

GRANADA



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Instituto Geológico
y Minero de España

Diputación
de Granada
Avanzamos juntos

HIDROGE⁵DÍA
2022



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE)

¡PARTICIPA!

27 de marzo 2022
**ARQUITECTURA DE AGUA
EL BALNEARIO DE ALICÚN Y EL
ACUEDUCTO DEL TORIL**

COLABORAN:





EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (rama de la geología que estudia las aguas subterráneas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), que se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), y ha sido organizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC) y la Diputación Provincial de Granada en el marco del Convenio de Colaboración existente entre ambos organismos, con la colaboración de: Geoparque de Granada, Instituto del Agua de la Universidad de Granada, Conoce Tus Fuentes, Universidad de Jaén, Balneario de Alicún de las Torres y AQUAconsultores. La jornada consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por especialistas en hidrogeología y otras especialidades.

En la provincia de Granada, el Hidrogeodía 2022 se celebra en **el entorno de los manantiales termales de Alicún de las Torres**. Se llevará a cabo una visita guiada por la ruta de los manantiales y el Acueducto del Toril. Se han previsto 7 paradas temáticas desde las que se podrán observar:

- 1) **Los manantiales termales de Alicún de las Torres.**
- 2) **Vista general del valle del Fardes y de la Depresión de Guadix**
- 3) **Plataforma superior de travertinos y dólmenes sobre la misma.**

- 4) **El Acueducto del Toril, plataformas intermedia e inferior de travertinos y dolmenes sobre la plataforma intermedia.**

ITINERARIO

El punto de partida será el aparcamiento del Balneario de Alicún de las Torres. El itinerario se hará a pie siguiendo las distintas paradas previstas, donde diferentes guías especialistas realizarán las explicaciones.



Figura 1. Punto de encuentro en aparcamiento del Balneario.

Recepción. La organización de los grupos y de los horarios de la ruta se realizará en una zona cercana a los aparcamientos principales, junto a la entrada a la piscina exterior del balneario.

Parada 1. Se visitará una de las surgencias de agua subterránea localizada cerca del balneario denominada la Fuente de la Magnesia. Allí se dará una primera explicación sobre los aspectos históricos del Balneario de Alicún y se explicará la relación de las fallas con el nacimiento del agua en esta zona.

Parada 2. Consistirá en una ruta por una zona llana y elevada constituida por

travertinos (rocas formadas por la precipitación de carbonato cálcico sobre restos de plantas), donde se explicará la geología general de la Cuenca de Guadix-Baza y el origen de la surgencia de los manantiales de Alicún de las Torres.



Figura 2. Muro formado por los crecimientos de carbonato cálcico asociados al acueducto del Toril que crecen sobre la plataforma intermedia de travertinos. Detrás, a la izquierda de los pinos se observa la plataforma inferior de travertinos y, en primer término, la plataforma superior desde donde se ha realizado la fotografía.

Se visitarán los dólmenes de la plataforma superior y una rápida introducción al contexto prehistórico de la zona.

Parada 3. Desde uno de los miradores situados en la plataforma superior de travertinos se explicarán aspectos relacionados con estas formaciones rocosas y sobre cuándo y cómo se formaron las tres plataformas que se observan.

La **Parada 4.** En esta parada se explicarán algunos aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos relacionados con las surgencias de agua termal que es aprovechada para uso terapéutico en el balneario. Se explicarán aspectos relacionados con la procedencia del agua, la forma en la que ha circulado por los acuíferos y la adquisición de sales durante su recorrido, que han dado lugar a sus especiales características, a la construcción de los edificios travertínicos asociados y al muro que constituye el acueducto.



Figura 3. Recorrido a realizar y situación de las paradas.

Se continuará el recorrido a lo largo de la muralla natural de carbonato cálcico que ha construido el agua que circula por el acueducto, hasta llegar al punto de inicio de la misma donde se realizará la siguiente parada.

Parada 5. En esta parada se podrán observar los crecimientos de carbonato cálcico asociados al acueducto y que le proporcionan su morfología característica similar a una muralla que nos acompañarán durante buena parte del trayecto. Se realizará una explicación sobre el Acueducto del Toril, su significado, edad y forma en la que ha crecido a lo largo del tiempo.



