,62	1,066±0,86				
Tritio (UT)			0,00+-0,2	0,28+-0,22	0,14+-0,21	
Deuterio ‰			-57,74	-56,38	-58,48	
O-18 ‰			-9,10	-9,10	-8,95	
mg/L	SONDEO 23 (1)	SONDEO 31 (2)	SONDEO 14 (2)	AYTA. ALHAMA (2)	SONDEO Balsa (2)	ADARÓ 1990
Na	26	20	23,1	10	10,6	19
K	3	3	3,4	1,8	1,8	2
Ca	120	111	100,8	112,1	118,1	123
Mg	53	42	50,7	60,2	63,1	46
Fe	48	209				
Mn	10	10				
As	23	53				
B	72	77				
Ba	46,8	54,1				
Li			0,08	0,02	0,02	
(1) Muestras analizadas en los laboratorios IGME (Fecha ensayo: 19/07/2010-23/08/2010), y (2) en el CEDEX (Fecha 16/11/2011) (14)						

En cuanto a las facies químicas de las aguas (8), en dicho estudio, se concluye, comparando muestras de distintas fechas años 1969, 1972, 1975 y 1990, que dentro de la homogeneidad que presentan los diferentes análisis, las variaciones más importantes corresponden al ión $SO_4^{=}$. La justificación a las importantes variaciones en el contenido de $SO_4^{=}$ en un agua de origen profundo, probablemente radica en que los yesos sólo aparecen hacia el final del circuito de salida, lo que a su vez justificaría que

la mineralización se mantenga en un nivel moderado (872 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Según los datos aportados por el análisis de 1990 (Cuadro 4), el agua resulta sulfatada-bicarbonatada cálcica, pero en los análisis anteriores aparece como bicarbonatada sulfatada. Estas variaciones se justifican por estar relacionadas con facies evaporíticas -yesos- sobre el agua. En esta comparación, se indica que en acuíferos carbonatados con cierta influencia evaporítica, la relación $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 + \text{SO}_4 / \text{Ca} + \text{Mg}$ es muy próxima a la unidad (0,98); no así las que resultan características de facies calizo-dolomíticas ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3/\text{Ca} = 0,74$; $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3/\text{Ca} + \text{Mg} = 0,46$) o propiamente evaporíticas ($\text{SO}_4/\text{Ca} = 0,84$, $\text{Cl}/\text{Na} = 0,72$).

La temperatura de surgencia en el sector de Alhama de Almería es de 40°C y viene explicada por el emplazamiento de la surgencia, directamente sobre las dolomías y muy cerca de la Falla Alhama-Illar. Teniendo en cuenta la definición de grado geotérmico, 3°C por cada 100 m, en el sector de Alhama no se justificaría la temperatura de surgencia (55°C), probablemente la profundidad alcanzada por el almacén triásico de la Unidad de Gádor no sea suficiente (teniendo en cuenta que aquí la potencia de la serie carbonatada es mucho menor), aunque podría seguirse aduciendo un simple calentamiento por grado geotérmico normal, dado que gracias a la existencia de la falla Alhama-Illar, es muy posible la circulación de aguas a través de la superficie de la misma y a profundidad suficiente, sin necesidad de apelar a la comunicación con otros acuíferos más profundos. Un indicador que puede ayudar a contribuir a explicar el porqué de una temperatura mayor, es la presencia de SiO_2 . En la campaña realizada en el muestro de 1990 (Tabla 4), se observa que existe cierta discrepancia entre las determinaciones de campo (in situ) y laboratorio de SiO_2 : 24 y 15,3 mg/L respectivamente. En principio se considera correcto el valor de campo, más coherente con la temperatura de salida, 40°C, y con los valores de otros análisis realizados más recientes como se recogen en la tabla 4. Esto se justifica por la circulación a través de la falla Alhama-Illar, que posibilita un circuito suficientemente profundo como para alcanzar esta temperatura.

