

Málaga
HIDROGEODÍA

2019

Sábado 23 de marzo 2019

“Hidrodiversidad y aprovechamiento de las aguas subterráneas en la Alta Axarquía”



Baños de Vilo
Balneario



EXCURSIÓN GRATUITA

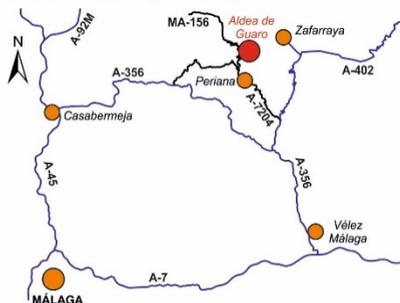
Desde las **09:00 de la mañana** (según grupo)

RESERVA PREVIA

correo de contacto: prieto@uma.es

PUNTO DE ENCUENTRO:

Aldea de Guaro (Periana)



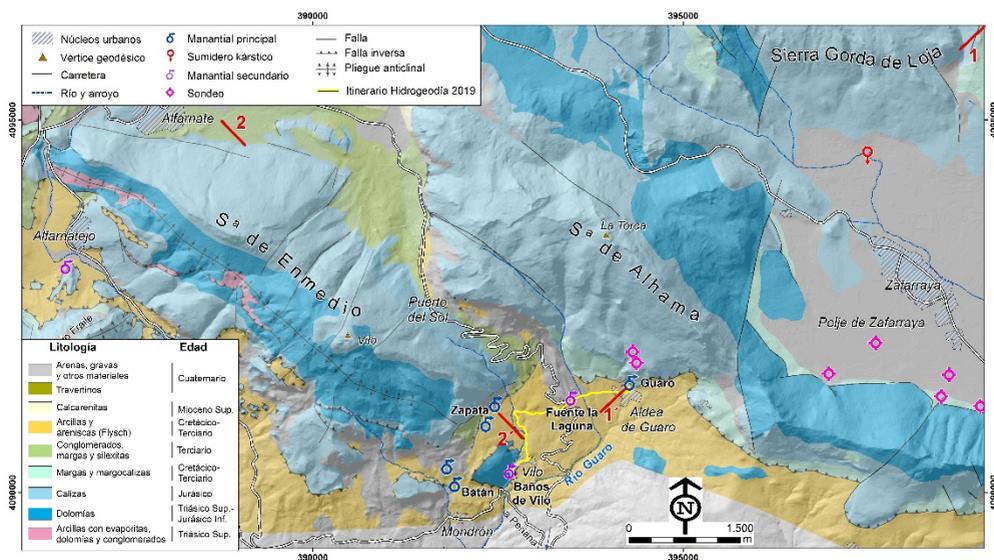
Información detallada del evento:

<http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2019/>
www.cehuma.es

Actividad coordinada por la
Asociación Internacional de
Hidrogeólogos -Grupo Español-



El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo/a que se celebra anualmente con motivo del **Día Mundial del Agua**. Consiste en una excursión gratuita y abierta a todo tipo de público, en compañía de monitores especializados en aguas subterráneas, que explican a los asistentes los principales aspectos hidrogeológicos del itinerario. En Málaga, el **Hidrogeodía 2019** se celebra en la localidad de **Periana**, concretamente en las aldeas de **Guaro y Vilo** (Fig. 1), una zona de gran interés geológico y medioambiental al NE de la provincia donde se concentran varios elementos singulares desde el punto de vista hidrogeológico. Entre ellos cabe destacar el **manantial y galería de Guaro** y los **Baños de Vilo**.



Los aspectos más relevantes que se tratarán a lo largo de la excursión del **Hidrogeodía 2019** son:

1. El contexto geológico del entorno.
2. Los diferentes tipos de rocas y sus características hidrogeológicas.
3. Cómo funcionan los acuíferos kársticos.
4. El aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Vélez.
5. Tipos y diversidad de las aguas subterráneas según sus propiedades.
6. Las aguas mineromedicinales de la zona y su uso a lo largo de la historia.

Figura 1. Mapa hidrogeológico del entorno de las sierras de Alhama y Enmedio.