Figura 4. Precipitación de carbonato cálcico en las paredes del acueducto del Toril fosilizando las plantas que las recubren.

El crecimiento vegetal en los muros hace que se forme un auténtico jardín vertical. En esta parada también se explicarán los tipos de plantas que crecen en las paredes y los endemismos existentes.

Parada 6. Dólmenes inferiores. En esta zona situada junto al Acueducto del Toril se encuentran varios de los dólmenes de mayor tamaño. Se explicarán aspectos relativos a su uso como zonas de enterramiento colectivo.

Parada 7. Tendrá como objetivo el Acueducto del Toril en su parte final donde se podrá observar la denominada cascada verde, que debe su nombre a crecimientos de algas que producen precipitaciones de

carbonatos de llamativo color verdoso. Aquí también se podrán observar los tramos fósiles del acueducto y se hablará sobre su significado.

Finalmente se recorrerán los pasillos que dejan los tramos activos y fósiles de los canales para finalmente volver hacia el punto inicial de encuentro.



Figura 5. Distintos crecimientos travertínicos asociados a los canales del Acueducto del Toril.



Figura 6. La Cascada verde. Su característico color se debe a crecimientos de algas en la base del canal.

LA DEPRESIÓN DE GUADIX-BAZA

El manantial de Alicún de las Torres se localiza en la parte occidental de la Depresión de Guadix-Baza. Esta Cuenca es una depresión intramontañosa de origen tectónico que quedó individualizada en el sector central de la Cordillera Bética durante el Mioceno superior (hace unos 8 m.a.). Entre los sedimentos continentales predominan los asociados a sistemas fluviales (ríos) procedentes de los relieves circundantes en la parte occidental de la cuenca, y sedimentos depositados en un gran lago en la parte oriental. Estos sedimentos continentales tienen una edad comprendida entre 6 m.a. y

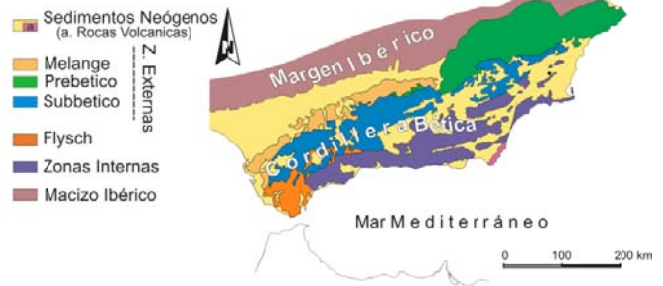


Figura 7. Dominios geológicos de la Cordillera Bética.

0,5 m.a.

Dentro de los sedimentos fluviales es posible distinguir cantos procedentes de las rocas que forman los relieves subbéticos (zonas externas de la cordillera; situadas al Norte) así como cantos de rocas metamórficas pertenecientes a los relieves Béticos de Sierra Nevada y Sierra de Baza (zonas internas; situadas al Sur).