Por último, es interesante destacar el elevado contenido de zinc de la muestra: 5,5 mg/l. Si bien no alcanza valores tan altos, el Pb y el Mn con concentraciones de 15 y 197 $\mu\text{g}/\text{L}$. A la vista de estos resultados es razonable suponer que el agua haya estado en contacto con niveles mineralizados. También es importante el contenido de flúor de la muestra: 1,5 mg/l.

En la figura 17, en la que recoge los datos resultantes del reconocimiento videográfico (3), se observa la variación de la temperatura en los tres sondeos de abastecimiento al Balneario (3). Se refleja como aumenta la temperatura en función de la profundidad y la correlación entre los tres sondeos. La temperatura entre la cota 400 m s.n.m. y los 300 m s.n.m., en el sondeo 14 alcanza casi los 50 °C (unos 49°C), especialmente en la zona más profunda del sondeo, en la que se sitúan más fracturas.

Esta temperatura es muy similar, aunque un poco más baja, en el sondeo 23, situado también en la galería y muy próximo al 13. Difiere algo, la temperatura en el sondeo 31, pero siempre por encima de los 40°C. En general se ve que existe una relación entre la profundidad, las fracturas detectadas a lo largo de los sondeos, el tipo de material (dolomías con pequeñas pasadas de muy poca potencia de calcoesquistos) y la presencia de aguas con más temperatura.

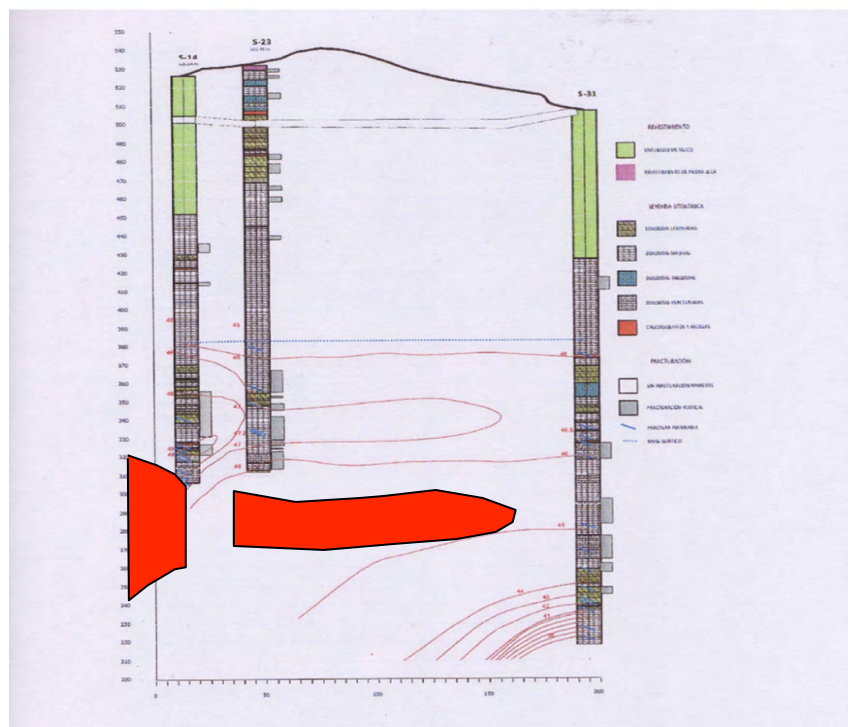


Figura 17. Isotermas en los sondeos del Balneario, mediante reconocimiento videográfico

5. PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CAPTADAS

La legislación vigente en materia de aguas minero-medicinales (Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, Reglamento General para el régimen de la minería, agosto 1975 y Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, Reglamento; Real Decreto 1798/2010 de 30 de diciembre), define una figura de protección denominada “Perímetros de Protección”, cuyo objetivo principal, es proteger las aguas que se capten para su aprovechamiento en el balneario, de otros aprovechamientos irregulares, que puedan afectarlo, y de la contaminación que pudiera producirse por actividades (residuos sólidos y líquidos, ganadería, agricultura o industria, entre otras posibles) que pudieran llevarse a cabo en su entorno más o menos inmediato o en la zona de influencia.