El espacio donde se desarrolla el Hidrogeodía 2019 se sitúa en la cabecera del **río Guaro** (afuente del río Vélez), entre las sierras de Enmedio (al O) y la sierra de Alhama (al N). A los pies de estos macizos existen manantiales que drenan el agua subterránea almacenada en su interior (Fig. 1). Una parte de ésta es aprovechada para el abastecimiento urbano y el regadío. El resto del agua fluye por arroyos y ríos y contribuye a mantener los ecosistemas fluviales asociados.

Contexto geológico y tipos de rocas

Hay que remontarse a la era **Secundaria** o **Mesozoica** (entre 250 y 65 millones de años) para entender el origen de las rocas que afloran en estas serranías. Las arcillas, dolomías, calizas y margas (Fig. 2) que hoy conforman relieves de más de 1500 m sobre el nivel del mar (m s.n.m.), fueron en su momento distintos tipos de sedimentos que se acumularon gradualmente en el fondo de un antiguo oceano.

La compactación y cementación fruto de la presión ejercida a lo largo del tiempo por el peso conjunto de los materiales depositados, y la posterior deformación y fracturación de éstos como consecuencia de los movimientos tectónicos, dieron lugar a los distintos afloramientos de rocas sedimentarias que se reconocen actualmente en la región (Figs. 1 y 2). Algunas de las rocas que se identificarán en el itinerario son (de más antiguas a más modernas):

- **Dolomías y calizas** de edad Triásico Sup. - Jurásico Inf. (~500 m de espesor conjunto).
- **Margas y margocalizas** (50-200 m) de edad Jurásico Sup. - Cretácico.
- **Arcillas y areniscas** (formación denominada **Flysch**), Cretácico Sup. - Mioceno. Su potencia es de decenas a centenares de metros.
- **Gravas, arenas y limos** de edad Cuaternario.

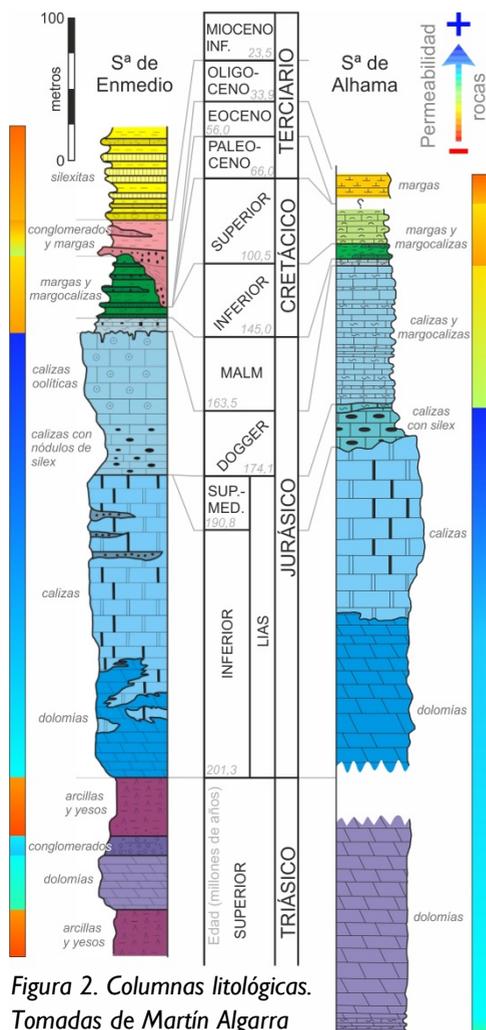


Figura 2. Columnas litológicas. Tomadas de Martín Algarra (1987) y López Chicano (1992).

Las crestas, laderas y valles que se observan en el paisaje responden a la estructura geológica (Fig. 3). En general, los pliegues anticlinales dibujan la geometría de los relieves más destacados, mientras que en sus bordes existen fallas que desplazan los materiales unos con respecto a otros. Así, las dolomías y calizas jurásicas conforman las zonas más elevadas de las sierras de Alhama y de Enmedio (Fig. 1), mientras que margocalizas y margas cretácicas ocupan las laderas situadas al pie de estos macizos. En el borde sur de las sierras aparecen también las arcillas y areniscas (flysch) en posición cabalgante sobre las formaciones mesozoicas.