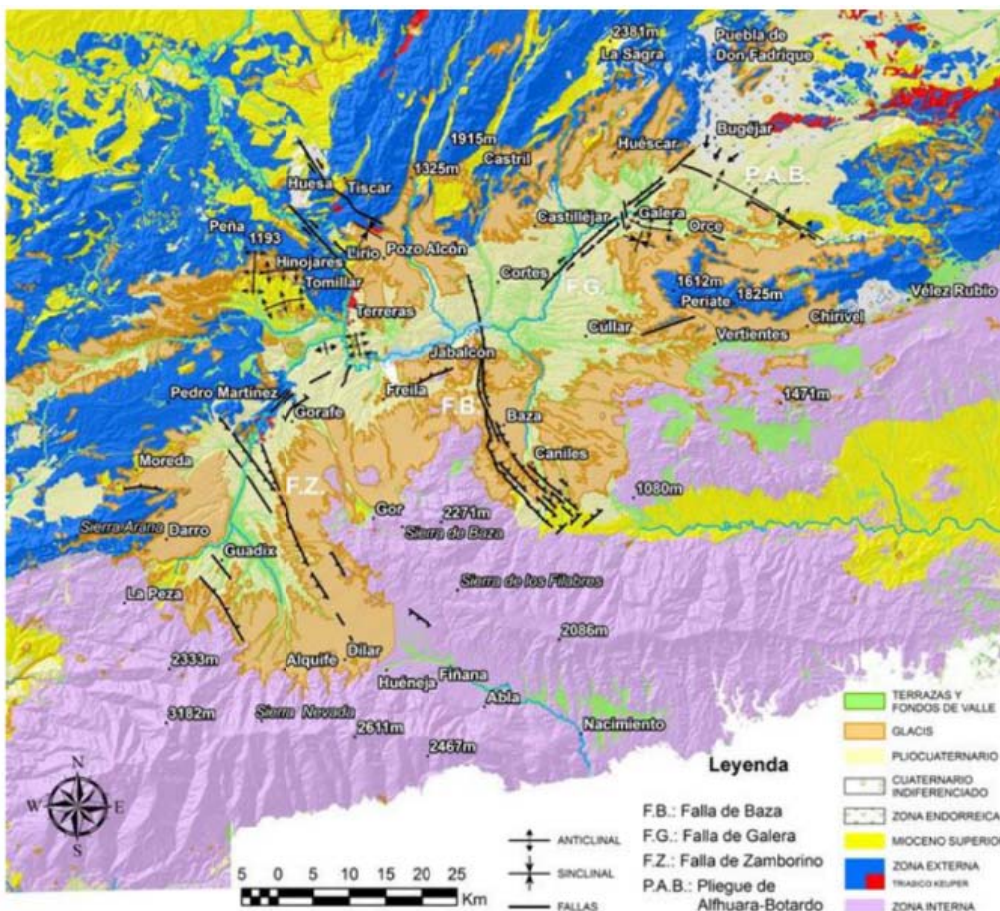


Figura 8. Contexto geológico de la Depresión de Guadix-Baza (García Tortosa et al., 2008)

El relieve actual de la Cuenca de Guadix-Baza está caracterizado por una intensa actividad erosiva, que ha dado lugar a la formación de multitud de barrancos y a un paisaje muy característico denominado *badlands*. Este proceso erosivo es consecuencia del cambio en la dinámica fluvial que se produjo hace unos 0,5 m.a. (Pleistoceno medio). En ese periodo, el drenaje de los ríos pasó de ser de tipo endorreico a exorreico, es decir, los ríos

dejaron de desembocar en un gran lago localizado en la parte oriental de la cuenca para hacerlo en el Océano Atlántico, como lo hacen hoy día, al conectarse con la cuenca hidrográfica del Guadalquivir.

Durante el tiempo en el que se depositaron los sedimentos cuaternarios quedaron fosilizados en los mismos restos de la fauna de macromamíferos que caracterizan el Cuaternario. Hoy día se conocen más de 150 yacimientos de estos fósiles dispersos por toda la depresión.

La erosión posterior que ha generado el paisaje actual nos ha permitido descubrir muchos de ellos, algunos actualmente en estudio. Este hecho ha convertido a esta zona en uno de los mejores conjuntos de yacimientos paleontológicos de megafauna del mundo, que incluye también a los restos humanos más antiguos de Europa occidental.

manantiales termales pero con mucho menor caudal y menor temperatura del agua.

El caudal drenado por el conjunto de manantiales termales del Cerro de la Raja es



Figura 9. Sedimentos de relleno de la cuenca de Guadix intensamente erosionados (badlands). Los tonos asalmonados corresponden a sedimentos fluviales transportados por los ríos subbéticos, los anaranjados a los transportados por los ríos Béticos y los grisáceos a sedimentos de tipo palustre y lacustre depositados bajo lámina de agua.

EL MANANTIAL DE ALICÚN DE LAS TORRES

En el borde norte de la parte occidental de la cuenca de Guadix-Baza, aparece un conjunto aislado de relieves carbonatados de edad jurásica parcialmente recubiertos por sedimentos más recientes (neógenos y cuaternarios).

El conjunto de afloramientos alcanza una superficie de unos 17 km². El de mayor superficie es el Cerro del Mencal, que se caracteriza, como la mayoría de ellos, por la inexistencia de manantiales asociados. La excepción es el Cerro de la Raja, de tan solo 0,4 km² de extensión, donde se localizan los manantiales



Figura 10. Afloramiento de carbonatos jurásicos del Cerro de la Raja, surgencias de aguas termales asociadas, plataformas de travertinos y Acequia del Toril.

termales de Alicún de las Torres, y el Cerro de Alicún, donde hay

el dato peor conocido, pues nunca ha existido un control sistemático. Los distintos trabajos consultados citan caudales medios de 80-90 l/s, pero se desconoce su evolución temporal.