Los Baños de Alhama de Almería disponen de un perímetro de protección de las captaciones que abastecen al Balneario, cuya superficie abarca una parte del borde

nororiental de la Sierra de Gádor, en donde aflora la unidad alpujárride inferior o manto de Gádor, rodeada por un contacto de cabalgamiento del manto de Félix. Paralelamente se protege la red de agua superficial que circula por las inmediaciones del grupo de pozos.

El perímetro del Balneario de Alhama de Almería, viene definido por las coordenadas, recogidas en el Tabla 5.

Tabla 5. Coordenadas que delimitan el perímetro de protección del sondeo El Sillero.		
VERTICE	COORDENADA X	COORDENADA Y
PP	538.177	4.091.055
2	536.439	4.090.677
3	535.230	4.090.889
4	535.034	4.089.277
5	535.502	4.87.368
6	538.600	4.089.763
	538.984	4.090.578



Figura 18. Poligonal que define el perímetro de protección de las captaciones del Balneario.

6. CONCLUSIONES

Las aguas del Balneario de San Nicolás (Alhama de Almería, sur de España) fueron reconocidas como mineromedicinales en la Gaceta de Madrid de 26 de abril de 1928 (Decreto-ley 743/28). Sus características (escasa mineralización, cierta radioactividad, contenido en SiO₂ y sulfatos, además de su temperatura, superior a 40º C) indican un circuito de alimentación profunda con un tiempo de tránsito elevado en el acuífero carbonático de los mármoles triásicos de la Sierra de Gádor. En la actualidad, las aguas tienen que ser elevadas desde el acuífero mediante una serie de pozos verticales, dos situados en una galería horizontal. Antiguamente, las aguas surgían de manera natural en un manantial, que daba lugar, junto a otros alineados a lo largo de una serie de fallas del borde septentrional de la sierra de Gádor, a una serie de plataformas travertínicas de notable desarrollo. El descenso del nivel freático se ha debido a causas naturales (terremoto de año 1552) y a la intensa explotación en los últimos años en su entorno mediante sondeos profundos.

7. RECOMENDACIONES

Las aguas captadas para el suministro del agua al Balneario se sitúan en el núcleo urbano de Alhama de Almería, donde las actividades propias de la población pueden afectar a dichas aguas. Actividades como pueden ser los residuos urbanos y las aguas residuales urbanas o industriales. Estas y otras posibles fuentes de contaminación, originan cierta fragilidad al Balneario, para cuya protección se recomiendan las siguientes actuaciones:

Hacer un seguimiento periódico de la eficacia del perímetro de protección actualmente existente, de cara a evitar mayores descensos del nivel piezométrico en el entorno del Balneario y al mantenimiento de la calidad fisicoquímica de sus aguas.

Controlar las actividades potencialmente contaminantes en la zona de recarga, protegiendo adecuadamente las captaciones existentes (sondeos y galerías), así como controlando el estado de las conducciones hasta las instalaciones del Balneario, cuya traza se desarrolla a través del núcleo urbano.

Monitorizar convenientemente las captaciones existentes, con un seguimiento continuo de los parámetros más importantes (caudal, conductividad eléctrica, temperatura), y analizar periódicamente la composición de las aguas, efectuando un seguimiento científico-técnico periódico de las aguas subterráneas del Balneario y del entorno.