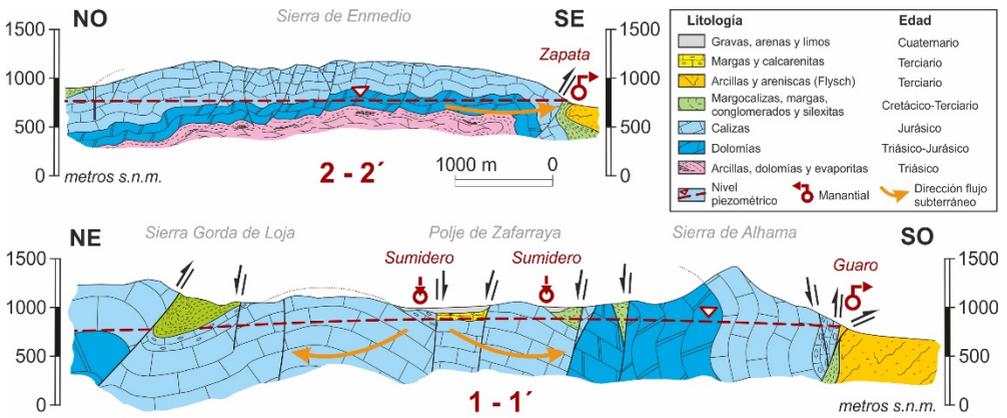


Figura 3. Cortes geológicos de los acuíferos de las sierras de Alhama y Gorda (1 - 1') y de la sierra de Enmedio (2 - 2'). Modificado de López Chicano (1992) y Mudarra Martínez (2012).

Propiedades acuíferas de las rocas

Un material geológico, sedimento o roca tiene propiedades **acuíferas** si es **poroso** (con capacidad de almacenar agua) y **permeable** (deja pasar a ésta con facilidad). En ocasiones, hemos oído hablar de un acuífero como si se tratara de un embalse subterráneo o volumen de agua que se encuentra inmóvil. Esto no corresponde con la realidad, pues el agua subterránea de los acuíferos se almacena y se mueve a través de poros, fisuras o grietas de las rocas (Fig. 4).

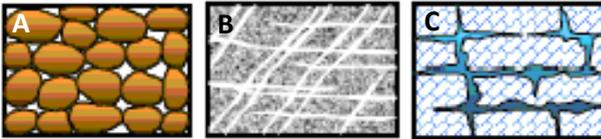


Figura 4: Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (A), por fisuras (B) y por grietas o fracturas ensanchadas (C).

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una roca, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. El agua subterránea sólo puede moverse a través de los poros que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**). Cuando se trata de materiales sueltos, el agua ocupa y fluye por los huecos que quedan entre los granos (Fig. 4A). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuíferos detríticos** (como los existentes en los valles de los ríos Vélez y Guadalhorce o en la Vega de Antequera).

Otras rocas, como las dolomías y calizas que constituyen las sierras de Enmedio y Alhama, presentan una porosidad intergranular por lo general baja o muy baja. Sin embargo, son materiales que pueden llegar a mostrar propiedades acuíferas muy favorables, debido a la red de fisuras o grietas interconectadas entre sí que existe en el interior de los macizos rocosos (Fig. 4B). Además, la **disolución** o **karstificación** de los minerales que constituyen las rocas calizas y dolomías ensancha las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 4C). En este contexto es en el que se forman los acuíferos denominados **kársticos**.

¿Cómo funciona un acuífero kárstico?

La naturaleza soluble de las rocas calcáreas determina en gran medida los procesos de karstificación, que confieren a los acuíferos kársticos cierta complejidad. El **agua de lluvia**, principal fuente de alimentación de los acuíferos, se puede **infiltrar** de dos maneras diferentes: a) de forma **difusa**, por toda la superficie de suelo y de los afloramientos calizos desnudos, y/o b) de forma **concentrada**, a través de orificios u oquedades (**sumideros kársticos**) por los que el agua de escorrentía entra directa y rápidamente en el acuífero (Fig. 5).

Un ejemplo magnífico de esta segunda modalidad de infiltración se produce en los sumideros existentes en la parte occidental del **Polje de Zafarraya** (Fig. 1), la mayor depresión kárstica de la Península Ibérica (22 km²). En ellos, el agua que discurre por el arroyo que recorre esta depresión se infiltra por completo y pasa a alimentar al acuífero de las sierras de Alhama y Gorda.