Las características físico-químicas e isotópicas de las aguas han sido mucho más estudiadas. Las aguas termales de los Baños de Alicún son sulfatadas cálcico-magnésicas, con un

procedentes de acuíferos más superficiales.

Los análisis de los isótopos del hidrógeno y del oxígeno del agua nos indican que el agua del manantial se corresponde con aguas infiltradas a cotas de unos 1400 m de altitud. Este dato es coherente con el hecho de que el agua se infiltre en los relieves carbonatados de la zona occidental de la Sierra de Baza, pero también en otros relieves subbéticos.

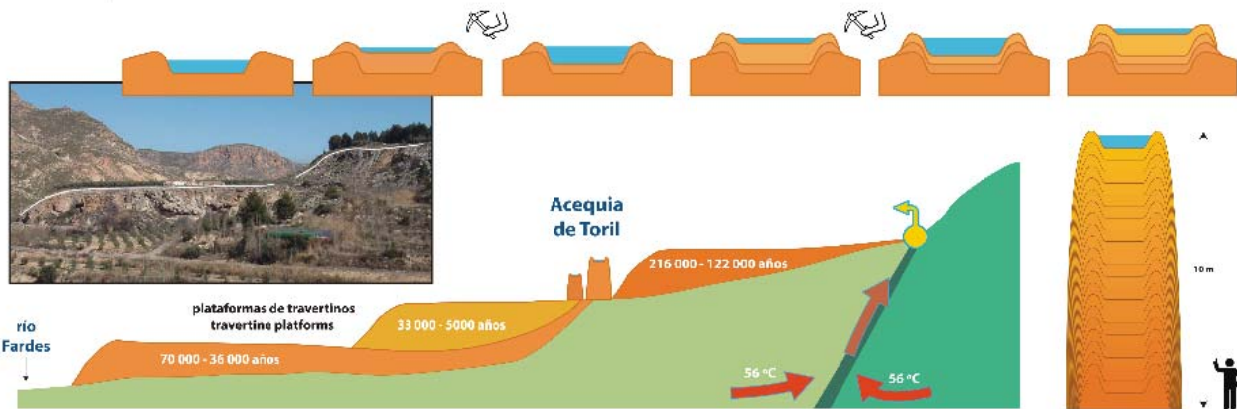


Figura 11. Modelo de crecimiento de precipitados de carbonato cálcico en el Acueducto del Toril y en las plataformas de travertinos asociadas a los Baños de Alicún.

elevado contenido en sulfato (900-1100 mg/l), de 80-90 mg/l en cloruro y 1950 mg/l de sales disueltas.

El estudio de la evolución del agua en los acuíferos circundantes sugiere la relación de esta surgencia con el acuífero de la Sierra de Baza, área donde se infiltraron originalmente las aguas que luego surgen por el manantial, pero este origen aún está en discusión.

La temperatura del agua en los manantiales es de 33-34°C. Sin embargo, gracias a la modelización de fases de los minerales disueltos sabemos que la temperatura del agua en el reservorio del que procede es de 53-58°C, por lo que el agua ha circulado a unos 600-800 m de profundidad. Su enfriamiento se produce durante el ascenso hacia la superficie y debido a su mezcla con otras aguas

Además, indican que el agua procede fundamentalmente de agua de lluvia de frentes de origen Atlántico. Estos datos también ponen de manifiesto la inexistencia de variaciones estacionales del caudal

