

Málaga

COORDINA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGE  **DÍA**

2023

25 de marzo 2023

Ciencia y leyendas de las aguas subterráneas en Archidona

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

PUNTO DE ENCUENTRO:

Avda. Andalucía, esquina c/ Granada
(frente a gasolinera SHELL), Archidona

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA

Contacto: juanjrm@uma.es

Se ruega:

- Respetar la hora asignada
- Llevar agua, así como calzado adecuado para caminar
- Compartir vehículos si es posible

La excursión durará unas 3 horas aprox.
Información detallada en:

<https://www.aih-ge.org/hidrogedia/>



CIVITATES Orbis Terrarum -ARCHIDONA- Grabado, SIGLO XVI.
Autor: Georg Braun. Facilitado por Ilmo. Ayuntamiento de Archidona



ORGANIZA:



CEHYUMA
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

COLABORAN:



DÍA MUNDIAL DEL AGUA

22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua
¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?
Concurso del Agua Subterránea, 2023



II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogedia 2023



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

¡PARTICIPA!

EI HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la **Hidrogeología** (parte de la Geología que estudia las **aguas subterráneas** y sus interacciones con el medio físico, biológico y con el ser humano), y de la profesión de **hidrogeólogo/a**, que se celebra cada año con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). Esta actividad es promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consiste en una **excursión gratuita** abierta a **todo tipo de público**, en compañía de monitores especializados, que explican a los asistentes los

principales aspectos hidrogeológicos del itinerario.

En Málaga, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en **Archidona** (Fig. 1), una localidad con un patrimonio cultural y medioambiental destacado, situada en la Comarca Nororiental de Málaga, a unos 40 km al N de la capital de la provincia. En concreto, la excursión del Hidrogeodía se centra en el borde occidental de la **sierra de Archidona** que, con 6 km², constituye el acuífero del que se abastece la localidad. Hasta época reciente, dicho abastecimiento se realizaba con el agua procedente de galerías excavadas en la parte alta del pueblo. Sin embargo, en la actualidad, tiene lugar mediante sondeos realizados a las afueras de la población (Fig. 1).