8. REFERENCIAS

1. Cara, L. y Rodríguez, J.M. (1992): Hallazgo de una escultura romana en las proximidades del manantial de aguas termales de Alhama de Almería. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Hª Antigua*, t. V, pp. 401-420.
2. García, A.F., Zhu, Z., Ku, T.L., Sanz de Galdeano, C., Chadwick, O.A. y Chacón Montero, J. (2003): Tectonically driven landscape development within the Eastern Alpujarran Corridor, Betic Cordillera, SE Spain (Almería). *Geomorphology*, 50, 83-110.
3. García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martínez-Martínez y Cueto, N. (2012): Sedimentary structures and physical properties in travertine and carbonate tufa building stone. *Construction & Building Materials*, 28, 456-467.
4. García-del-Cura, M.A., la Iglesia, A., Ordoñez, S., Sanz-Montero, M.E. y Benavente, D. (2008): Óxidos de hierro y manganeso en travertinos de Alhama de Almería. *Macla*, 9, 1555-1558.
5. García-del-Cura, M.A., Sanz-Montero, M.E., Benavente, D., Martínez-Martínez, J., Bernabéu, A. y Cueto, N. (2008): Sistemas travertínicos de Alhama de Almería: características petrográficas y petrofísicas. *Geo-Temas*, 10, 1555-1558.
6. García-del-Cura, M.A., Sanz-Montero, M.E., De los Ríos, A., Wierzchos, J. y Ascaso, C. (2010): Diversidad mineralógica en biofilms asociados a surgencias de aguas carbonatadas sulfatadas (Almería). *Macla*, 13, 93-94.
7. García-del-Cura, M.A., Sanz-Montero, M.E., De-los-Ríos, M.A. y Ascaso, C. (2012): Biofilms, texturas y composición isotópica de travertinos actuales y fósiles, Alhama de Almería-Alicún (Provincia de Almería). *Geo-Temas*, 13, 84-87.
8. IGME. 1990-91. Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Estudio de detalle de la provincia de Almería. Tomo I.
9. Amate, M^o Carmen (sin indicar). Sobre los nombres de Alhama: memoria e historia. *El Eco de Alhama*, n^o 9.
10. Martínez Sampedro, M.D. y García Pardo, M. (1997): Notas sobre los baños de Alhama de Almería. En: *Termalismo Antiguo*. M.J. Perez Agorreta, Ed. 541-544. UNED-CV Casa de Velázquez. Madrid.
11. Olivera Serrano (1995): *La actividad sísmica en el reino de Granada (1487-1531)*, Estudio histórico y documentos.

12. PROPIEDAD. 2009 a: Estudio hidrogeológico y propuesta de protección de las aguas termales del pozo nº 23 del Balneario de San Nicolás de Alhama de Almería.
13. PROPIEDAD. 2009 b: Estudio hidrogeológico y propuesta de protección de las aguas termales del pozo nº 31 del Balneario de San Nicolás de Alhama de Almería.
14. PROPIEDAD. 2010: Estudio hidrogeológico del sondeo 14, el Sillero, del Balneario de San Nicolás. Alhama de Almería (Almería).
15. PROPIEDAD. 2011: Adenda Estudio hidrogeológico del sondeo 11, el Sillero, del Balneario de San Nicolás. Alhama de Almería (Almería).
16. Sánchez Martos, F., Pulido Bosch, A. y Calaforra, J. (1999): Hydrogeochemical processes in an arid region of Europe (Almería, SE Spain). *Applied Geochemistry*, 14, 735-745.
17. Sánchez Martos, F., Pulido Bosch, A., Molina-Sánchez, L. y Vallejos-Izquierdo, A. (2002): Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions (Lower Andarax, Southeast Spain). *The Science of the Total Environment*, 297, 43-58.
18. Sánchez Martos, F., Pulido Bosch, A., Vallejos, A., Molina, L. y Gisbert, J. (2004): Rasgos hidrogeoquímicos de las aguas termales en los acuíferos carbonatados del Bajo Andarax (Almería). *Geogaceta*, 35, 171-174.
19. Sanz de Galdeano, C. (1985): Estructura del borde oriental de la Sierra de Gádor (zona Alpujarride, Cordilleras Béticas). *Acta Geológica Hispánica*, 20, 145-154.
20. Voersman, F. y Baena, J. (1983): *Mapa geológico de España escala 1:50.000. Hoja 1.044*, Alhama de Almería. Mapa y Memoria. 40 pp. IGME, Madrid.
21. García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martínez-Martínez, J. and Ordoñez, S. (2017). Travertinos coloreados en la Cordillera Bética (SE de la península Ibérica). Situación geológica y características petrofísicas. *Boletín Geológico y Minero*, 128 (2). 467-483.