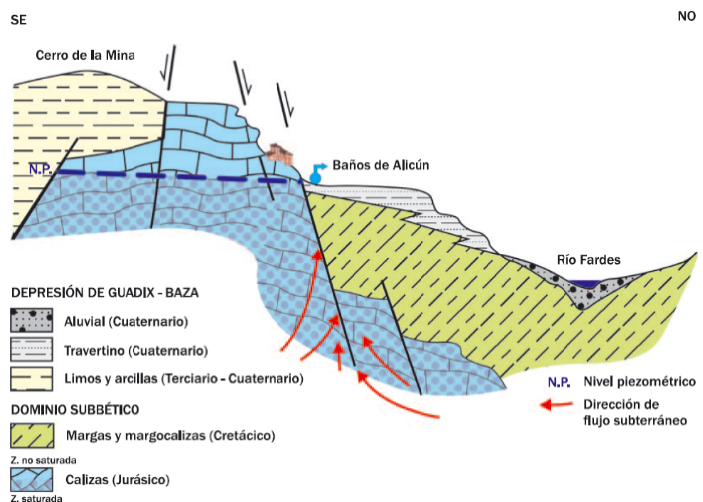


Figura 12. Esquema de funcionamiento hidrogeológico del manantial de Alicún de las Torres (modificado de Diputación de Granada-IGME, 2006).

drenado por el manantial, lo que nos indicaría se trata de aguas confinadas, que circulan sometidas a presión bajo niveles impermeables, posiblemente de mucha antigüedad.

sales que lleva en disolución en forma de carbonato cálcico.

Estos precipitados se producen en zonas agitadas, donde el agua discurre con velocidad y la vegetación es abundante.



Figura 13. Acueducto del Toril y entorno de los Baños de Alicún. Al fondo el Cerro de la Raja. En primer término, la plataforma superior de travertinos

LAS PLATAFORMAS DE TRAVERTINOS

El agua termal empezó a manar en el Cerro de la Raja hace al menos 216.000 años y su evolución a lo largo del tiempo ha dado lugar a la formación de tres plataformas escalonadas formadas por precipitados de carbonato cálcico que previamente el agua llevaba en disolución. En el momento en el que las aguas del manantial de Alicún de las Torres surgen a la superficie, finalizando su largo viaje por el interior de la Tierra, se descomprimen y se enfrían. Esto provoca una pérdida del gas carbónico que llevan en disolución, un incremento en el pH y un desequilibrio en el grado de saturación en calcita. La consecuencia es que el agua se vuelve incrustante y precipita parte de las

Como consecuencia, los precipitados envuelven los tallos y ramas de las plantas fosilizándolas. El momento en el que se forman los cristales de calcita se puede datar gracias a que incorporan pequeñas cantidades de uranio, que es inestable y que se descompone siempre a un ritmo constante. Si se mide el producto de esta descomposición (el torio) en relación con el uranio que queda, se puede conocer la edad a la que se formaron estas plataformas de travertinos. Los estudios realizados han puesto de manifiesto que la plataforma que se encuentra más elevada tiene una edad comprendida entre 216.000 y 122.000 años. La estimación de la edad de la plataforma intermedia es más problemática, puesto que la acequia del Toril ha discurrido y discurre actualmente por su superficie, y pudo haber formado precipitados en la parte superficial de la plataforma mucho más modernos.

Los estudios más recientes proponen edades entre 25.000 y 5.000 años para la plataforma

intermedia, sin embargo, estudios previos le asignaron una edad entre 33.000 y 32.000 años. Teniendo esto en cuenta se puede asignar una edad de entre 33.000 y 5.000 años. En la plataforma inferior las dataciones son más coherentes, y dan edades entre 70.000 y 36.000 años. De todo esto pueden deducirse cambios en la localización de los puntos principales de surgencia a lo largo del tiempo. Posiblemente, la posición actual de los manantiales que dan lugar a los baños apareció hace unos 33.000 años, modificando las direcciones del flujo del agua en superficie y, por tanto, las zonas de crecimiento de las plataformas de travertinos. Esto explicaría por qué la terraza intermedia es más moderna que la inferior.

EL ACUEDUCTO DEL TORIL

Actualmente, buena parte del agua que surge por los manantiales termales es conducida por un acueducto, en un trayecto que discurre bajo la plataforma superior de travertinos y sobre la plataforma intermedia. Lo extraordinario de esta acequia es que inicialmente su toma estaba varios metros por debajo de su cota actual. Sin embargo, el paulatino crecimiento de carbonato cálcico en el cauce, consecuencia de las especiales características físico-químicas del agua, ha hecho que el acueducto se haya sobreelevado hasta casi nivelar el punto de toma, y que en algunas zonas se haya formado un muro de hasta 15 m de altura por encima del cual discurre actualmente el agua. Dicho muro, además de un acueducto construido por la naturaleza (el ser humano solo ha ayudado a su mantenimiento a lo largo de varios milenios) puede también considerarse un jardín vertical, pues la porosidad de la roca tobácea que lo forma permite que esté siempre empapado y que crezcan

comunidades de plantas perfectamente adaptadas a la salinidad y temperatura de estas aguas. Uno de los endemismos que crecen en este jardín vertical es el *Limonium Alicunense*, reconocible por sus pequeñas flores violáceas.



