

Molí de la Font Castelló



Ajuntament de
Castelló

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión de l@s hidrogeólog@s que se organiza con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo) por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólog@s y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Castelló, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en el entorno conocido como **Paraje Natural del Molí de la Font y Font de la Reina**, donde se encuentra una galería que da origen a una caudalosa y bonita surgencia de agua subterránea (Foto de portada).

El hilo argumental de la visita lo constituyen las aguas subterráneas de esta zona y las actividades que l@s hidrogeólog@s realizan para el análisis y estudio de las mismas.



Figura 1: Punto de encuentro en la ermita de Sant Francesc de la Font.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro es la **Ermita de Sant Francesc de la Font** (Figuras 1, 2).

Este punto se sitúa a unos 3 km al norte del TM de Castelló, cerca del límite con el TM de Benicàssim:

Los visitantes deberán estacionar en el parking habilitado por el Ayuntamiento anexo a la Ermita de Sant Francesc de la Font:

<https://maps.app.goo.gl/kd8GDxZqgzyi7sCb8>

Se ruega **puntualidad**.

La **hora de inicio será a las 10.00 de la mañana** del día **15 de marzo de 2025**, siendo la duración aproximada de la visita de unas **3 horas**.

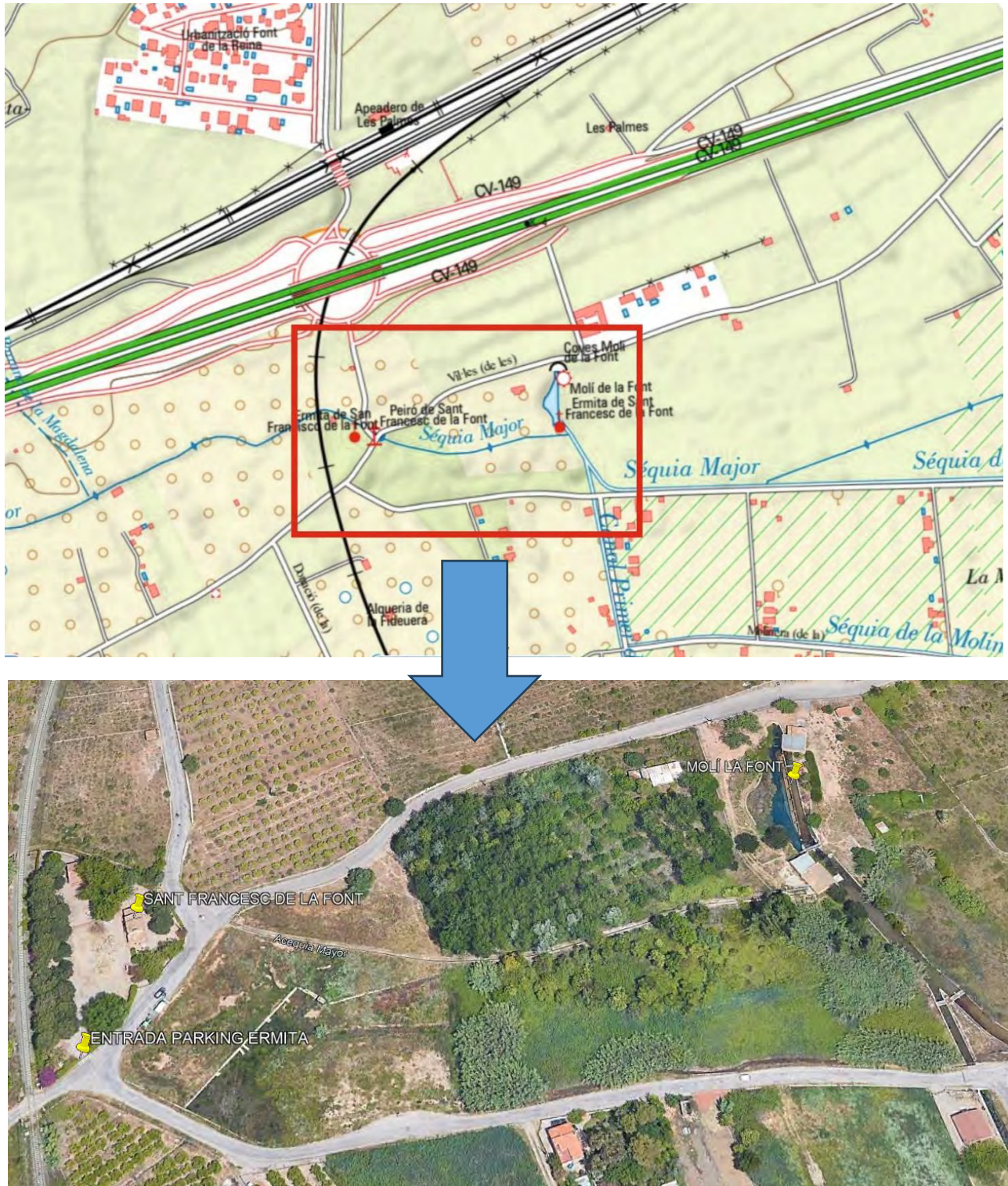


Figura 2: Mapa y foto aérea del punto de encuentro (Ermita St. Francesc de la Font) y del Moli la Font

IMPORTANTE

La excursión que se propone es **gratuita y voluntaria**, pero es **obligatorio** que toda persona interesada en asistir realice **reserva previa** al correo

joseantoniominguezsanchez@gmail.com indicando nombre y asistencia de menores.

La organización NO dispone de seguro de accidentes ni de responsabilidad civil, por lo que no se responsabiliza de la pérdida o desperfecto que pueda producirse en los objetos personales ni de cualquier accidente que puedan sufrir los asistentes a la jornada.

El itinerario es sencillo, se realiza a pie y es accesible para todo tipo de público (sillas de ruedas, carritos infantiles...). En el recorrido, de apenas 500 m de longitud entre la ermita y el Molí de la Font (Figura 3), se realizarán diversas paradas en las que se irán explicando diferentes conceptos relacionados con la hidrogeología y las aguas subterráneas.

El mapa de la ruta prevista se adjunta en la última página de esta guía.

Hay que indicar que en las fechas en las que se realiza la visita puede darse cualquier circunstancia climática, desde lluvias intensas y frío, hasta días de sol radiante y calor. Por ello, con antelación a la excursión, los asistentes deberán estar atentos a las previsiones meteorológicas, y **llevar ropa de abrigo, gorra y calzado apropiados y/o al aviso de cancelación de la jornada**. De igual forma, al estar en un entorno natural con manantiales, zonas de marjal, canales de riego, etc., es frecuente la presencia de insectos (mosquitos especialmente), por lo que se recomienda usar algún tipo de protección o repelente.

Aunque el recorrido es corto, la duración de la actividad será de 3 – 4 horas, por lo que se recomienda **llevar algo de comida y bebida, si bien está previsto acondicionar un punto de abastecimiento de agua y la instalación de servicios urinarios portátiles**.