Una vez infiltrada, el agua continúa su descenso a través de la parte más superficial y permeable del acuífero, llamada **zona no saturada** (Fig. 5). En ella, el agua subterránea discurre por los huecos rellenos de agua y aire. Además, el flujo subterráneo puede producirse de forma lenta, por pequeñas fisuras, o de manera rápida, por conductos de tamaño diverso. Por debajo de la zona no saturada se ubica la **zona saturada**, donde fracturas y conductos están totalmente llenos de agua. Aquí, el agua subterránea sigue moviéndose, aunque de manera más lenta (Fig. 5). La superficie que separa la zona no saturada de la zona saturada se denomina **nivel piezométrico (freático)**.

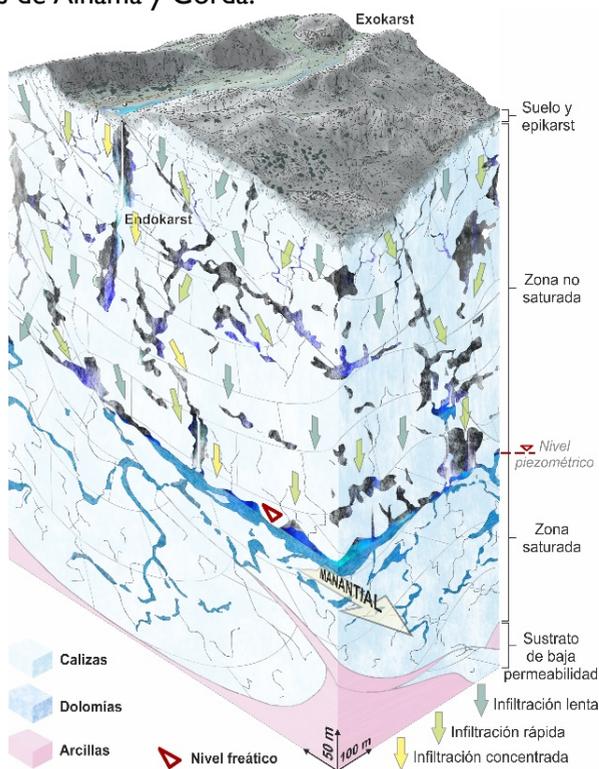


Figura 5. Representación esquemática del interior de un macizo kárstico.

Finalmente, el agua que ha circulado por el interior del acuífero emerge de nuevo en la superficie por los **manantiales**. Ejemplos de éstos son la surgencia de **Guaro**, que drena el acuífero de la sierra de Alhama, o los de **Zapata y Batán**, responsables del drenaje natural de la sierra de Enmedio.

No todos los manantiales son iguales

Los manantiales aparecen en los puntos donde el nivel piezométrico del acuífero interseca la superficie topográfica. Son, por tanto, lugares de surgencia y drenaje natural del agua subterránea infiltrada y almacenada en el acuífero. En general, los manantiales presentan caudales más elevados en periodos de lluvias abundantes, pero no todos responden de igual modo ante éstas; depende del tiempo empleado por el agua en recorrer la distancia que separa la zona de alimentación y la de descarga. Algunos muestran en sus **respuestas hidrodinámicas** un cierto retardo o desfase temporal respecto de las lluvias (Fig. 6). De hecho, sus caudales más altos se registran en primavera o verano, varias semanas (o meses) después de éstas. En épocas de sequía, estas surgencias suponen una garantía de disponibilidad

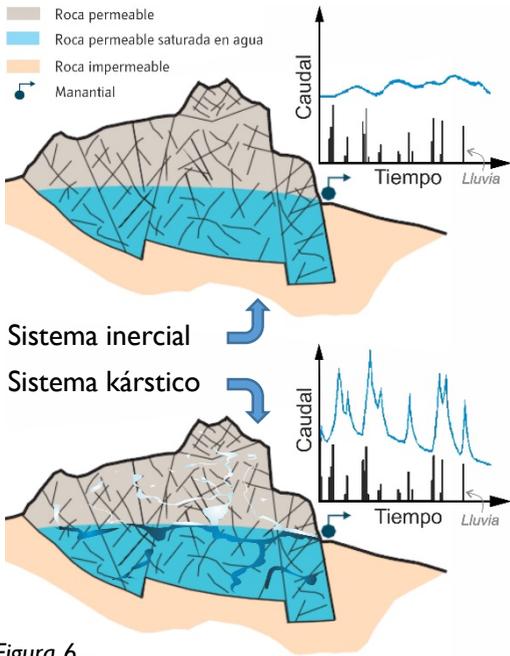


Figura 6. Representación esquemática de los tipos de acuífero kárstico. Modificado de Benavente (2008).

de agua como complemento a los embalses superficiales. El manantial de Batán es un ejemplo de este comportamiento **inercial** o de **flujo difuso** (por fisuras).