Figura 14. Crecimiento de comunidades vegetales en las paredes del Acueducto del Toril.



Figura 15. *Limonium Alicunense*, endemismo asociado al agua termal de los Baños de Alicun y al Acueducto del Toril. En cuanto a la edad a la que empezaron a desviarse las aguas por el acueducto, solo existen dataciones de los tramos fósiles, que aportaron edades comprendidas entre 3.660 y 2.660 años.

Por último, la utilidad del acueducto es todavía un misterio sin resolver. Debido a la elevada salinidad del agua no es apta su utilización en el regadío y tampoco existen restos arqueológicos en la zona final de los canales que aporte luz sobre un posible uso ceremonial



Figura 16. Tramo de acueducto fósil, que pudo funcionar como aliviadero o como un antiguo canal abandonado. El balneario fue declarado de utilidad

LOS BAÑOS DE ALICÚN

pública el 20 de julio de 1869 y publicado en la Gaceta de Madrid en 1870. Sin embargo, se ha documentado el uso de sus aguas desde el siglo III y su continuación durante la etapa musulmana. En este primer periodo, las instalaciones existentes se limitarían a una alberca al aire libre. Hasta el siglo XVIII el balneario se mantuvo en periodo de semi-abandono. Sin embargo, en 1811, existían instalaciones capaces de albergar a 120 personas con un edificio cuadrangular que incluía comedor, salas de baile y casino. Actualmente dispone de hotel y un complejo de piscinas, restaurante y barbacoas.

Desde enero de 2008 tiene denominación de Bien de Interés Cultural debido a la zona arqueológica de su entorno.



Figura 17. Instalaciones del Balneario de Alicún

LOS YACIMIENTOS PREHISTÓRICOS

En el entorno de las surgencias de aguas termales de Alicún se ha documentado un rico conjunto de yacimientos arqueológicos. Diversos autores han estudiado las evidencias de monumentos megalíticos y han descrito emplazamientos calcolíticos y paleolíticos.

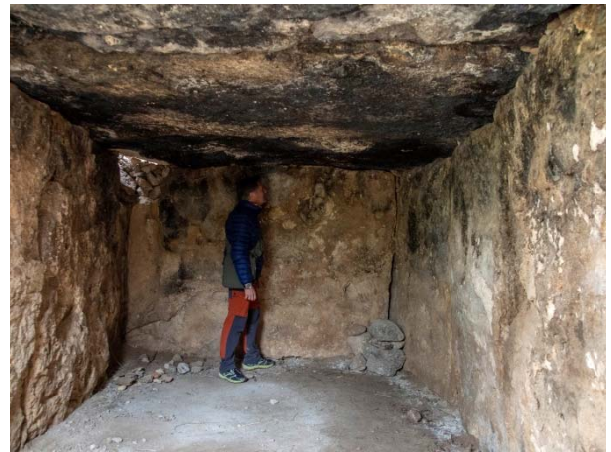


Figura 18. Interior de uno de los dólmenes localizados en el entorno de los manantiales de Alicún de las Torres.

Se han documentado en la zona un total de 238 dólmenes, aunque en la actualidad solo se conservan 142. En el entorno más cercano del manantial de Alicún y del Acueducto del Toril se han descrito 15 megalitos, de los que actualmente se conservan 10 de ellos. Estos sepulcros tienen, por lo general, forma trapezoidal o rectangular, con un corto corredor de entrada. Son construcciones de unos 3,5 m longitud, de pequeñas dimensiones, formadas por bloques de rocas calizas o conglomerados y, en su mayoría, orientados hacia el sur o hacia el este.