Finalmente, conviene recordar que nos encontramos en un **espacio natural de alto valor** que debemos aprender tanto a **disfrutarlo** como a **conservarlo**.

Figura 3: Cartel anunciador del paraje “Molí de la Font”.



¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

Es la disciplina que estudia el origen y formación de las aguas subterráneas, su almacenamiento, movimiento y distribución en el medio geológico, su interacción con el mismo, sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas, así como su explotación, posibles usos y gestión, las repercusiones en el medio físico y biológico y sus reacciones a causa de la actividad humana.

QUÉ VEREMOS

Dentro de la temática hidrogeológica general que motiva este encuentro, en cada parada se tratarán con más detalle algunos conceptos que se enumeran a continuación:

Parada 1 (Ermita de Sant Francesc de la Font): La hidrogeología y los acuíferos

- Bienvenida a l@s asistentes.
- ¿Qué es el hidrogeodía?
- La hidrogeología y la actividad de l@s hidrogeolog@s
- Concepto de acuífero
- Formaciones permeables e impermeables
- Formación de rocas sedimentarias
- Estratificación
- Concepto de manantial y nivel freático o piezométrico
- Encuadre hidrogeológico
- Mapa geológico
- Áreas de recarga y de descarga de los acuíferos

- Periodos de tránsito de las aguas subterráneas

Parada 2 (Ermita de Sant Francesc de la Font): La importancia de las aguas subterráneas

- La importancia de las aguas subterráneas
- Ejemplos de su uso: agricultura, industria, abastecimiento urbano, etc.
- Explotación de las aguas subterráneas a lo largo de la historia

Parada 3 (Molí de la Font): Captación de aguas subterráneas

- Técnicas actuales de captación de aguas subterráneas

Parada 4 (Molí de la Font): La galería del Molí de la Font

- Galería del Molí de la Font

Parada 5 (Molí de la Font): La relación río-acuífero y el balance hídrico de un acuífero

- Relación río-acuífero
- Balance hídrico de un acuífero

Parada 6 (Molí de la Font): Muestreo de aguas y medidas “in situ”

- Medidas “in situ”:
 - Nivel piezométrico con sonda
 - Medida del pH, conductividad eléctrica (C.E.) (equivalencia a la salinidad) y temperatura
 - Medida del caudal en sección con nivel y con aforador
 - Muestreo de aguas subterráneas
- Las aguas embotelladas y el agua de consumo
- Fin de la jornada

PARADA 1: LA HIDROGEOLOGÍA Y LOS ACUÍFEROS

En primer lugar, hemos de comprender de forma sencilla el concepto de **acuífero**, que no es más que un **recipiente o depósito de agua bajo tierra que permite tanto almacenar agua como su transmisión o circulación**.

Los acuíferos, por tanto, están constituidos por materiales (rocas) permeables y están delimitados, al menos en su base, por otros materiales de naturaleza impermeable.

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas con poros y huecos donde el agua además de almacenarse puede circular.

Es decir, los acuíferos están constituidos por capas de terreno **permeables saturadas de agua**. Sin embargo, los terrenos impermeables, aquellas capas de terreno que no permiten el paso del agua, realizan la función de cierre o vaso estanco.

Para entender el concepto de acuífero (nivel acuífero o capa acuífera) es necesario previamente comprender cómo se han formado esas capas, esos niveles o **estratos**. El proceso por el cual un material se transforma en un estrato se denomina **estratificación** y se produce cuando los sedimentos se van acumulando en el fondo marino en delgadas capas que se van compactando y endureciendo hasta formar estratos sucesivos, unos sobre otros, como tablas (Figura 4).

Es decir, la disposición en estratos (estratificación), que es propia de las **rocas sedimentarias**, obedece al proceso de **sedimentación**, que consiste en la acumulación de material preexistente (sedimento) originado por procesos biológicos, químicos o físicos que se compacta progresivamente hasta generar capas o niveles (**estratos**) rocosos (Figura 4).

En función de las características de permeabilidad de las capas resultantes se podrá hablar de **niveles o estratos permeables**, por presentar huecos o poros interconectados en los que se puede almacenar agua de tal forma que esta puede circular entre esos huecos. Cuando estos huecos se encuentran saturados de agua constituyen **acuíferos** que pueden ser explotados.

Por el contrario, los **niveles impermeables** o de baja permeabilidad (capas del terreno que no permiten el paso del agua y realizan la función de estancamiento o cierre, basal o lateral, de los acuíferos) se conocen como **acuicludos**.

Para entender mejor todos estos conceptos, el proceso de sedimentación puede compararse con el de realización de un pastel con distintas capas o niveles de producto.

Si tomamos como ejemplo un pastel con capas alternantes de bizcocho y nata o chocolate, podríamos asimilar estas capas o niveles como diferentes estratos de material que se van superponiendo unos a otros hasta formar paquetes de rocas de gran espesor y con distintas características hidrogeológicas, por ejemplo, niveles permeables (acuíferos) o impermeables (acuicludos) (Figuras 5 y 6).