En cambio, otras surgencias llamadas **kársticas**, muestran bruscos e importantes aumentos de caudal a los pocos días de que ocurran las lluvias, y descensos de igual magnitud tras el cese de éstas (Fig. 6). En esos casos, la existencia de una red de conductos bien desarrollada en el interior del acuífero permite la rápida evacuación del agua subterránea (capaz de recorrer distancias de varios km en algunas horas), por lo que ésta sólo estará disponible durante el periodo de tiempo que duren los efectos de la recarga. En este segundo grupo se incluye el manantial de Guaro.

El hombre interviene en los acuíferos

Cuando un acuífero funciona en **régimen natural**, el volumen de agua que entra en él es igual al de sus salidas. Tan solo existe un cierto desfase temporal, debido a la mayor o menor capacidad de regulación natural que ejerce el acuífero, deducida, como se ha visto, a partir de las variaciones de caudal en los manantiales y de otros criterios. En ocasiones, sin embargo, se actúa conscientemente sobre el acuífero para disminuir el caudal de una surgencia, sobre todo si es muy irregular (comportamiento kárstico). Esta acción se denomina **regulación artificial** y tiene como fin aprovechar mejor los recursos hídricos subterráneos.

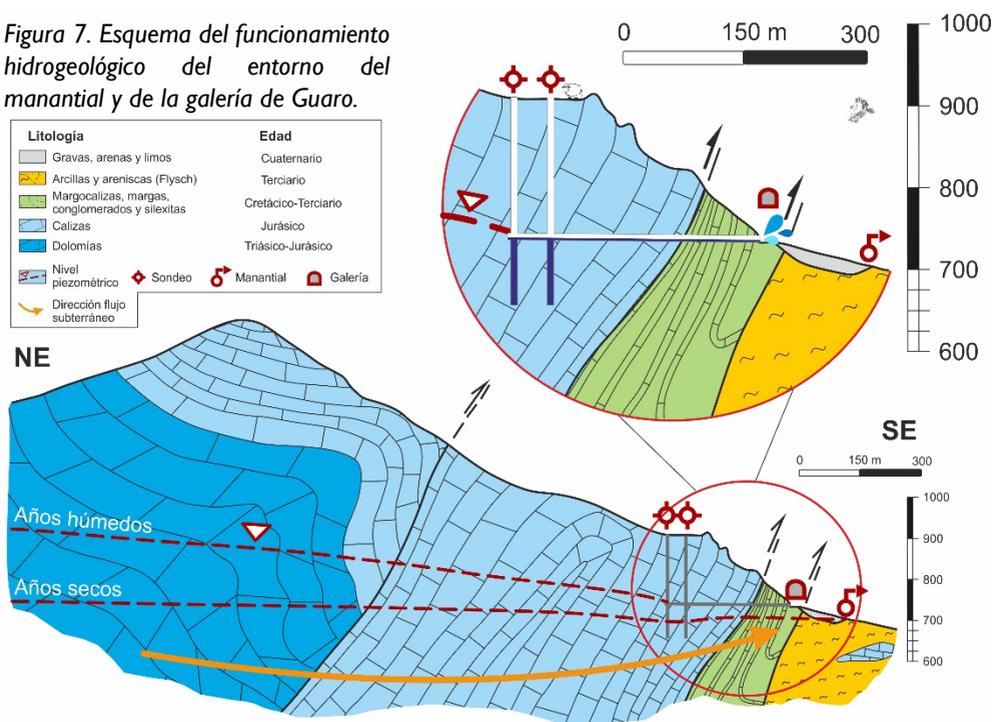
La regulación artificial y, en general, la explotación de los acuíferos se suele producir mediante **bombes** en sondeos. Si se realiza adecuadamente, el aprovechamiento del agua mejora pues se gana en garantía de suministro, al adaptarse los recursos a la demanda en el espacio y en el tiempo. En esta situación, el bombeo provoca el descenso, local o generalizado, de los niveles piezométricos. En casos de explotación intensiva, desordenada y abusiva de las aguas subterráneas el citado descenso puede llevar aparejado el agotamiento completo de los manantiales, una circunstancia que suele ir acompañada de una lógica contestación social, sobre todo si los manantiales sustentan espacios protegidos desde el punto de vista medioambiental o cultural.