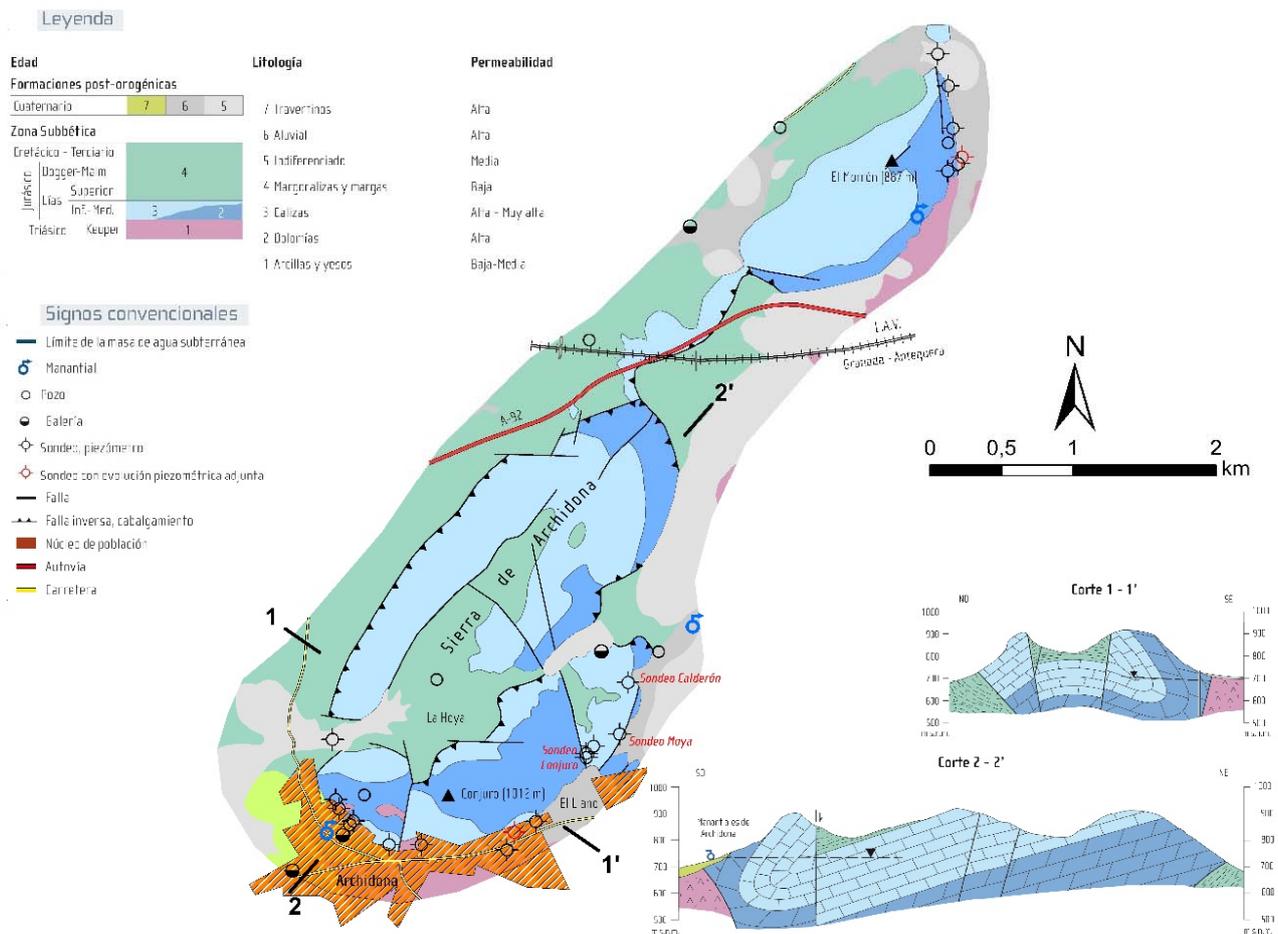


Figura 1: Esquema geológico - hidrogeológico de la sierra de Archidona y áreas próximas

¡Qué vamos a ver!

Los aspectos más relevantes que se tratarán en el **Hidrogeodía 2023** son:

1. Contextos geológico e hidrogeológico del entorno de Archidona
2. Consideraciones sobre el acuífero carbonático de la sierra de Archidona y las rocas circundantes
3. El abastecimiento a la localidad a lo largo del tiempo
4. Efectos adversos de la sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos
5. Consideraciones hidrogeológicas sobre el túnel de la L.A.V. Granada-Antequera.

Contexto geológico y tipos de rocas

En la sierra de Archidona destacan dos relieves localizados en los extremos de la misma: el más meridional, en cuya falda se asienta Archidona, tiene su punto culminante a 1.012 m s.n.m. (vértice Conjuero), y el más septentrional a 887 m s.n.m. (El Morrón). El conjunto del macizo está formado por **dolomías** y **calizas** de edad Jurásico (entre 200 y 145 millones de años –Ma–). Bajo estos materiales hay **arcillas**, **yesos** y **rocas volcánicas** de edad Triásico (entre 220 y 200 Ma), las cuales afloran en el borde meridional de la sierra, cerca del núcleo urbano de Archidona, y en la ladera oriental de El Morrón (Fig. 1). En el resto de la periferia de la sierra y en el paraje de “La Hoya” afloran **margas** y **margocalizas** atribuidas al Cretácico (entre 145 y 66 Ma). Finalmente, **gravas**, **arenas** y **limos** de edad Cuaternario (entre 2,6 Ma - actualidad) afloran de manera

discontinua por todo el perímetro de la sierra, en zonas con topografías suaves. De la misma edad son las **tobas calcáreas** sobre las que se asienta buena parte del núcleo urbano de Archidona (Fig. 1). Estas tobas están asociadas a salidas naturales de agua subterránea por los numerosos manantiales que existían antaño en el borde SO de la sierra.

Las dolomías y calizas jurásicas son las rocas que forman el acuífero de la sierra de Archidona, mientras que las arcillas triásicas y las margas cretácicas conforman la base y los límites del mismo (Fig. 1).

Propiedades acuíferas de las rocas

Un material geológico tiene propiedades **acuíferas** si es **poroso** (tiene capacidad de almacenar agua) y **permeable** (si deja pasar o fluir a esta con facilidad). Es frecuente imaginar un acuífero como un “embalse” de agua subterránea que se encuentra inmóvil. Sin embargo, esta idea no se corresponde con la realidad, pues el agua subterránea de los acuíferos circula a través de poros, fisuras o grietas de las rocas (Fig. 2).