Figura 4: Capas de calizas depositadas en estratos

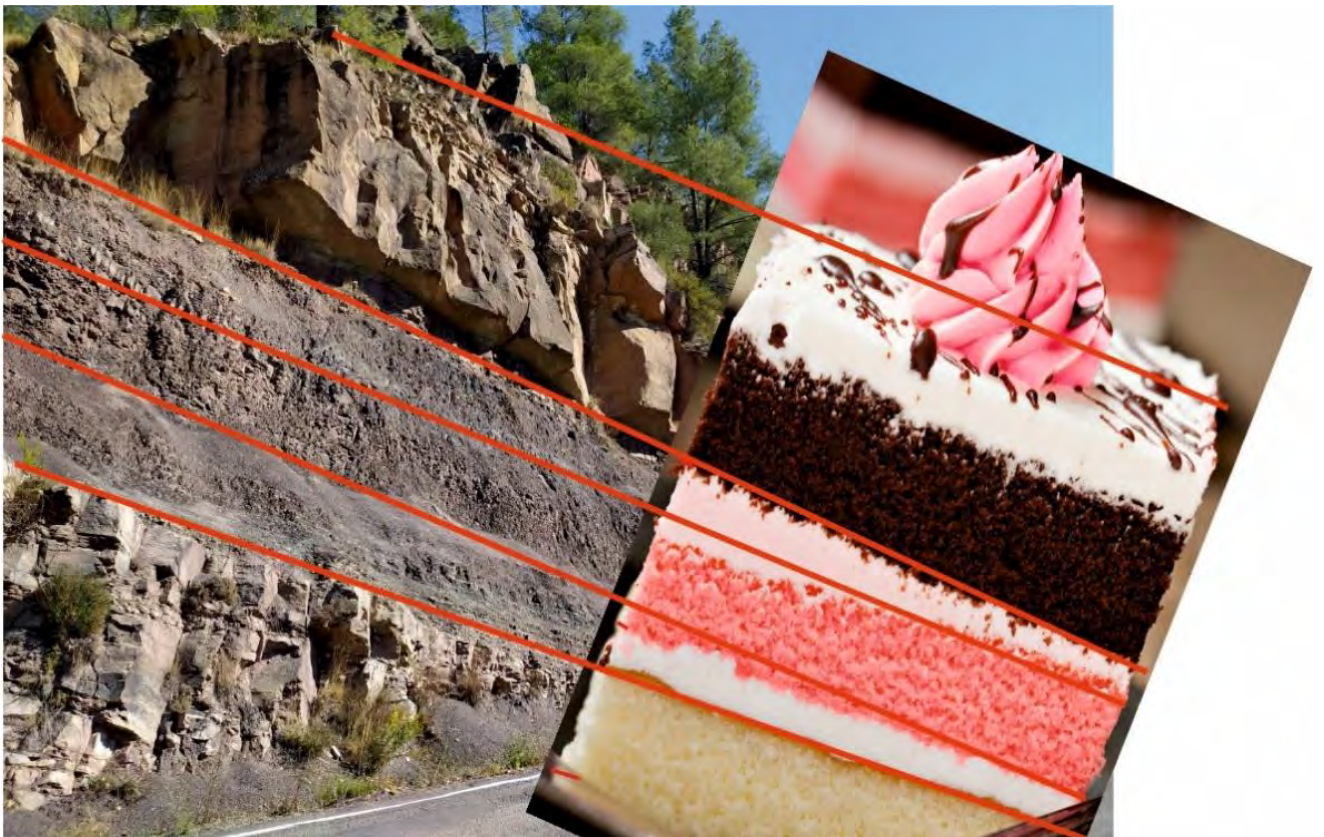


Figura 5: Capas de diferentes materiales (impermeables y permeables)

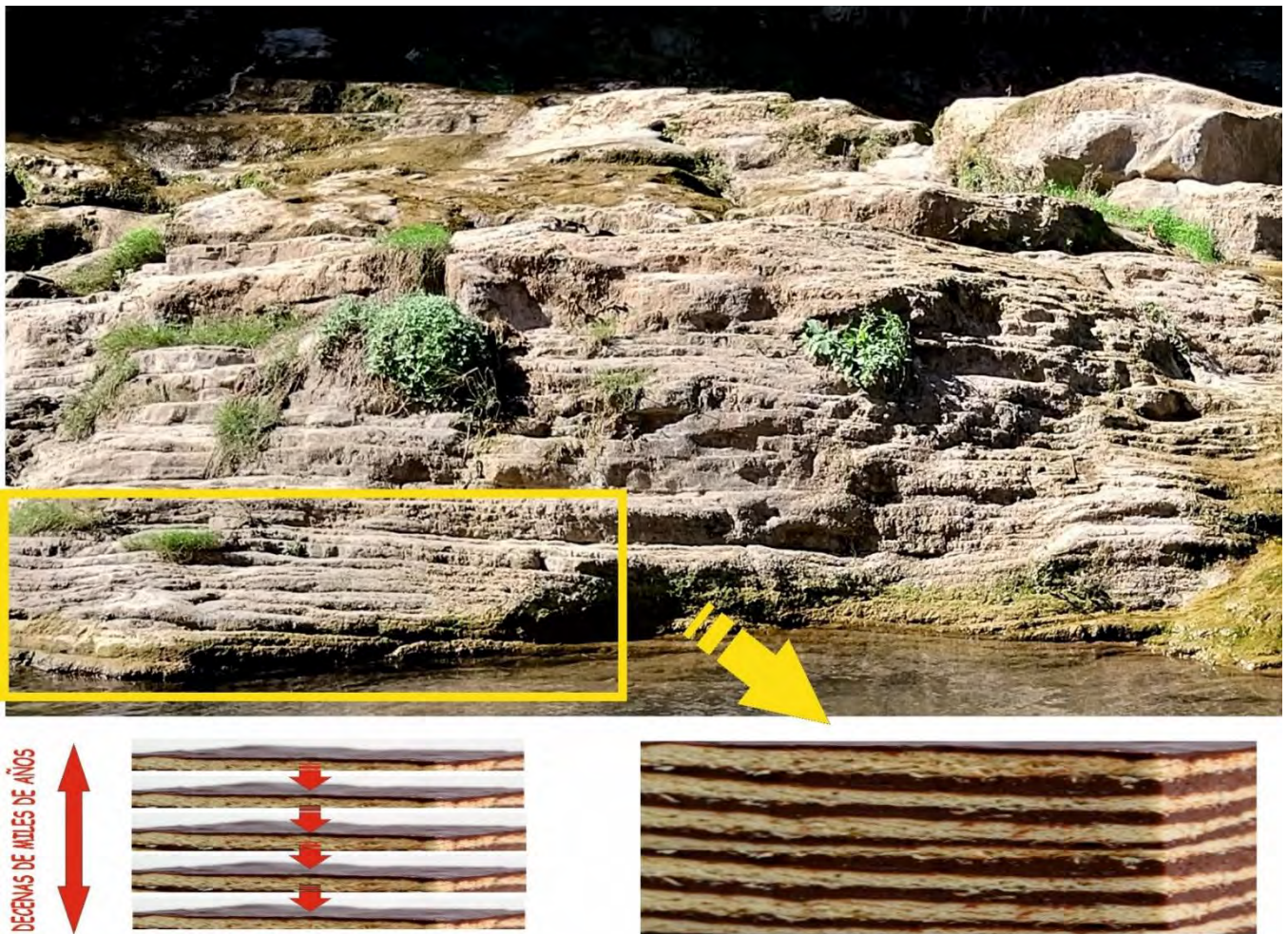


Figura 6: Calizas estratificadas de forma laminar o tabular, es decir, en pequeños estratos centimétricos.

Los acuíferos, por tanto, son depósitos subterráneos de agua, y tienen unos límites que pueden definirse. Así, los acuíferos pueden individualizarse y representarse sobre mapas topográficos o geológicos (Figura 7) y estudiarse por separado, pese a que unos acuíferos pueden estar en contacto con otros y haber relaciones entre ellos.

El agua subterránea es el agua contenida en los huecos o vacíos que hay en un suelo o masa rocosa.

La labor esencial de los hidrogeólogos es el estudio de las aguas subterráneas.

Estas, son unas grandes desconocidas para el público en general y, por ende, es desconocida su enorme importancia.