El manantial y la galería de Guaro

Se trata de uno de los manantiales más importantes de la cuenca del río Vélez, cuyas aguas son recogidas en el embalse de La Viñuela a través del río Guaro. Su alimentación proviene de la infiltración de la lluvia en la sierra de Alhama y, en menor medida, del agua que se introduce en los sumideros del Polje de Zafarraya. El manantial, situado a 714 m s.n.m., muestra un régimen de caudales típicamente kárstico, con fuertes crecidas durante la recarga (> 2.000 l/s) y rápidos descensos en ausencia de las mismas. En estiaje prácticamente se agota la surgencia.

Desde 1981, el manantial está parcialmente regulado por un sondeo de 250 m de profundidad, localizado 350 m al norte del mismo (Figs. 1 y 7). En 1991 se perforó

Figura 7. Esquema del funcionamiento hidrogeológico del entorno del manantial y de la galería de Guaro.



otro sondeo en el mismo lugar y de iguales características al anterior destinado a completar el abastecimiento a Periana y a regadío. La profundidad media del nivel freático en ambos sondeos, medida desde la superficie (a 908 m s.n.m.), era del orden de 180-185 metros, por lo que el gasto energético (y económico) destinado al bombeo y elevación del agua subterránea era cuantioso.

Con el fin de hacer más cómoda y rentable la explotación del acuífero, en 1992 se construyó una galería horizontal sobre el manantial (a cota 726 m s.n.m.). La obra, de 310 m de longitud, 4 m de ancho y 4 m de alto, fue proyectada de modo que interceptase los dos sondeos previamente realizados. Con la galería se consiguió así una notable reducción de costes de energía en el bombeo, al disminuir la profundidad de elevación del agua a tan sólo 10 – 15 m.

Sin embargo, la construcción de la galería supuso la alteración del funcionamiento hidrogeológico natural del manantial, puesto que ésta actúa como un conducto que facilita la evacuación del agua subterránea en condiciones de recarga. En estas circunstancias, el nivel piezométrico del acuífero asciende e intersecta la cota de la base de la galería (Fig. 7), con lo que se inicia el flujo de agua a través de ella.

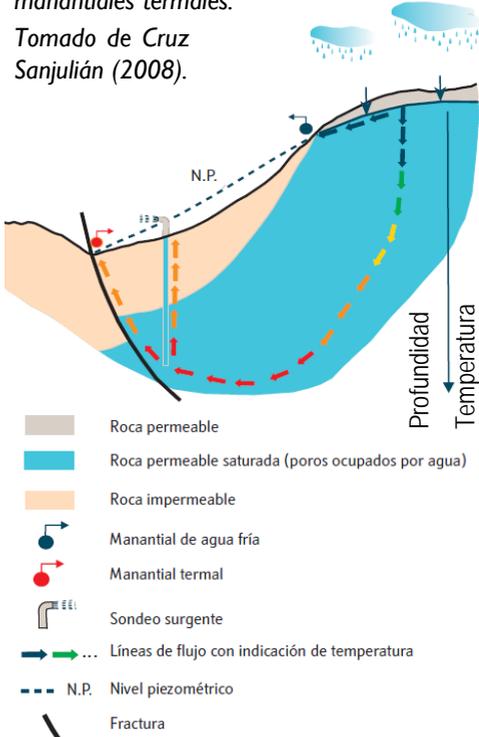
Manantiales de aguas frías y de aguas calientes

Las **características físico-químicas** de las aguas subterráneas reflejan la naturaleza (litología) de las rocas por las que han circulado y el tiempo empleado para ello. En general, si los flujos o tiempos de contacto del agua con el terreno han sido cortos, las aguas tendrán bajos valores de **salinidad (mineralización)** y una **temperatura** similar al valor medio del aire en las zonas de alimentación. Así sucede en los manantiales de Guaro, Batán y Zapata.

