

HIDROGEODÍA 2022

Málaga

COORDINA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

26 de marzo 2022

El río Vélez y las aguas subterráneas

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

PUNTO DE ENCUENTRO:

Avda. Gerald Brenan – Torre del Mar
(frente IES Joaquín Lobato)

IMPRESINDIBLE RESERVA
PREVIA

Contacto: luciaor@uma.es

Se ruega:

- Respetar la hora asignada
- Llevar agua, así como calzado adecuado para andar por el campo
- Compartir vehículos si es posible.
- La excursión durará unas 3 horas aprox.

Información detallada del lugar de encuentro y folleto de la excursión en:

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

<https://cehiuma.uma.es/>

ORGANIZA:



CEHIUMA
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

COLABORAN:



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

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!

El Hidrogeodía es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo/a, vinculada a la celebración del **Día Mundial del Agua**, cuyo lema este año es "**hacer visible lo invisible**", en referencia a las aguas subterráneas. Consiste en una excursión gratuita y 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 2022** se celebra en la localidad de **Vélez-Málaga** (Fig. 1); una zona de gran interés geológico y medioambiental al E de la provincia donde el aumento de la demanda urbana y, sobre todo, de la demanda agrícola, comprometen la gestión y la calidad de los recursos hídricos de la región.

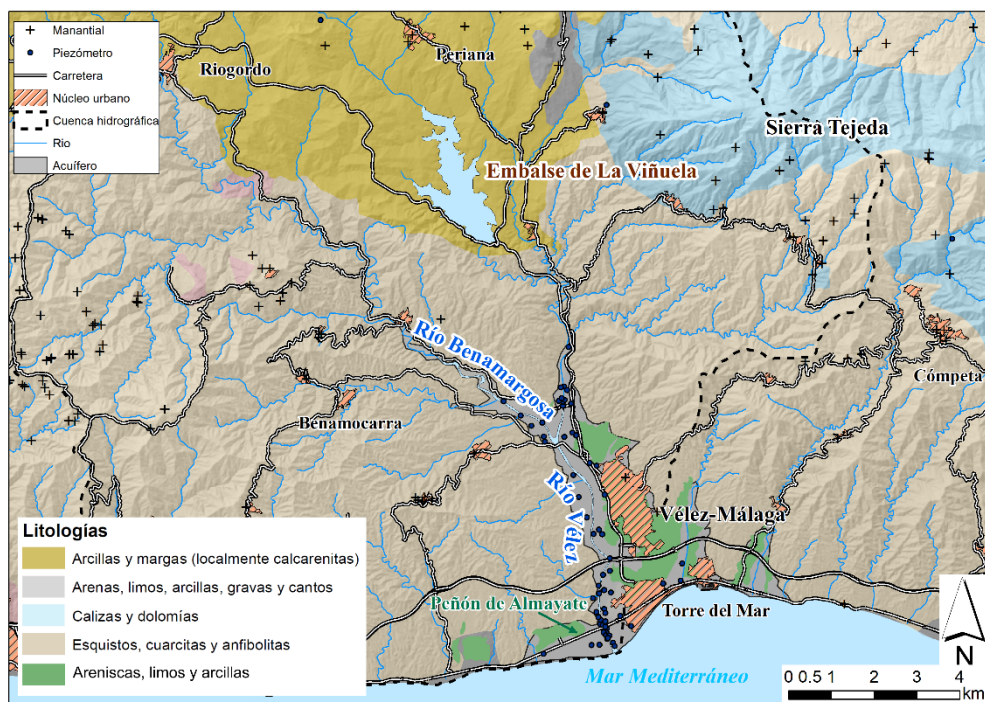


Figura 1. Esquema geológico-hidrogeológico del entorno del tramo bajo del río Vélez

La excursión se centra en el **acuífero detrítico del río Vélez**, situado en el tramo bajo de su valle, en la comarca de la Axarquía, a unos 30 km al E de la ciudad de Málaga (Fig. 1). Coincide con la llanura formada por los depósitos aluviales asociados a la dinámica de los ríos Vélez y Benamargosa. El aprovechamiento histórico de esta llanura ha sido la agricultura de regadío, en especial el cultivo de caña de azúcar y hortalizas, sobre todo en la “vega” de Vélez-Málaga. En los últimos años se ha extendido el cultivo de frutas subtropicales (aguacate y mango), que ocupan también las laderas colindantes.