En un acuífero el agua no permanece estancada, sino que se mueve desde las denominadas **áreas de recarga** (zonas permeables situadas en los sectores más elevados del acuífero) hacia las **áreas de descarga** o sectores del acuífero donde se produce prioritariamente un drenaje o descarga de los recursos hídricos del mismo (Figura 8). Estas descargas pueden producirse en tramos de ríos que ganan caudal, constituir manantiales y grandes surgencias o realizarse

de forma subterránea hacia otros acuíferos o directamente al mar. Los principales puntos de descarga del acuífero se sitúan, en general, en los sectores más bajos del acuífero.

Este tránsito es generalmente lento o muy lento, pudiendo durar miles de años en función de la distancia entre las áreas de recarga y descarga, de la profundidad que alcancen los flujos subterráneos y de las características hidrodinámicas del acuífero (terrenos más o menos permeables).

Como excepción se encuentran los acuíferos muy karstificados en los que las aguas subterráneas se canalizan por grandes fracturas y el flujo subterráneo puede ser muy rápido.

En muchos casos, la aparición de un manantial se produce cuando contactan materiales permeables (conglomerados, calizas, areniscas...) que son los que constituyen el acuífero en el que se almacena el agua subterránea y materiales impermeables (arcillas, margas...) que ejercen de límite o barrera para el flujo subterráneo (Figura 8).



Figura 7: Contexto geológico del Molí la Font

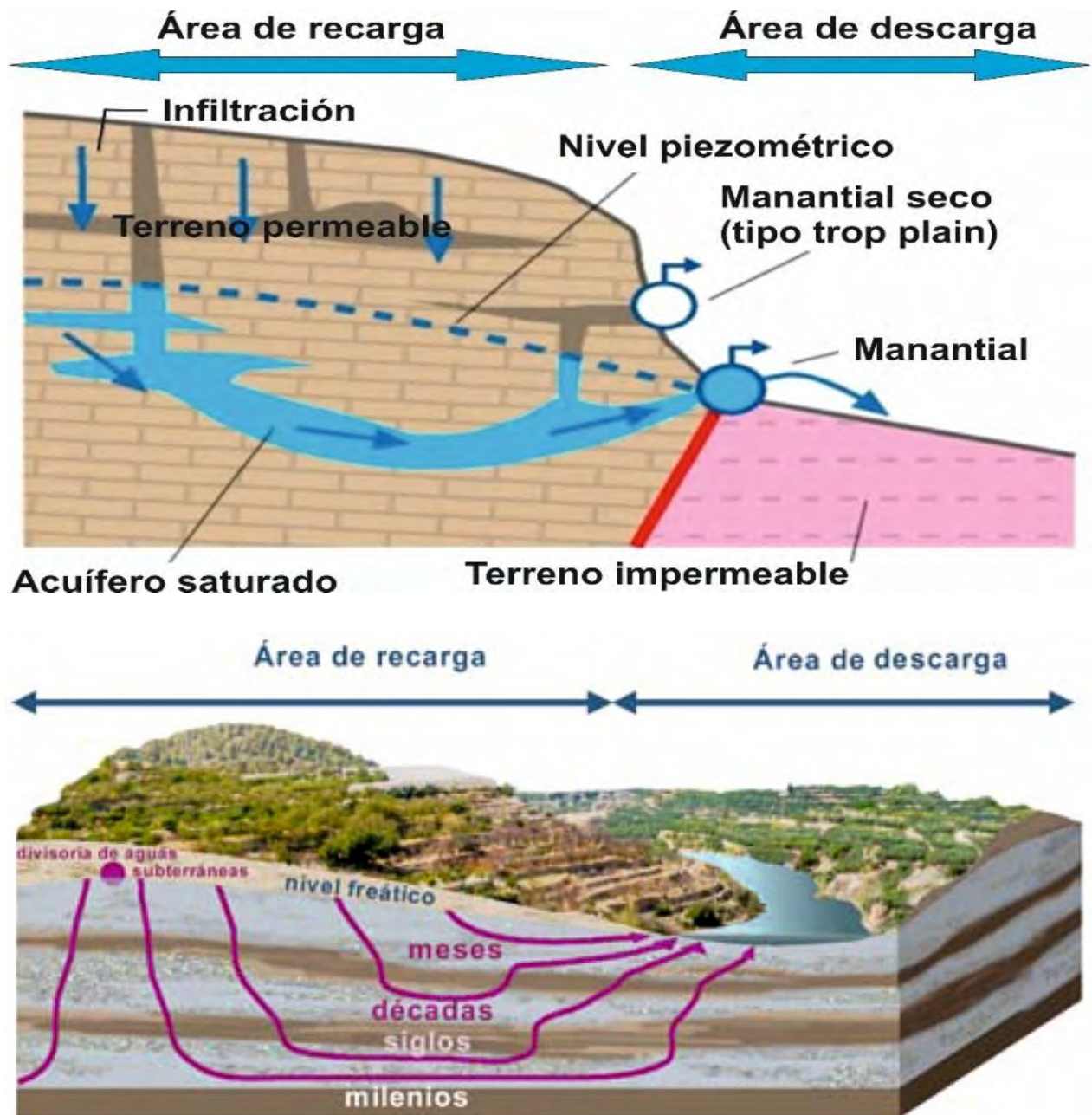


Figura 8: Áreas de recarga y descarga de acuíferos A) ejemplo de un acuífero kárstico y B) periodos de tránsito de las aguas subterráneas (López Geta, et al. 2009)

PARADA 2: LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Esta parada se centra en explicar la importancia de las aguas subterráneas que son unas grandes desconocidas, pese a que constituyen un importante recurso ya que de ellas dependen tanto infinidad de ecosistemas y las especies que los habitan como el abastecimiento a muchas poblaciones y a múltiples sectores económicos.

Del total de agua existente en la tierra, tan solo un 2,5% es agua dulce, el resto ocupa los océanos y mares salados.

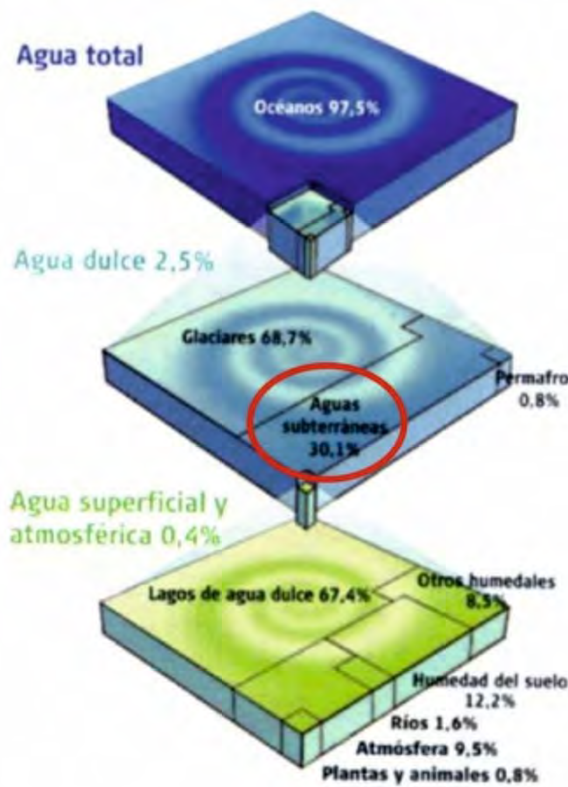
De este 2,5%, casi un 69% se encuentra en forma de hielo en los glaciares de los casquetes polares y en los de las cumbres de las grandes cordilleras, es decir, es un agua que no podemos usar ya que no se encuentra cerca de las áreas en las que vivimos. Queda así algo más de un 30% de agua dulce utilizable de la que únicamente un 0,4% se encuentra en los ríos, lagos y la atmósfera (Figuras 11 y 12).