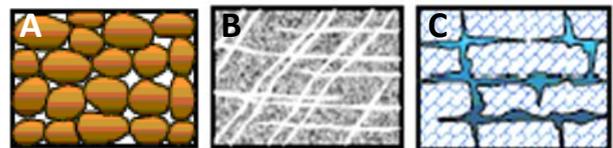


Figura 2: Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (A), por fisuras (B) y por grietas o fracturas ensanchadas (C)

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una formación rocosa respecto al volumen total de la misma, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. Además, 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 – **porosidad intergranular**- (Fig. 2A). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuiferos detríticos**, como los existentes asociados al río Guadalhorce, en las Huertas del Río, o en las vegas de Archidona y Antequera (Fig. 3).

Otras rocas, como las dolomías y calizas que forman la sierra de Archidona presentan, por lo general, una porosidad intergranular baja o muy baja. Sin embargo, son materiales que pueden llegar a tener propiedades acuíferas muy notables, debido a la red de fisuras o fracturas interconectadas entre sí que existe en su interior (Fig. 2B). La disolución – **karstificación**- que sufren estas rocas ensanchan progresivamente las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 2C). En este contexto es en el que se forman los **acuiferos kársticos**.

Por otro lado, existen rocas de **baja permeabilidad** (arcillas, margas), con escaso interés acuífero. Sin embargo, la presencia de estas rocas es clave para definir los **límites** y la **geometría** de los acuíferos.

El paisaje kárstico

Los terrenos constituidos por rocas solubles como calizas, dolomías, mármoles, yesos y otras sales están expuestos a los efectos de **meteorización superficial** que esculpen la roca con formas muy peculiares. El principal responsable de este proceso –denominado karstificación- es el agua de lluvia, que ataca químicamente a los minerales más solubles y produce la disolución de la roca. El resultado de la karstificación es el **modelado kárstico**, muy común en la provincia de Málaga.

Las formas de disolución pueden ser **exokársticas** y **endokársticas**. Las primeras son las que se generan en superficie, mientras las segundas resultan de procesos de

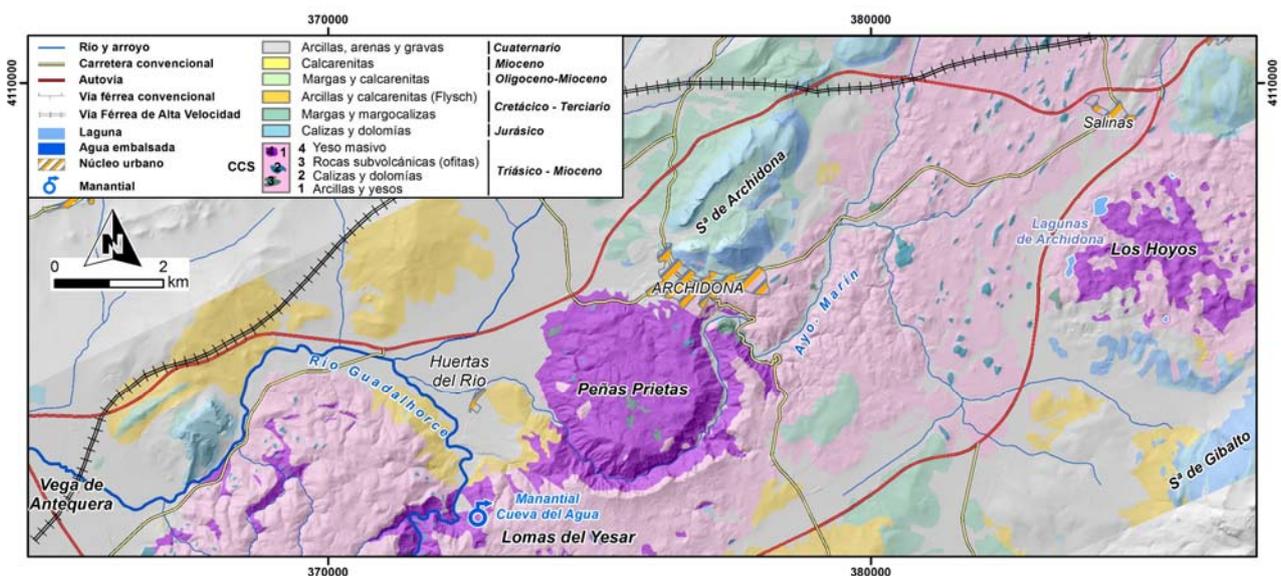


Figura 3: Esquema geológico - hidrogeológico de la región de Archidona

disolución en el interior del acuífero. Como formas exokársticas más características encontramos los **campos de lapiaz, dolinas, sumideros y poljes** (Fig. 4). Las formas endokársticas corresponden esencialmente al desarrollo, en mayor o menor medida, de **simas y cuevas**.