Los aspectos más relevantes que se tratarán en el **Hidrogeodía 2022** son:

1. Contextos geológico e hidrogeológico del entorno.
2. Consideraciones sobre el acuífero detrítico y su relación con las aguas superficiales del río Vélez.
3. La gestión de los recursos hídricos en esta cuenca mediterránea.
4. Calidad de las aguas subterráneas y su relación con las actividades agrícolas y la intrusión marina.
5. Efectos adversos de la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

Contexto geológico y tipos de rocas

La cuenca hidrográfica del río Vélez tiene una superficie de 610 km² y su cauce principal cuenta con una longitud de 68 km. En los relieves más destacados, como Sierra Tejeda (Figs. 1 y 2), con una altitud máxima de 2065 m s.n.m. (La Maroma), predominan **mármoles** de edad Triásico (hace 220 millones de años –Ma-). Las zonas de la cuenca situadas a cotas intermedias están ocupadas por **arcillas** y **areniscas** (Flysch) de edad Terciario (entre 65 y 5 Ma), y por **esquistos**, **pizarras** y **filitas** del Paleozoico (entre 400 y 300 Ma). En la parte baja de la cuenca, entre Vélez-Málaga y la costa, aparecen de manera discontinua **arenas**, **limos** y **arcillas** de edad Plioceno (entre 5,3 y 2,6 Ma). Finalmente, los depósitos **aluviales** cuaternarios (entre 2,6 Ma y la actualidad) configuran la llanura de inundación del río Vélez, mientras que en su desembocadura (zona del delta) se entremezclan con formaciones costeras y marinas del Plioceno.

Estos depósitos detríticos de tipo aluvial y deltaico son los que forman el **acuífero** del río Vélez, mientras que los materiales más antiguos (sobre todo esquistos) conforman la base y los límites del mismo.



Figura 2. Panorámica del borde oriental del acuífero detrítico del río Vélez, con algunas de las litologías que forman la cuenca (Foto: José Benavente)

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. 3). El agua subterránea sólo puede moverse a través de los poros que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**).

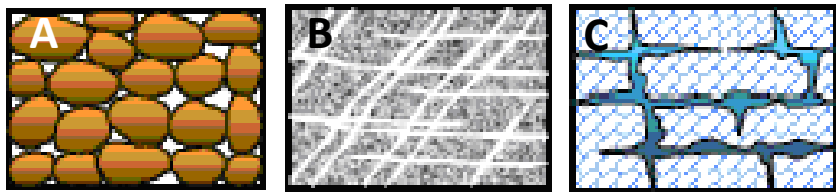


Figura 3. Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (A), por fisuras (B) y por grietas o fracturas ensanchadas por disolución –karstificación– (C)

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una formación rocosa con respecto al volumen total de la misma, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. Cuando se trata de materiales sueltos, el agua ocupa y fluye por los huecos que quedan entre los granos –porosidad intergranular– (Fig. 3A). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuíferos detríticos**, como los existentes en el valle del río Guadalhorce, en la Vega de Antequera o en el valle del río Vélez.

Otras rocas, como las dolomías, calizas o mármoles que constituyen las sierras de Alhama, Tejeda y Almijara 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. 3B). Los procesos de **disolución** o **karstificación** que sufren las rocas carbonáticas ensanchan progresivamente las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 3C). En este contexto es en el que se forman los acuíferos denominados **kársticos**.

Por otro lado, existen rocas de **baja permeabilidad** (arcillas, pizarras, esquistos), con escaso interés acuífero, limitado a la zona de alteración superficial o a la fracturación. Sin embargo, la presencia de estas rocas es clave para definir los **límites espaciales y la geometría** de los acuíferos.

Tipos de acuíferos

❖ **Acuíferos libres:** el agua subterránea está a presión atmosférica (Fig. 4A). No está confinada por una capa impermeable (arcillas, esquistos, etc.).