Por tanto, ¿qué proporción de agua dulce queda? y ¿dónde se encuentra esa agua?

Efectivamente, casi el **30% del agua dulce del planeta es AGUA SUBTERRÁNEA** que, además, prácticamente en su totalidad podemos utilizar.



Figuras 9 y 10: Noria y pozo de la ermita de Sant Francesc de la Font



Shiklomanov y Rodda (2003). "World Water Resources at the Beginning of the 21st Century".
Distribución global del agua en el mundo.
Volumen total de agua: 35,2 millones de km³

AGUA DULCE EN LA TIERRA

(Shiklomanov - 1997)



AGUA CONGELADA = 68,7 %:
Glaciares polares
y glaciares de montaña

PERMAFROST = 0,85
Agua congelada en los
suelos de zonas árticas

AGUA SUBTERRÁNEA = 30,1 %:
Agua de los acuíferos

AGUA EN LAGOS = 0,26 %

AGUA DE RÍOS = 0,006 %

AGUA EN LA BIOMASA = 0,003 %
Plantas y animales

AGUA EN LA ATMÓSFERA = 0,04 %

AGUA TOTAL EN LA TIERRA



AGUA SALADA

AGUA DULCE



Figuras 11 y 12: La importancia de las aguas subterráneas.
(Elaboración propia)

Antiguamente, los seres humanos se abastecían directamente de los ríos, lagos y manantiales de agua dulce. Luego descubrieron que en algunas zonas, excavando agujeros o pozos (Figuras 9 y 10) de escasa profundidad o pequeñas galerías, se llegaba hasta el nivel del agua subterránea o **nivel freático**, que es el nivel por debajo del cual un acuífero está permanentemente saturado de agua. A partir de ese momento las poblaciones pudieron asentarse en muchas áreas y desarrollarse.

Para tener más conciencia de la importancia del agua dulce y, consecuentemente, del agua subterránea, vamos a poner algunos ejemplos del consumo que hacemos de la misma.

El agua dulce, que es esencial para la vida, se utiliza principalmente para la agricultura y en mucha menor medida para la industria y el abastecimiento urbano (Figura 13).

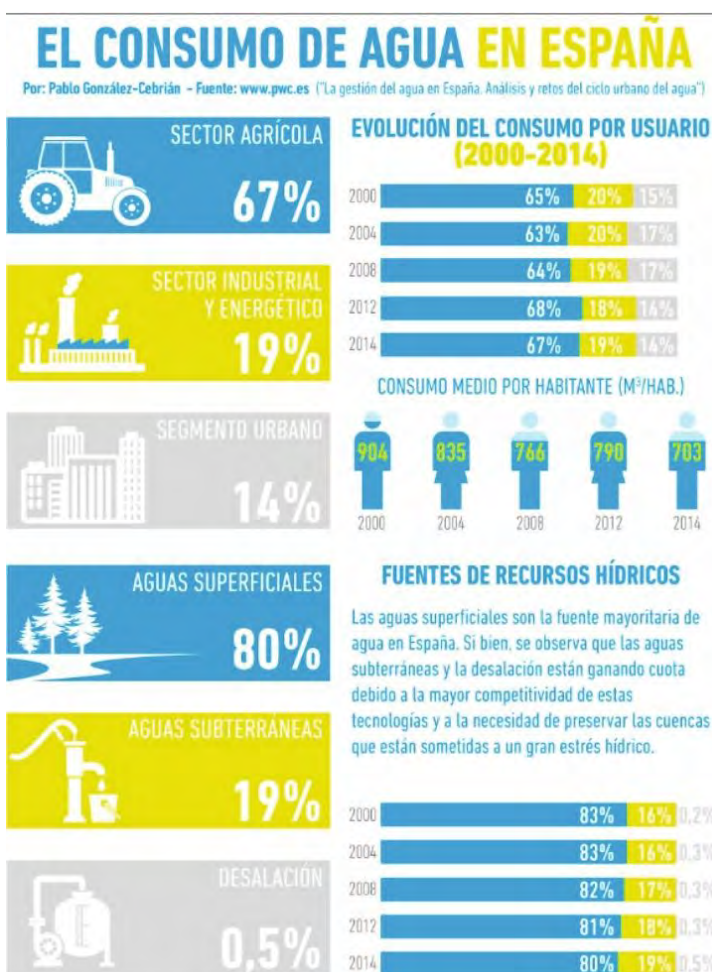
El agua de abastecimiento urbano, pese a que supone apenas el 14 % de consumo total tiene unos costes, a consecuencia del suministro y la depuración, elevados (Figura 14).

Un ejemplo significativo de la importancia de las aguas subterráneas es el abastecimiento urbano de la provincia de Castelló, donde prácticamente el 100 % de la población consume aguas subterráneas de diferentes acuíferos gracias a pozos o sondeos de explotación.

En el caso de la agricultura se establecen unas dotaciones por cultivo. En la cuenca hidrográfica del Júcar la dotación media neta para el arroz es de unos 9.500 m³/ha/año (Figura 15), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m³/ha/año).

Para comprender aún mejor la gran importancia de las aguas subterráneas el

hidrogeólogo B.J. Ballesteros (IGME – Valencia) ha realizado una estimación que da lugar al siguiente escenario hipotético: **si en la cuenca hidrográfica del río Júcar no hubiera embalses, canalizaciones o pozos y, además, no hubiera acuíferos, es decir, NO EXISTIERAN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, si no lloviera durante 12 días, EL CAUCE SE SECARÍA ya que transcurrido ese tiempo la última gota de agua superficial de la cuenca llegaría al mar.** Esto, afortunadamente, no sucede porque existen los acuíferos que, a través de numerosos manantiales, van drenando agua subterránea al río permitiendo que lleve agua incluso durante largas sequías.