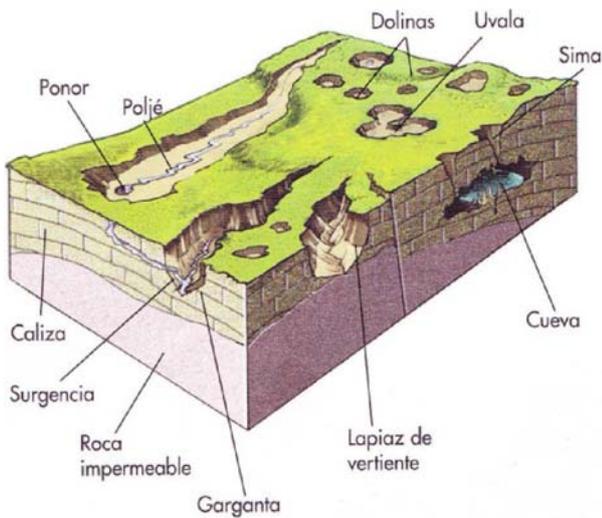


Figura 4: Bloque diagrama de un acuífero kárstico con las formas de disolución exokársticas y endokársticas más características

En el término municipal de Archidona hay magníficos ejemplos de modelado kárstico (tanto endo- como exokárstico) desarrollado en rocas evaporíticas (yeso y sales solubles). Son especialmente llamativos los paisajes kársticos que se pueden apreciar en la **Loma del Yesar** y en **Los Hoyos** (Fig. 3), parajes de gran singularidad geológica y geomorfológica donde existe un elevado número de dolinas de diferente tipología, sumideros, manantiales (como la **Cueva del Agua**) y pequeñas depresiones cerradas, algunas de las cuales constituyen humedales como las **Lagunas de Archidona**.

En un paisaje kárstico no sólo se generan formas de disolución, también se originan formas de depósito, como consecuencia de la precipitación de los minerales previamente

disueltos por el agua (proceso inverso al de la karstificación), fundamentalmente carbonato cálcico o calcita (CaCO_3). Entre las formas de depósito exokársticas más comunes se encuentran las **tobas y travertinos**, cuyo equivalente endokárstico serían los espeleotemas formados en las cuevas, como las estalactitas y estalagmitas.

¿Cómo funcionan los acuíferos kársticos?

La naturaleza soluble de las rocas calcáreas determina en gran medida los procesos de karstificación, lo que confiere 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 (Figs. 4 y 5).

Una vez infiltrada, el agua continúa su flujo descendente 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)**.