- ❖ **Acuíferos confinados:** son aquellas formaciones porosas en las que el agua subterránea se encuentra “cautiva” entre dos capas de rocas impermeables (Fig. 4B). El agua subterránea está a una presión mayor que la presión atmosférica.
- ❖ **Acuíferos semiconfinados:** algunas de las capas confinantes son semipermeables, acuitardos (Fig. 4C).
- ❖ **Acuíferos colgados:** se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una recarga, asciende el nivel freático y queda retenido un volumen de agua por un nivel inferior impermeable (Fig. 4D).
- ❖ **Acuíferos multicapa:** son un caso particular (y frecuente) de acuíferos en los que se suceden niveles con distinta permeabilidad (Fig. 4).

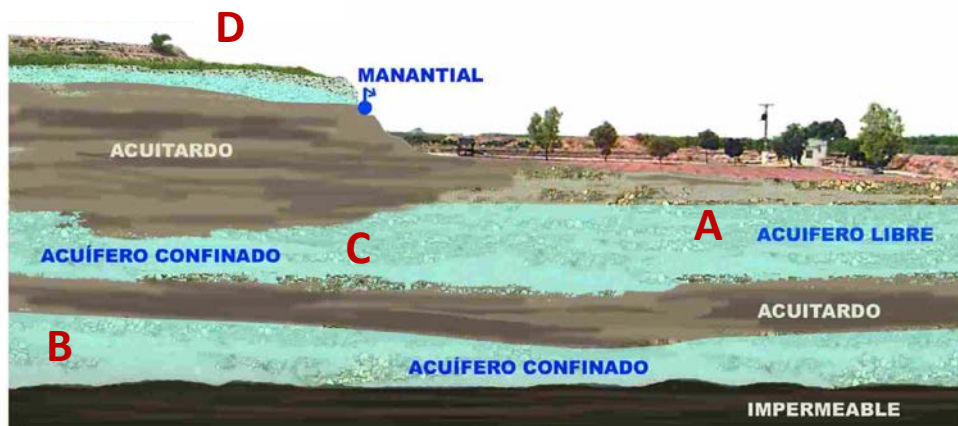


Figura 4. Tipos de acuíferos según la presión a la que se encuentra el agua subterránea (Fuente: IGME)

Evolución del relleno detrítico del río Vélez

A lo largo del tiempo, la cuenca del río Vélez ha cambiado por causas y procesos naturales y también por la influencia antrópica (González, 1996). Gracias al análisis sedimentario, geomorfológico y a los restos arqueológico se puede conocer la evolución geológica e histórica del tramo bajo del actual río Vélez.

En el Plioceno, el valle bajo del río Vélez formaba parte de un mar poco profundo próximo a la costa. Los sedimentos que se depositaron en aquella época (areniscas, limos y arcillas) aparecen hoy a varias decenas de metros por encima del nivel del mar, como en el casco urbano de Vélez-Málaga o en El Peñón de Almayate (Fig. 1), donde se ubica la cantera de Almayate, de la que se extrajo material para la construcción de la Catedral de Málaga (Pezzi, 2005).

Hace 8000 años, el mar se adentraba hasta el actual punto de confluencia de los ríos Vélez y Benamargosa (Fig. 1), los cuales funcionaban como dos cuencas independientes (Fig. 5A). La “vega” de Vélez-Málaga constituiría así una ría.

La colonia fenicia de Toscanos (s. VIII a.C.) se emplazó en la bahía que hubo dentro del estuario de la desembocadura del río Vélez, la cual constituiría una zona lo suficientemente resguardada como para construir un puerto (Fig. 5B).

En la narración de la conquista de Vélez-Málaga por los reinos cristianos, en 1490, se describe como esta se produce gracias a embarcaciones (Fig. 5C), lo que indicaría que el estuario del río Vélez podría haber sido parcialmente navegable en esa época.