Figuras 13: Usos del agua por sectores (de Pablo González Cebrián)

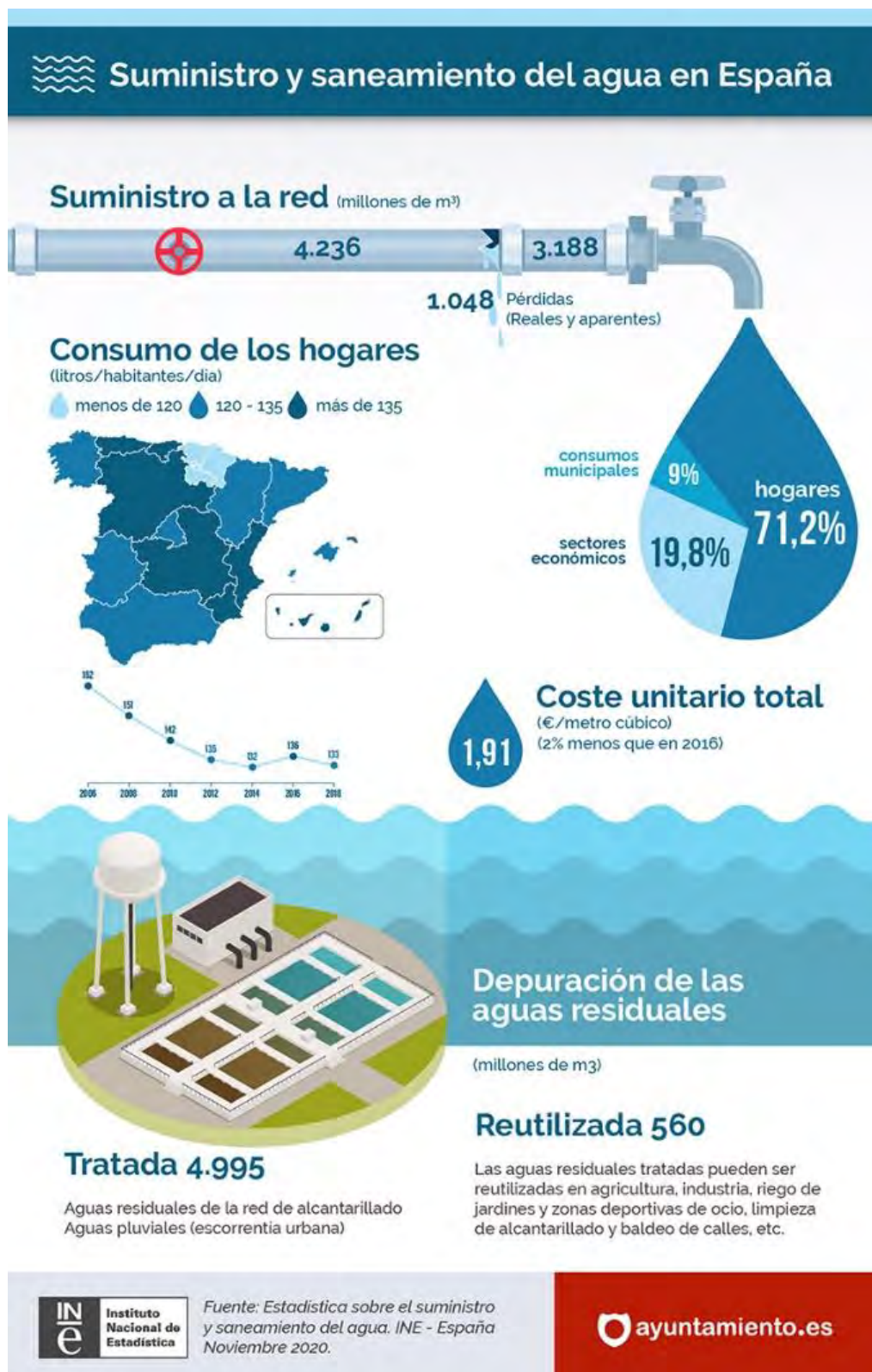


Figura 14: Suministro y saneamiento de agua en España

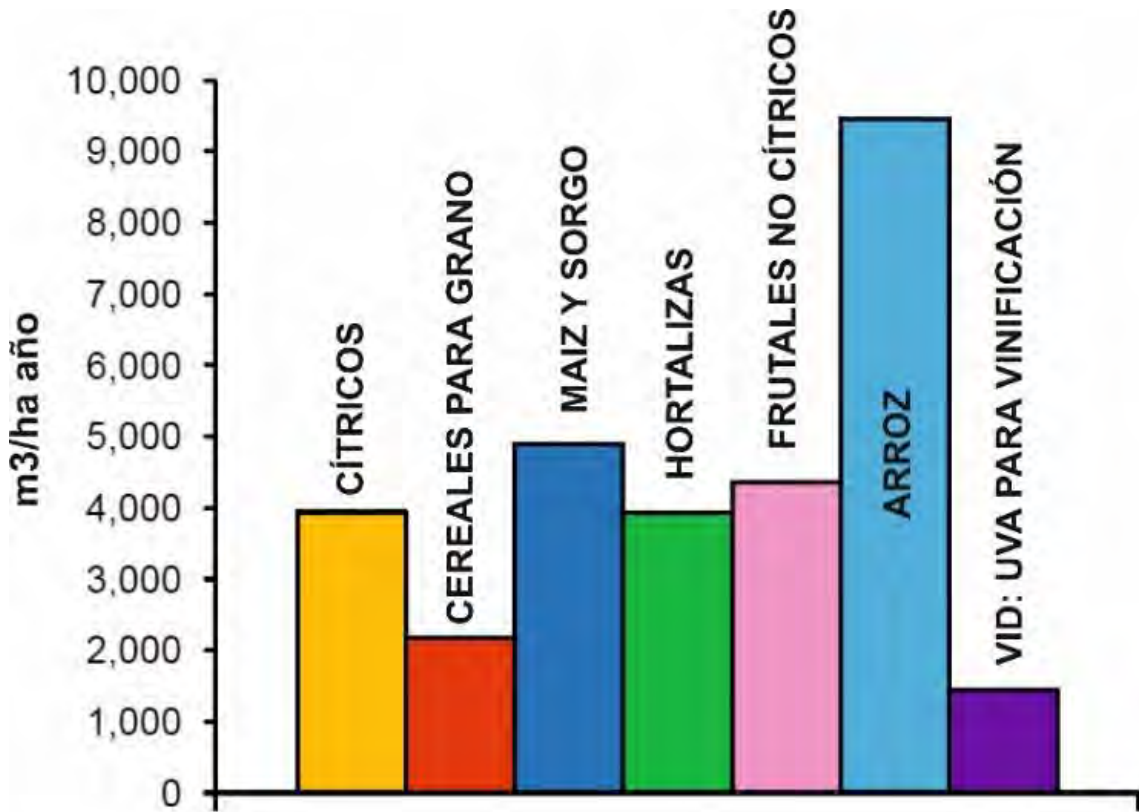


Figura 15: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)

PARADA 3: CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En los últimos 100 años, la tecnología ha permitido la construcción de **sondeos** (pozos perforados mediante maquinaria) de centenares de metros en los que se instalan bombas capaces de elevar el agua desde gran profundidad.