Las aguas subterráneas y el abastecimiento de Archidona

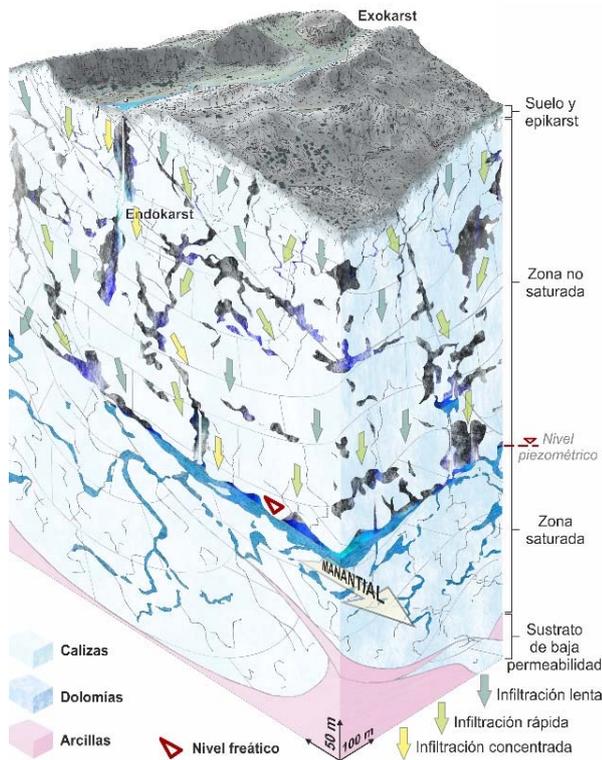


Figura 5: Representación esquemática del interior de un macizo kárstico

Finalmente, el agua que ha circulado por el interior del acuífero emerge de nuevo en la superficie por **fuentes, surgencias o manantiales**, pero también mediante bombeo en **sondeos y pozos**.

Los manantiales aparecen en los puntos donde el nivel piezométrico del acuífero intersecta 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 estas; depende del tiempo empleado por el agua en recorrer la distancia que separa la zona de infiltración y la de descarga.

En condiciones naturales, la descarga del acuífero de la sierra de Archidona se producía por numerosos manantiales y fuentes situadas en el extremo SO de la sierra, en las inmediaciones del núcleo urbano. Conejo Ramilo (1973), en su libro “Historia de Archidona”, transcribe el texto de un manuscrito que se conserva en el Archivo del Ayuntamiento de Málaga, aunque no se menciona la fecha. Vale la pena reproducir aquí ese texto que refleja lo que debió ser, desde el punto de vista hidrogeológico, la sierra de Archidona en épocas pasadas, sin la influencia de las captaciones realizadas posteriormente (galerías y sondeos). El manuscrito en cuestión dice:

“la colina de la sierra en la que está situada la villa es tan abundante en nacimientos de aguas dulces y cristalinas que es imponderable el inapurable depósito de las que contiene en los cóncavos senos de sus entrañas de roca, pues, habiéndose hecho en los tiempos antiguos y en los presentes varias calas y minas para fuentes públicas y particulares, ninguna ha sido inútil y todas subsisten sin apurarse, por lo cual se cuentan en el recinto de la villa 37 fuentes, las 7 públicas y las 30 de los conventos y casas de vecinos, todas con caños perennes aun en el estío, aunque en esta ardiente estación se suelen disminuir”.

“Además de estas fuentes se ha sacado de la misma sierra, ahora cincuenta años, otra que está a la salida del pueblo hacia el norte, que vierte más agua que el grueso de un regular brazo, y con ella no solo se riega la huerta llamada Ciézar, por el apellido de su dueño, que es de doce fanegas de tierra, sino que sobra mucha para el beneficio de las tierras colindantes de se siembran de grano”.

La actuación que impuso un cambio trascendental en el aprovechamiento hidrogeológico de la sierra de Archidona fue la construcción de las **galerías de captación** que se sitúan en la **plaza de Santa Ana** del casco urbano de Archidona. Una galería o mina de agua es esencialmente un túnel horizontal o ligeramente inclinado, que penetra en la zona saturada del acuífero (Fig. 6). El agua captada por la galería fluye por gravedad hacia la superficie del terreno o hacia un pozo o depósito desde el que es bombeada.

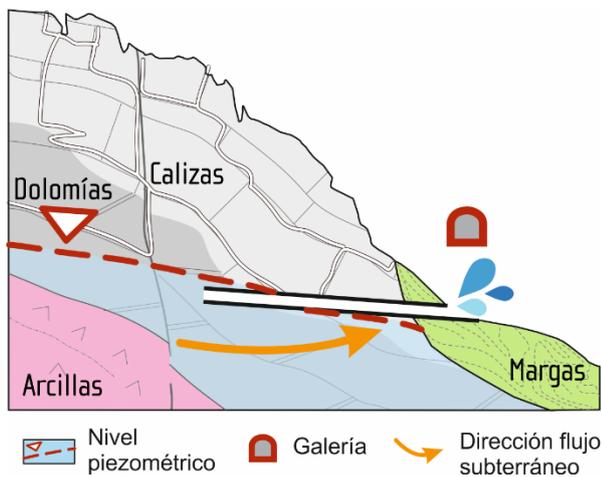


Figura 6: Representación esquemática del diseño y funcionamiento de una galería de captación de agua subterránea

Las galerías de la plaza de Santa Ana fueron construidas con el fin de satisfacer la creciente demanda para abastecimiento de la población. El número de estas galerías es de tres, aunque una de ellas actualmente es de poco rendimiento y está prácticamente abandonada. Las dos que están operativas en la actualidad parten del mismo lugar en la plaza de Santa Ana y se adentran en el acuífero, divergiendo entre sí, con una longitud aproximada de 50 m bajo la Iglesia del mismo nombre en dirección NE. Alrededor de 1.980 fueron reformadas y reprofundizadas y están dotadas de equipos de bombeo para su explotación.