En los últimos siglos, las modificaciones se han producido sobre todo en la línea de costa. En el siglo XVIII (Fig. 5D) la costa presentaba una configuración relativamente rectilínea en su desembocadura, con una laguna interior. A partir de esa época, la línea de costa cambia su morfología con la formación del delta (Fig. 5E). En la actualidad, el delta sufre una erosión en la margen occidental a causa de la corriente de deriva de componente E, paralela a la costa, y que se manifiesta especialmente en los temporales de levante. También influye el hecho de que la presa de La Viñuela (Fig. 1) retiene sedimentos.

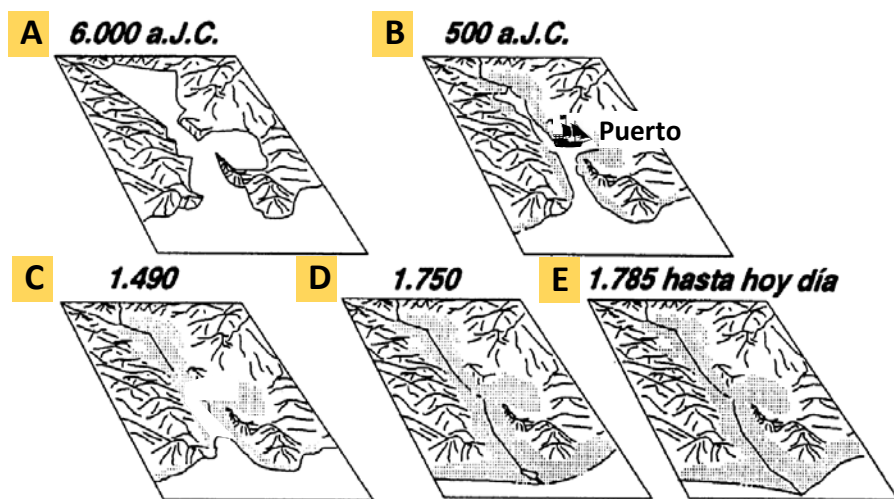


Figura 5. Evolución histórica-geomorfológica del tramo bajo del río Vélez (González, 1996)

El acuífero detrítico del río Vélez

El acuífero principal del río Vélez está formado por depósitos detríticos aluviales (gravas y arenas), que ocupan una extensión aproximada de 20 km² y se encuentran encima de los sedimentos predominantemente margosos del Plioceno. El sustrato o basamento y los bordes del acuífero están constituidos principalmente por esquistos, así como por margas, limos y arcillas, todos ellos de muy baja permeabilidad.

La geometría de los depósitos detríticos está condicionada por la forma del valle fluvial y por fracturas que afectan a las rocas del basamento y provocan la aparición de “escalones”. Los mayores espesores de sedimentos (hasta 75 m) aparecen en la confluencia de los ríos Vélez y Benamargosa, así como cerca de la costa, con más de 60 m de potencia, donde se han diferenciado dos tramos acuíferos separados por un nivel limo-arcilloso (Fig. 6). El tramo superior corresponde a un acuífero libre, mientras que el tramo inferior tiene características de acuífero confinado (García Aróstegui et al., 2007).

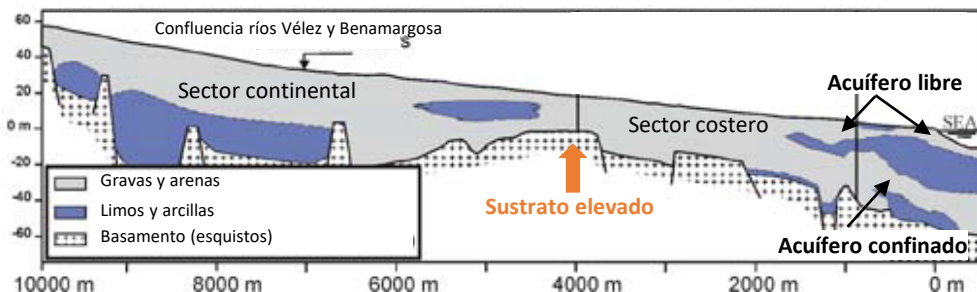


Figura 6 Corte longitudinal del acuífero a lo largo del río Vélez (modificado de García-Aróstegui et al., 2007)

Otra característica geométrica del acuífero, de gran importancia hidrogeológica, es la existencia de una elevación del sustrato a unos 4 km de la costa (Fig. 6), con la consiguiente reducción del espesor del acuífero, cuya base se sitúa a la cota del nivel del mar. Esta estructura permite distinguir un **sector continental** y un **sector costero** dentro del acuífero, independizados en épocas de sequía debido al descenso de los niveles piezométricos por debajo de la cota del mencionado umbral del sustrato.