Existen además cuatro grandes piedras con diversos petroglifos que se localizan en la cima del Cerro de la Mina, al SE de los manantiales y a escasa distancia. Inicialmente, estos grabados fueron interpretados como zonas de culto con una edad entre 2000 y 2300 años. Sin embargo, actualmente se considera que podrían ser de época histórica relacionadas con la cristianización de lugares con simbolismos paganos.



Figura 19. Petroglifos con símbolos cruciformes en el Cerro de la Mina, Cerca de los Baños de Alicún.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- GRANADA 2022

La visita se hará a pie siguiendo un itinerario de 2,2 km. En turnos con salidas de grupos cada 30 minutos entre las 9 y las 12 horas. El tiempo previsto para la visita serían de unas 2 ½ horas. Será necesaria una inscripción previa rellenando un formulario en el mismo punto de encuentro.

Llevar agua para beber durante el trayecto y calzado cómodo para caminar por el campo. Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc. Muy recomendable llevar cámara de fotos.

El Hidrogeodía 2022 – 6ª Edición Granada es una actividad gratuita y abierta a todo tipo de público que se realiza al aire libre. Los asistentes asumen voluntariamente los posibles riesgos de la actividad y, en consecuencia, eximen a la organización de cualquier daño o perjuicio que pueda sufrir en el desarrollo de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han apoyado y/o patrocinado el Hidrogeodía 2022-Granada: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Granada-CSIC, Diputación Provincial de Granada, Geoparque de Granada, Universidad de Jaén, Instituto del Agua de la Universidad de Granada, AQUAconsultores y al Balneario de Alicún de las Torres.

MONITORES Y GUÍAS DEL HIDROGEODÍA GRANADA 2020

Antonio González Ramón
Sergio Martos Rosillo
José Antonio Navarro García
Jorge Jiménez Sánchez
Francisco Juan García Tortosa
Ana Ruiz Constán
Gema Alcaín Martínez
Virginia María Robles Arenas
Tomás Peinado Parra
Rosa María Mateos Ruiz
Carlos Marín Lechado
María Cristina Jiménez Escamilla
Luis Miguel Hueso Quesada
David Pulido Velázquez
Javier Sancho Gil
José Antonio Garrido García
Antonio López Marcos
Carlos Herrera Morcillo

ELABORACIÓN DE LA GUÍA

Antonio González Ramón
Ana Ruiz Constán
Sergio Martos Rosillo
Francisco Juan García Tortosa

PARA SABER MÁS....

Azañón JM, Pérez-Peña J V, Roldán FJ, Alfaro P, Castro J, Fernández-Chacón F, García-Tortosa F, Martín Rojas I, Galve JP (2015). Itinerario 4: Procesos superficiales activos en la Cuenca de Guadix y paleosismicidad de la Falla de Baza. *Cuadernos de Campo del Cuaternario*, 2: 35-45

Fernández Chacón, F. (2009). *Contribución al conocimiento hidrogeológico de una depresión*

interna en clima mediterráneo semiárido (cabecera del Guadiana Menor, Cordillera Bética). Tesis doctoral. Univ. de Granada

García-Tortosa FJ, Alfaro P, Galindo-Zaldívar J, Gibert L, López-Garrido AC, Sanz de Galdeano C, Ureña M (2008). Geomorphologic evidence of the active baza fault (Betic Cordillera, South Spain). *Geomorphology* 97: 374-391.

Herrera C, Medina, F. (Eds) (2018). *Las piedras de agua. El Balneario de Alicún de las Torres*.

Prado Pérez, A. (2011). *El sistema termal de Alicún de las Torres (Granada) como análogo natural de escape de CO₂ en forma de DIC: implicaciones paleoclimáticas y como sumidero de CO₂* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones).

Portugal, M. T. M. (2009). *Balneario de Alicún de las Torres*. Monografías de Aguas Minerales y Minero medicinales.

NOTAS

NOTAS

NOTAS

ORGANIZAN:



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Instituto Geológico y Minero de España



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



Diputación de Granada
Avanzamos junt@s



COLABORAN:



Instituto del Agua
Instituto Universitario de Investigación



UNIVERSIDAD DE JAÉN

GEOPARQUE
GRANADA

AQUA Consultores 1990
aguas Subterráneas

BALNEARIO
ALICÚN
DE LAS TORRES