Así, un **sondeo o pozo** (Figura 16) de agua es una perforación realizada en el terreno, de profundidad y diámetros diversos que, además de abastecer a la población, a la industria o a la agricultura, permite conocer las características de los diferentes estratos o niveles que atraviesa.

Su **acondicionamiento**, es decir, la forma en que se construye los elementos finales que incorpora, permite la extracción del agua u otros fluidos (petróleo, gas...) o, simplemente, actuar como punto de **observación del acuífero**, siendo su función en este caso la de facilitar la **toma de**

muestras de agua para su análisis y de la medida del nivel piezométrico.

En la captación y explotación de agua subterránea, la labor de l@s hidrogeólog@s, no solo consiste en determinar en qué punto debe perforarse un pozo, sino aconsejar el mejor sistema de perforación, definir las características del sondeo (profundidad, diámetro, acondicionamiento, caudal óptimo de explotación, etc.), los métodos de desarrollo del pozo y valorar los resultados obtenidos.

Durante la ejecución de la obra se analizan las muestras del terreno que se va atravesando, se dibuja la columna litológica (Figura 21) y se comprueba la coincidencia entre el proyecto previsto y los resultados reales. De esta forma pueden irse ajustando los trabajos para alcanzar los objetivos deseados.

Figura 16: Equipo de bombeo instalado en el pozo de caja situado en el recinto del Molí la Font



Los métodos de perforación más utilizados en la actualidad son la percusión, la rotación, y la rotopercusión (Figura 20):

- **Percusión:** este tipo de perforación consiste en el golpeo repetido de la roca mediante un “trépano” hasta machacarla totalmente. Luego se extrae el material deshecho (“ripios” o “detritus” de perforación) a la superficie mediante una herramienta denominada “cuchara”.
- **Rotación:** este sistema se basa en la trituración de la roca por medio de un útil de corte giratorio (“tricono”) que desgasta la roca. El material triturado es extraído del sondeo mediante el arrastre con agua o lodo.

- **Rotopercusión:** es un método mixto que destruye la roca mediante una cabeza (“martillo”) que machaca la roca percutiendo y girando a la vez (Figura 17). Los “detritus” (material fracturado que se genera con la perforación) se extraen mediante la inyección de aire comprimido.

Los sondeos de captación de agua en España más corrientes tienen entre 200 y 500 mm de diámetro y profundidades de hasta 300 m, aunque en la actualidad cada vez proliferan más sondeos para captación de agua muy profundos, que pueden superar los 1.000 m.



Figura 17: Perforación de un sondeo a rotopercusión

Acondicionar un sondeo consiste en equiparlo de forma adecuada para asegurar su uso y poder extraer eficazmente el agua. Para ello, es esencial su entubación (Figura 18), es decir, introducir una tubería (metálica o de PVC) en el agujero que impida que este se cierre o se derrumbe. Esta tubería incluye tramos perforados o filtrantes que se hacen coincidir con los niveles del terreno atravesado que aportan agua (niveles acuíferos). Así se permite el paso de agua al interior del sondeo, desde dónde será extraída mediante la instalación de una bomba sumergible que la impulsará hasta la superficie.

Tras la finalización del sondeo se realiza una prueba de bombeo (aforo) que permite saber cuál es el caudal óptimo de explotación (Figura 19).

En caso de que una perforación resulte “negativa”, es decir, que no contenga agua o el caudal o calidad obtenida sean insuficiente, debe **cerrarse convenientemente** a fin de evitar accidentes o que se introduzcan en los acuíferos elementos contaminantes



Figura 18: Entubación de un sondeo



Figura 19: Ensayo de bombeo

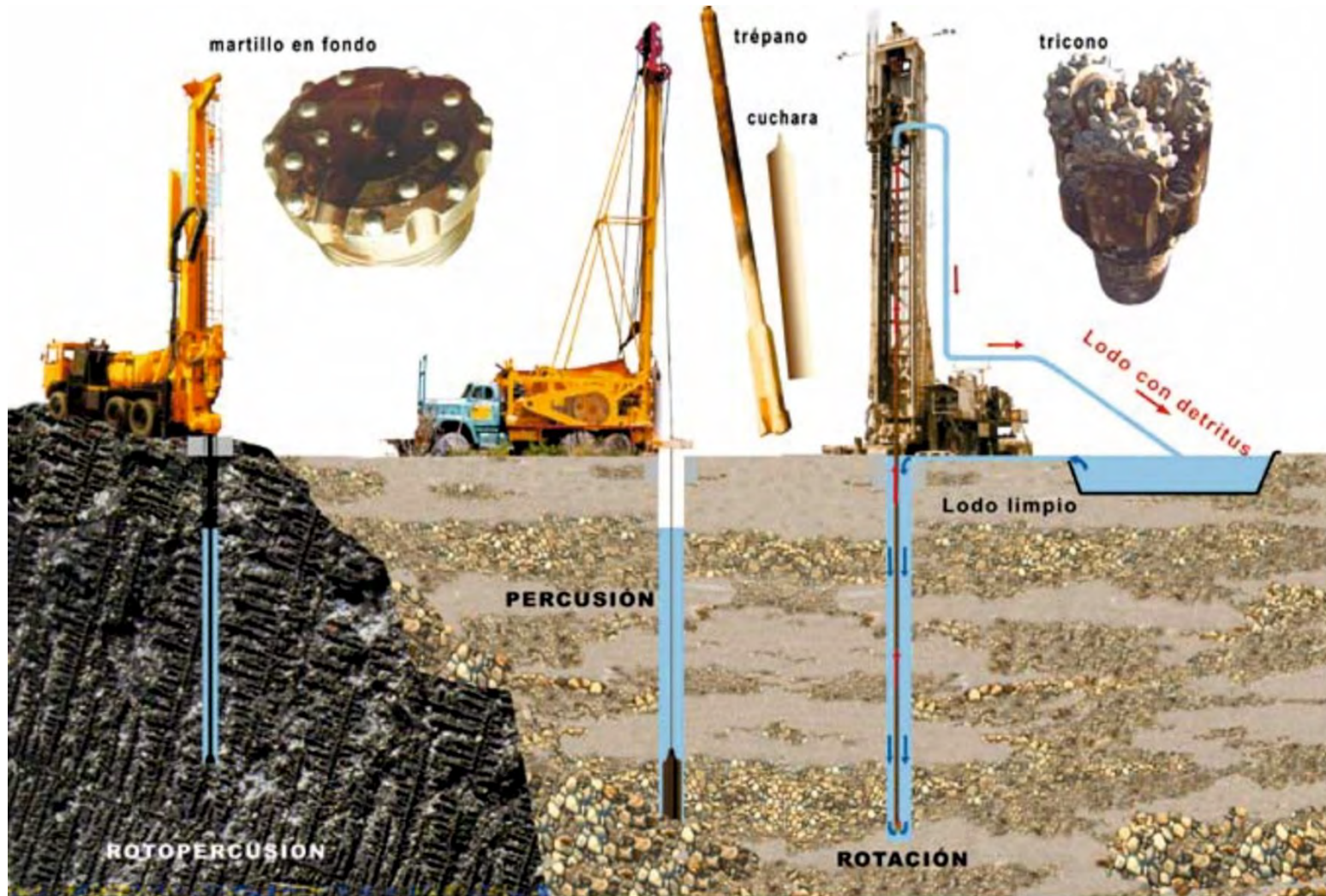


Figura 20: Sistemas de perforación de sondeos (López Geta et al. 2009)

El objetivo de un pozo sondeo o galería de explotación de aguas subterráneas es **alcanzar un tramo, capa de terreno, o nivel permeable en profundidad** que se encuentre saturado de agua, es decir, que se sitúe por debajo del nivel freático y que permita extraer un **caudal determinado** de agua de una **calidad concreta**.