Acuíferos costeros e intrusión salina

En los acuíferos costeros existe un contacto entre el agua dulce y el agua del mar (Fig. 7) denominado “**interfase**”, cuya posición puede variar por causas naturales como las mareas, variaciones del nivel del mar, variaciones climáticas, etc. Cuando la causa de esta variación es producida por la acción humana (bombeos de agua subterránea del acuífero) se produce **intrusión salina** (Fig. 7). El agua salada se desplaza hacia el continente y ocupa el espacio que antes ocupaba el agua dulce.

La elevación del sustrato que distingue entre el sector continental y el sector costero (Fig. 6) resulta ventajosa desde el punto de vista hidrogeológico, ya que imposibilitaría el avance de la **intrusión marina** aguas arriba de dicho umbral.

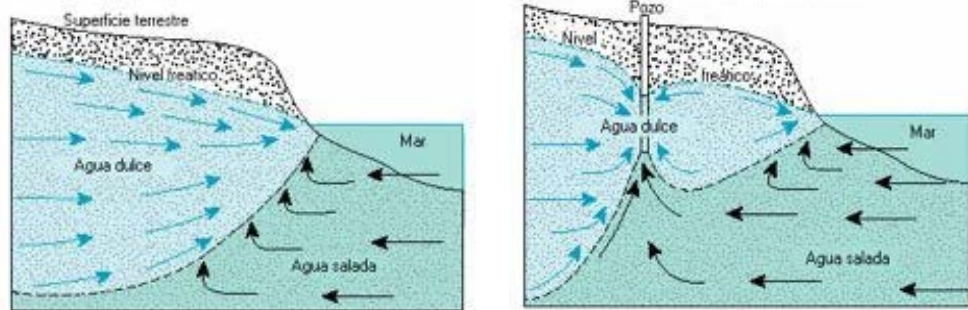


Figura 7. Esquema de un acuífero costero en condiciones naturales (izquierda) y en condiciones influenciadas por bombeos con intrusión salina (derecha)

Como se comentó previamente, en el sector costero del acuífero la presencia de limos y arcillas impermeables separa **dos niveles de acuíferos superpuestos** (Fig. 6): uno superior de tipo libre y otro inferior de tipo confinado. Debido al reducido espesor del acuífero superior, no se ha constatado la existencia de una interfase agua dulce-agua salada, aunque las aguas de este tramo presentan salinidades moderadas (entre 2 y 3 g/l).

En el acuífero inferior, se ha identificado claramente la zona de transición agua dulce-agua salada. Debido a la sequía acaecida en 1995, se produjeron procesos de intrusión marina en este acuífero (con valores de varias decenas de mS/cm). Sin embargo, las precipitaciones que tuvieron lugar en 1996 provocaron una mejora significativa de la calidad del agua y un proceso de “extrusión” o desalojo hacia el mar del agua marina almacenada previamente en el acuífero. Esta disminución de la salinidad continuó progresando y los registros realizados en marzo de 1997, año también lluvioso, mostraron valores de conductividad eléctrica del agua inferiores a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta situación de extrusión marina y recuperación de la calidad de las aguas del acuífero inferior se ha mantenido hasta hace pocos años, gracias a la reducción de la explotación, si bien podría volver a darse si aumentan los bombeos.

La gestión de los recursos hídricos

El agua que recarga los acuíferos puede proceder de fuentes distintas: infiltración de lluvia y fusión de nieve, agua de los ríos que circulan sobre el acuífero o retorno de riegos, entre otros. En algunos casos, como en Sierra Tejeda (acuífero carbonático), los recursos son “propios”, es decir, su alimentación se produce por infiltración de agua de lluvia o de fusión nival sobre la superficie del acuífero. En el acuífero del río Vélez, la infiltración sobre la superficie permeable (tanto por infiltración de agua de lluvia como de excedentes o retorno de riegos) es inferior que la recarga procedente del caudal que circula por el río sobre el acuífero.