Hay otras surgencias, en cambio, cuyas aguas presentan valores de temperatura anormalmente altos, de al menos 4 °C por encima de la temperatura media del aire en la zona. Son los denominados **manantiales termales** y el hecho de que existan estas anomalías térmicas lleva asociado, además, valores más elevados de mineralización y, a veces, ciertas propiedades organolépticas (color, olor, sabor, etc.) en el agua.

Figura 8. Esquema explicativo de la emersión de flujos profundos que dan lugar a manantiales termales.

Tomado de Cruz Sanjuán (2008).



Salvo en zonas de actividad volcánica reciente (cercanía de un foco de calor), la existencia de aguas termales es indicio de **circulación relativamente profunda** de flujos de agua (Fig. 8). La temperatura es más alta cuanto mayor es la profundidad y, este incremento, que se denomina **gradiente geotérmico**, tiene un valor medio en la corteza terrestre de alrededor de **1 °C cada 30 m**; es decir, que la temperatura aumenta aproximadamente 3,0 °C cada 100 m de profundidad. Si el contexto geológico es propicio (existencia de un importante sistema de fracturas), el agua ascenderá rápidamente y brotará en la superficie preservando parte del calor adquirido en las profundidades. Este es el origen más común de los manantiales termales en nuestro ámbito.

El balneario de los Baños de Vilo

Como su propio nombre indica, este manantial se localiza en la aldea de Vilo, a 555 m s.n.m. Aunque su caudal es escaso (0,5 l/s), sus aguas fueron conocidas desde la antigüedad por sus propiedades curativas, lo que dio sustento a un reputado balneario. Se considera que es una surgencia termal, pero lo cierto es que el valor medio de la temperatura del agua, **20,5 °C**, es solo 3,4 °C superior a la temperatura media del aire en la zona (17,1 °C en Periana, a 550 m s.n.m.), por lo que no sería una surgencia netamente termal según el criterio indicado antes.

Otras cualidades físico-químicas de las aguas y que ayudaron a su reconocimiento como minero-medicinales son el tono azulado y el ligero olor a “huevos podridos” que desprenden; ambas características indicativas de la presencia del gas **sulfuro de hidrógeno** disuelto en las aguas (coloquialmente **aguas sulfurosas**). Ya en un folleto del balneario publicado en 1897 se hacía referencia a las cualidades físicas y la composición química de las aguas, según el cual se calificaban como sulfhídricas, magnésico-cálcicas y nitrogenadas, con 22 °C de temperatura. En cuanto a los beneficios para la salud, en el folleto se afirmaba su capacidad para aliviar una amplia lista de padecimientos, entre los que cabe citar anemia, clorosis, trastornos de la menstruación, inflamación de los bronquios, erupciones cutáneas, etc.

En el apartado de instalaciones, el folleto describía la existencia de dos habitaciones, cada una de ellas dotada de una alberca y su mobiliario correspondiente, y tres gabinetes dedicados a baños calientes, fríos y de asiento. Los precios variaban entre 5 pesetas para baños durante toda la temporada (desde el 15 de junio al 30 de septiembre) y los 25 céntimos de un baño de asiento frío. Para el alojamiento de los bañistas se anunciaba una fonda que, por 4 pesetas, ofrecía hospedaje, dos comidas y luz.

El hecho de que el manantial se encuentre en un cauce que sufre inundaciones periódicas afectó negativamente al aprovechamiento como balneario. Durante el s. XIX, la clientela que utilizaba el balneario fue más bien escasa, y los baños quedaron relegados al ámbito comarcal. Actualmente, las instalaciones han sido rehabilitadas en un edificio cercano para su explotación turística.

Consideraciones sobre el **HIDROGEODÍA**

La excursión del Hidrogeodía 2019 tiene lugar en pleno contacto con la **naturaleza**, por un **itinerario definido**. Se ruega **no arrojar residuos** a lo largo del recorrido ni alterar el medio natural. Se recomienda el uso de **ropa y calzado adecuados**, gorra, agua, comida y protección solar. Asimismo, la organización se reserva el derecho a suspender la actividad si las condiciones climáticas imposibilitan el normal desarrollo de la misma.