Sin embargo, en la actualidad, el caudal de las galerías está muy afectado por los bombeos que tienen lugar en los sondeos de abastecimiento situados en el paraje de “El Llano”. Las galerías de Archidona, antes de la puesta en funcionamiento de los sondeos, presentaban caudales comprendidos entre 25 y 90 l/s. A partir de la década de 1980, los bombeos alteraron este régimen de descarga, que ahora se encuentra prácticamente regulado, con frecuentes y largos periodos de desecación total y otros de recarga excepcional en los que vuelven a surgir. Después de estas recargas, el descenso de caudal es rápido y continuo hasta una nueva desecación, de manera que, en la actualidad, los bombeos destinados a satisfacer la demanda urbana han hecho desaparecer la práctica totalidad de estas surgencias.

Gestión sostenible de los acuíferos

Cuando un acuífero funciona en **régimen natural**, el volumen de agua que entra en él es igual al de sus salidas (Fig. 7A). Tan solo existe un cierto desfase temporal, debido a la mayor o menor capacidad de **regulación natural** que ejerce el acuífero, deducida a partir de las variaciones de caudal en los manantiales y de otros criterios. Sin embargo, como ha ocurrido en la sierra de Archidona, en ocasiones se actúa conscientemente sobre el acuífero para disminuir el caudal de una surgencia o galería, 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 (Fig. 7B). En esta situación, el bombeo provoca el descenso, local o generalizado, de los niveles piezométricos, sin que ello conlleve la desaparición de las surgencias naturales.

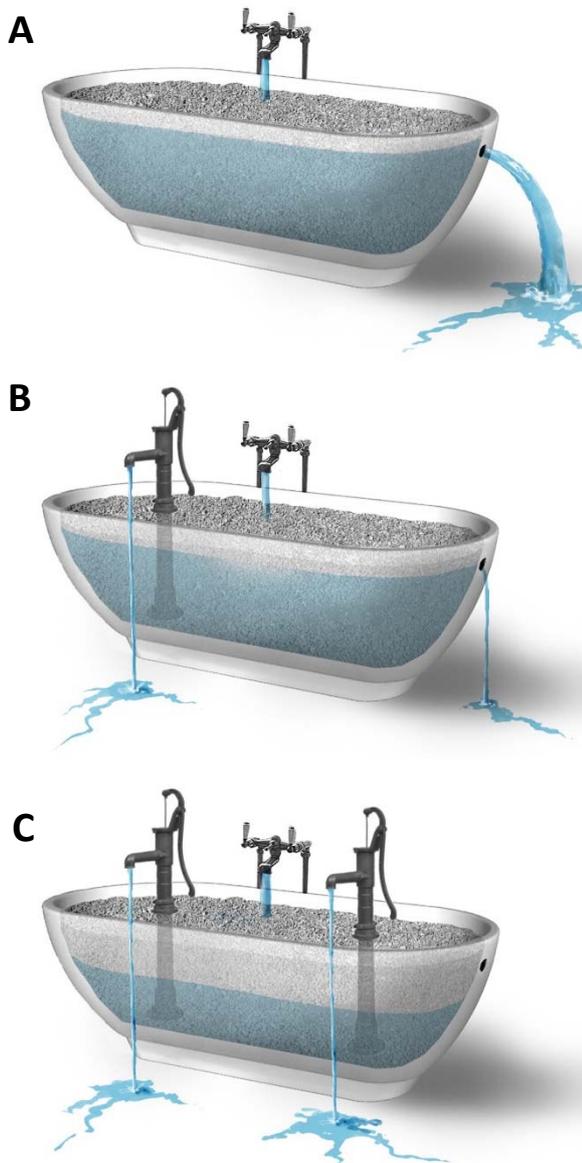


Figura 7: Esquema conceptual de gestión de un acuífero, bajo tres situaciones o grados de explotación diferentes: funcionamiento en régimen natural (A). Explotación (B). Sobreexplotación (C). Imágenes cedidas por Sergio Martos Rosillo y Rocío Spin

En casos de explotación intensiva (**sobreexplotación**), desordenada y abusiva de las aguas subterráneas el citado descenso puede llevar aparejado el agotamiento completo de los manantiales (Fig. 7C), 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. En otras ocasiones, la sobreexplotación de los recursos subterráneos almacenados en los acuíferos genera problemas de pérdida de calidad del agua (aumento de la salinidad, arrastre de finos -turbidez-), que se suman a los asociados a la disminución de cantidad.