Sin embargo, desde mediados de la década de 1990, el régimen de caudales del río Vélez está modulado por la entrada en funcionamiento de la presa de La Viñuela, lo que afecta a la recarga del acuífero y a la disponibilidad final de recursos (Fig. 8).



Figura 8. Cuenca hidrográfica del río Vélez y principales elementos de gestión hídrica (García-Aróstegui et al., 2005)

La gestión de los recursos hídricos en la cuenca incluye, por tanto, el **uso conjunto** de aguas superficiales (reguladas mediante el embalse de La Viñuela) y aguas subterráneas (explotación del acuífero del río Vélez), lo que requiere de un correcto estudio y uso de los recursos y las reservas del acuífero.

A partir de finales de los años setenta, el aumento paulatino de la demanda para abastecimiento urbano y riego, ligado a la ampliación sustancial de la superficie dedicada a los cultivos subtropicales sobre las laderas próximas al valle aluvial, provocó el aumento del caudal bombeado en un número creciente de captaciones de agua subterránea y la sustitución de captaciones de excavación manual (pozos y galerías) por sondeos. La explotación de las aguas subterráneas del acuífero detrítico contribuyó así al desarrollo económico de esta comarca, pero la falta de planificación pronto dio lugar a la aparición de síntomas negativos relacionados con la explotación intensiva.

Así, en verano, se registraban importantes descensos de los niveles piezométricos, especialmente en años secos y empezó a advertirse un progresivo deterioro de la calidad del agua subterránea asociado a la **intrusión marina**.

A mediados de los 90, coincidiendo con un periodo severo de sequía, el acuífero sufrió una reducción considerable de sus recursos hídricos, con acusados descensos del nivel piezométrico. A finales del verano de 1995, la escasez de reservas en el embalse y la sobreexplotación del acuífero fue tal que generó graves problemas para cubrir el abastecimiento de la población (unas 60.000 personas, y el doble durante el verano), así como para cubrir el riego de los cultivos (unas 4.000 ha). 1996 y 1997 marcaron el final de la sequía, puesto que fueron años bastante lluviosos: los niveles piezométricos del acuífero se recuperaron rápidamente y la intrusión salina retrocedió considerablemente.

El régimen hidrológico del acuífero detrítico está condicionado por la gestión del embalse de La Viñuela. Su puesta en marcha tuvo lugar en el año 1989, tiene una capacidad de 173 hm³ y se logra regular el 72% de la superficie total de la cuenca hidrográfica.

La calidad de las aguas

En España, la mayor parte de la población se beneficia, de forma directa o indirecta, de los diferentes usos del agua subterránea (Fig. 9). Es, por tanto, de vital importancia conocer y preservar el agua subterránea, ya que sostiene nuestros ríos y ecosistemas, apoya nuestra agricultura, quita nuestra sed y hace frente a los efectos generados por el cambio climático y las sequías.