Las personas asistentes **asumen voluntariamente** los posibles **riesgos** de la actividad y, en consecuencia, **eximen a la organización** de cualquier daño o perjuicio que puedan sufrir en el desarrollo de la misma.

Para saber más...

Benavente Herrera, J. (2008). *Acuíferos y aguas subterráneas*. En: Castillo Martín, A. (Coord.). *Manantiales de Andalucía*, pp. 22-31. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 416 pp.

Cruz Sanjulián, J. (2008). *Manantiales termales de Andalucía*. En: Castillo Martín, A. (Coord.). *Manantiales de Andalucía*, pp. 22-31. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 416 pp.

López Chicano, M. (1992). *Contribución al conocimiento del sistema hidrogeológico kárstico de Sierra Gorda y su entorno (Granada y Málaga)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Martín Algarra (1987). *Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Mudarra Martínez, M. (2012). *Importancia relativa de la zona no saturada y zona saturada en el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos carbonáticos. Caso de la Alta Cadena, sierra de Enmedio y área de Los Tajos (provincia de Málaga)*. Tesis doctoral. Universidad de Málaga.

Los monitores

Daniela Álvarez Morales
Bartolomé Andreo Navarro
Juan Antonio Barberá Fornell
Beatriz de la Torre Martínez
José Manuel Gil Márquez
Luis Linares Girela
Cristina Liñán Baena
Javier Martín Arias
José Francisco Martín Rodríguez
Antonio Lope Morales González
Matías Mudarra Martínez
José Manuel Nieto López
Lucía Ojeda Rodríguez
Jorge Prieto Mera
Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

Agradecimientos

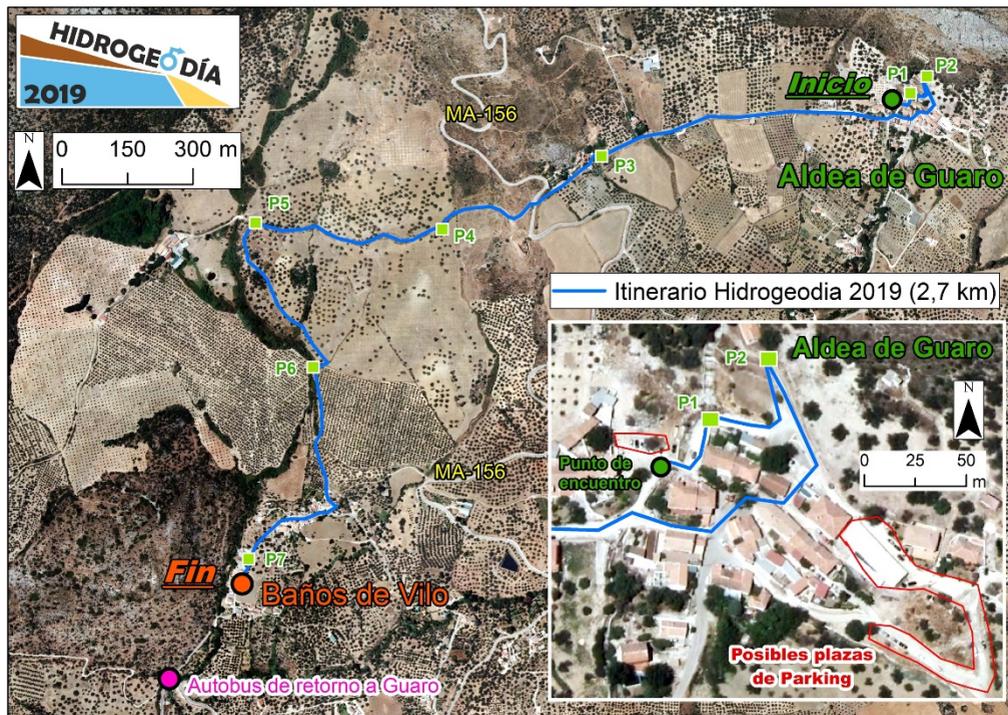
Nuestro **agradecimiento** a las **instituciones** que han apoyado y/o colaborado con la actividad **“Hidrogeodía 2019 Málaga”**, en especial al **Ayuntamiento de Periana** por la ayuda ofrecida en la organización de la misma.

ORGANIZAN:



COLABORAN:





Notas