De las investigaciones hidrogeológicas realizadas en el acuífero de la sierra de Archidona se deduce la existencia de un desequilibrio entre las entradas y las salidas de agua, puesto que las extracciones –salidas– superan a las entradas naturales en un año hidrológico. Esta situación de sobreexplotación (Fig. 7C) queda patente en la tendencia descendente que se observa en los niveles piezométricos del acuífero en los últimos años (Fig. 8). En este contexto, la gestión del acuífero se vuelve compleja porque a los problemas de cantidad se unen los asociados al deterioro de la calidad del agua, como por ejemplo, el aumento de la turbidez del agua.

Por tanto, es recomendable la aplicación de medidas de gestión que ayuden a revertir la situación actual de sobreexplotación del acuífero. Es más, dada su importancia como fuente de recursos, el acuífero de la sierra de Archidona debería protegerse y reservarse exclusivamente para el abastecimiento urbano, siempre que no se produzca un crecimiento urbanístico excesivo.



Figura 8: Evolución temporal de la cota piezométrica en tres sondeos representativos del acuífero de la sierra de Archidona. La ubicación puede observarse en la figura 1

Consideraciones hidrogeológicas sobre el túnel de la L.A.V. Granada-Antequera

En la obra civil las aguas subterráneas constituyen un elemento que puede crear muchas dificultades técnicas y constructivas. Especialmente sensibles son las obras de

excavación de túneles que afectan a acuíferos carbonáticos. Este fue el caso de las obras de la línea de alta velocidad (L.A.V.) del tramo que atravesó la sierra de Archidona en su tercio septentrional (Figs. 1 y 2).

El túnel que inicialmente fue proyectado contaba con 1880 m de excavación subterránea, cuya boca oriental estaba prevista a cota 712 m s.n.m. y la occidental a 650 m s.n.m. La proximidad del nivel piezométrico a la superficie del terreno en el entorno de la obra obligó a realizar modificaciones del diseño de trazado respecto al proyecto original, con el fin de evitar la presencia de agua y la afección al acuífero (drenaje a través del túnel, a modo de galería artificial).

La longitud total del túnel pasó a ser de 986 m (Fig. 9A). Las cotas de las bocas occidental y oriental son 688 y 712 m s.n.m., respectivamente. Con este diseño