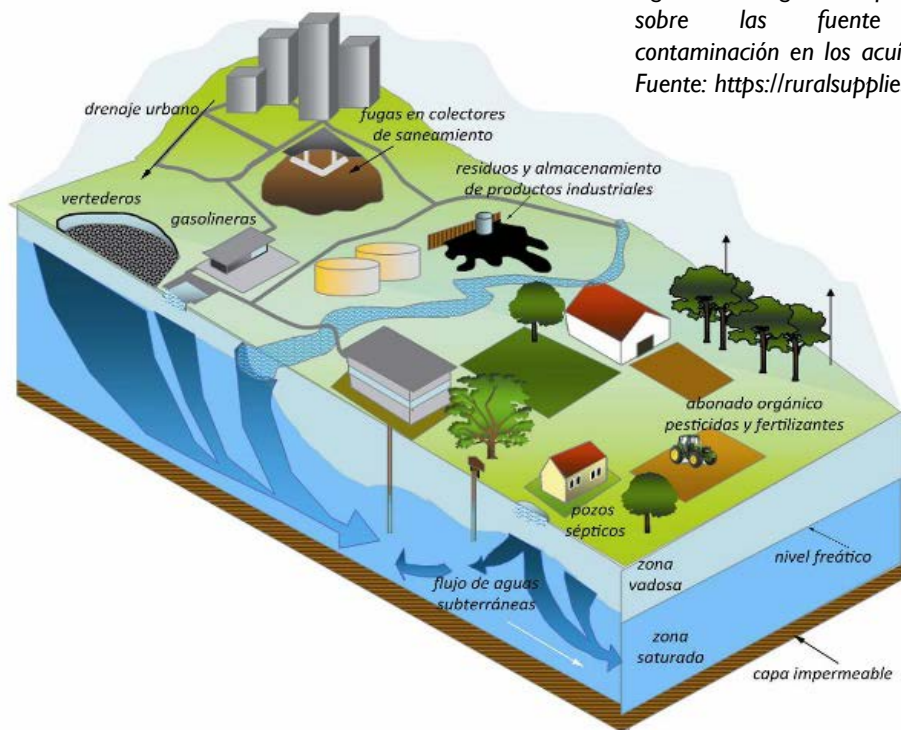
Figura 9. Consumo de agua en España. Fuente: www.pwc.es (Autor: Pablo González-Cebrián)



La calidad del agua depende del uso para el que está destinada. Por lo general, se comparan las características físicas y químicas de la muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

Entre los factores que contribuyen al deterioro de la calidad del agua subterránea (Fig. 10) en el acuífero del río Vélez, destacan la presencia de **nitratos** y **pesticidas** (García Aróstegui et al., 1996). La contaminación por **nitratos** es generalizada en la mayor parte del acuífero y está íntimamente relacionada con la agricultura intensiva, el uso extensivo de fertilizantes inorgánicos y la forma de usarlos, así como el riego con aguas residuales. La aplicación de nitrógeno para mejorar la producción de los cultivos ha sido elevada durante las últimas décadas, con valores de 400 kg de nitrógeno por hectárea y año, sobre todo durante los meses de noviembre a abril. Los contenidos más elevados se observan en la **parte central** del sector aluvial y en el **sector costero**.

Figura 10. Diagrama explicativo sobre las fuentes de contaminación en los acuíferos.
Fuente: <https://ruralsupplies.eu/>



Otros factores que influyen en la contaminación por nitratos son las tasas de riego e infiltración. En momentos en los que la lluvia es elevada, se favorece el lavado del exceso de nitrógeno acumulado en el suelo durante los periodos secos.

En cuanto a los **pesticidas**, las sustancias contaminantes provienen de herbicidas e insecticidas. Aunque aparezcan en concentraciones por debajo de los niveles máximos permitidos, su mera presencia es preocupante debido a su persistencia en el medio. También se ha constatado la presencia de contaminantes como fármacos y productos de cuidado personal e higiene.

La excursión del Hidrogeodía 2022 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 o sanitarias 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...

Escolano, A., Carrasco, F. (1988). Estudio hidrogeológico de los acuíferos costeros de la Cuenca del río Vélez. Tecnología de la Intrusión de acuíferos costeros. TIAC 88.

García Aróstegui, J. L., Cruz San Julián, J. J., Hidalgo Estévez, M. C., & Carrasco Cantos, F. (1996). Deterioro de la calidad de las aguas subterráneas en el acuífero del Río Vélez en el período 1985-1994 (Málaga, España).

García-Aróstegui, J.L., Hidalgo, M. C., & Benavente, J. (2005). Groundwater quality monitoring in a coastal Mediterranean aquifer affected by agricultural contamination and seawater intrusion-extrusion processes (Vélez river, Andalusia, Spain). Monitoring, modelling and management of coastal aquifers. Instituto Geológico y Minero de España, Granada, 301-313.

García-Aróstegui, J.L. y Benavente, J., (2007). Procesos de intrusión-extrusión... Boletín Geológico y Minero, 118 (Núm. Especial): 671-682.

González, J. M. S. (1996). El modelado de la cuenca del río Vélez (provincia de Málaga). BAETICA. Estudios de Historia Moderna y Contemporánea, (18).