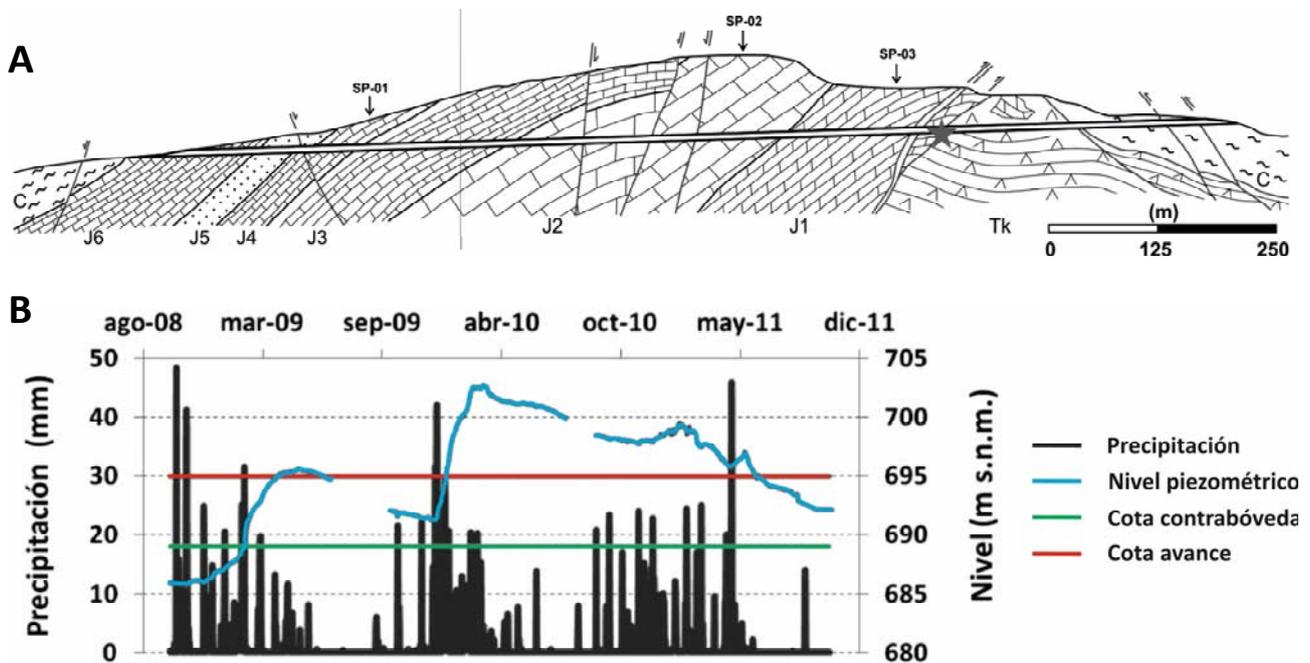


Figura 9: A) Corte geológico a lo largo de la traza del túnel de Archidona. El trazado del túnel se puede observar en la figura 1. B) Comparación entre precipitaciones y evolución del nivel piezométrico en el entorno de túnel. Tomado de Fernando Sola y Antonio Pulido-Bosch (2009)

constructivo, siempre que el nivel piezométrico supere la cota 688 m s.n.m., el túnel se comportará como una galería filtrante y la boca occidental del túnel se convertirá en un punto artificial de drenaje. Sin embargo, salvo en situaciones excepcionales de lluvias abundantes, como el periodo comprendido entre los años 2009 a 2011 (Fig. 9B), el nivel piezométrico se encuentra casi siempre por debajo de la cota del túnel.

Consideraciones sobre el HIDROGEODÍA 2023

La excursión del **Hidrogeodía 2023** tiene lugar en el casco urbano de Archidona, por un itinerario definido. Se ruega no arrojar residuos a lo largo del recorrido. 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.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a las instituciones que han apoyado y/o colaborado con la actividad “**Hidrogeodía 2023 Málaga**”, en especial al **Ilustrísimo Ayuntamiento de Archidona** por la ayuda ofrecida en la organización de la misma.

Para saber más....

Carrasco, F. (1986): *Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce: el medio físico. Hidrogeoquímica. Tesis doctoral, Universidad de Málaga, 435 pp.*

Conejo Ramilo, R. (1973): *Historia de Archidona, 878 pp.*

DGOH-Junta de Andalucía (1995): *Estudio previo para determinación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua a los municipios de Archidona y Villanueva del Trabuco. Dirección General de Obras Hidráulicas. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Informe inédito.*

IGME - Junta de Andalucía (2001): *Estudio hidrogeológico de probabilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del norte de la provincia de Málaga. Informe inédito.*

Linares Girela, L. (2007): *Sierra de Archidona (M.A.S. 060.030). En: Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Tomo 2, pp 85-88. Instituto Geológico y Minero de España-Diputación de Málaga-Universidad de Málaga. ISBN vol II: 978-84-7840-699-9. ISBN Obra completa: 978-84-7840-675-3. Depósito legal: BI-2911-07.*

Sola, F. y Pulido-Bosch, A. (2014): *Los túneles como puntos de observación de las respuestas de los acuíferos: el caso de Archidona (Málaga, España). Revista de la Sociedad Geológica de España, 27 (1): 319-326.*

ORGANIZA:



COLABORAN:



Los monitores del Hidrogeodía 2023

Juan Antonio Barberá Fornell
Javier Buera Cuerva
Alejandro Carrasco Martín
Beatriz de la Torre Martínez
Sergio Raúl Durán Laforet

Jaime Fernández Ortega
Luis Linares Girela
Alejandro Millán Madrid
Matías Mudarra Martínez
Juan José Rovira Medina

Itinerario HIDROGEODÍA Málaga 2023