Pezzi, P. (2005). La cantera de Almayate y su aprovechamiento para la obra de la catedral de Málaga: la configuración de una efímera actividad extractora. Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia, 27: 437-454. ISSN: 0212-5099.

Vadillo, I., Herrera, J. B., Estala, B. U., Gavilán, P. J., & Almécija, C. (2017). Aquifer-river interaction in the Río Vélez aquifer (Málaga, Spain) based on hydrochemical (SO_4^{2-} , NO_3^-) and stable isotope ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) data. Geogaceta, (62), 95-98.

Los monitores

José María Ávila Marín
Juan Antonio Barberá Fornell
Alejandro Carrasco Martín
Beatriz de la Torre Martínez
Jaime Fernández Ortega
José Manuel Gil Márquez
José Pablo González de Aguilar
Etchemendi
Luis Linares Girela
Cristina Liñán Baena
Marta Llamas Dios
José Francisco Martín
Rodríguez
Matías Mudarra Martínez
José Manuel Nieto López
Lucía Ojeda Rodríguez
María Dolores Rodríguez-Ruiz
Juan José Rovira Medina
Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

Agradecimientos

Nuestro **agradecimiento** a las **instituciones** que han apoyado y/o colaborado con la actividad **“Hidrogeodía 2022 Málaga”**.

ORGANIZAN:

COLABORAN:



Ayuntamiento de Vélez-Málaga
Medio Ambiente y Sostenibilidad



Gran Senda
Senda Málaga

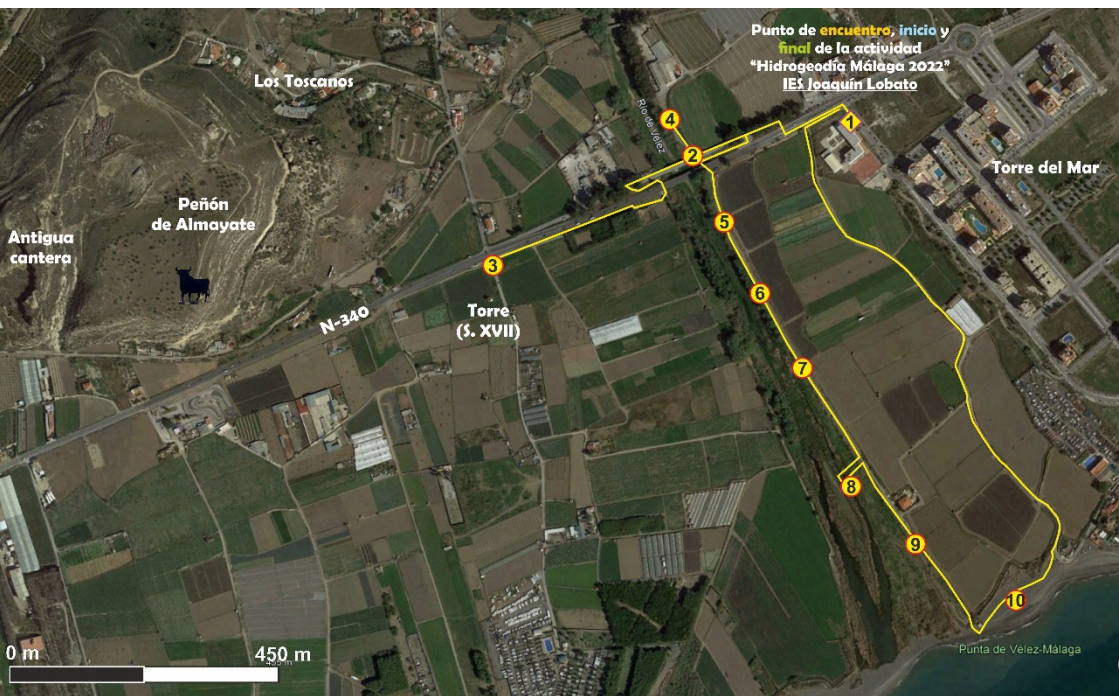


diputación de Málaga
Medio Ambiente
Turismo Interior
Cambio Climático



Senda Litoral





Notas