La perforación, por tanto, deberá ir atravesando todos los materiales, distintos tramos (permeables e impermeables), hasta llegar al que nos interesa para poder extraer los recursos hídricos subterráneos que contiene (Figura 21).

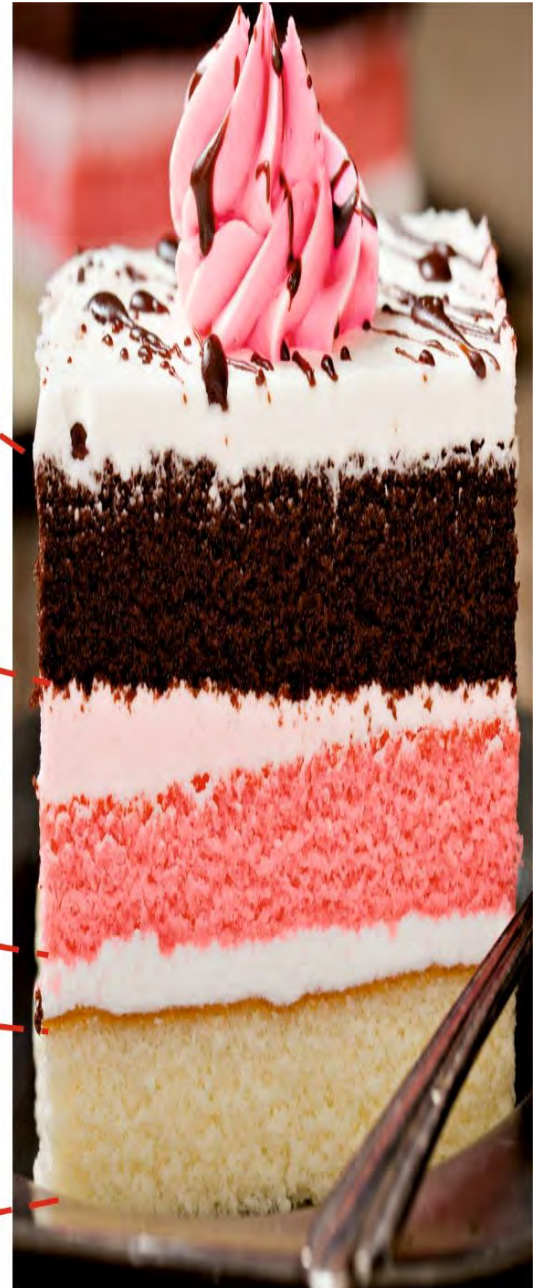
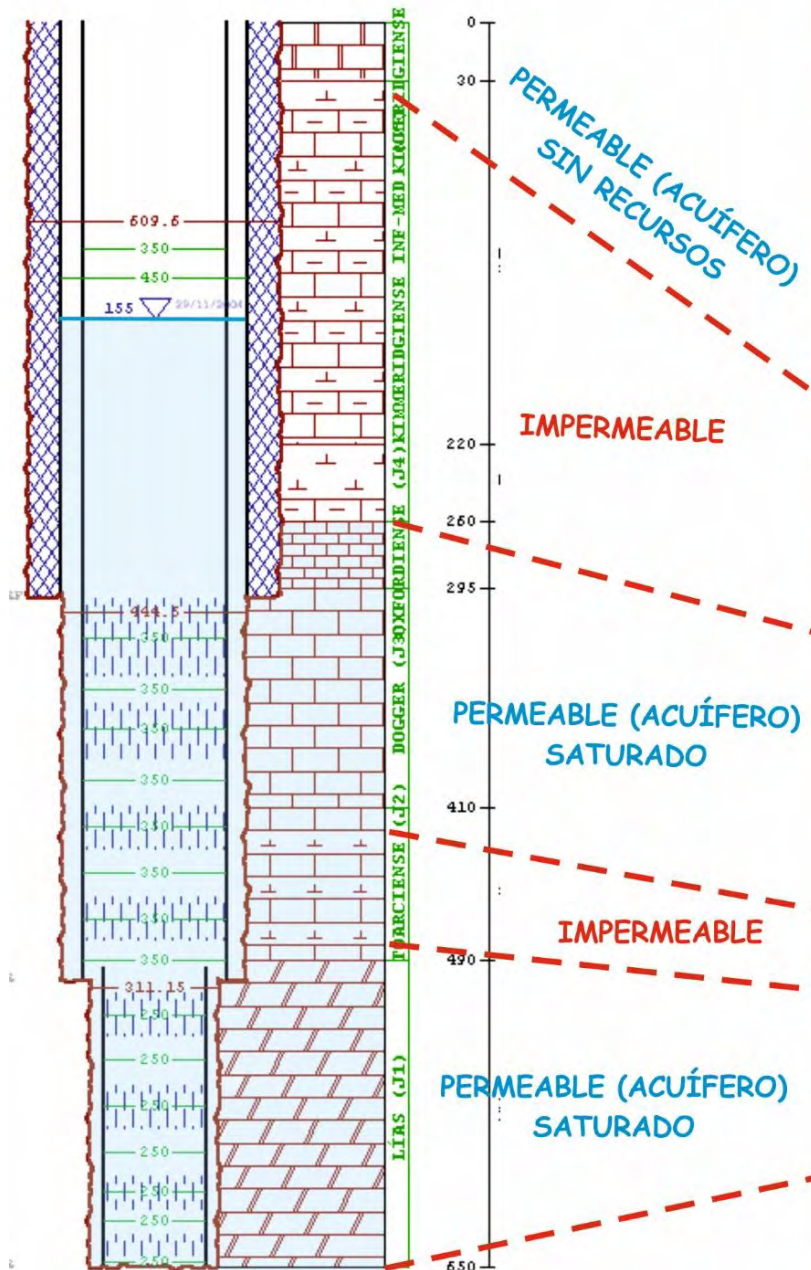


Figura 21: Acondicionamiento de un sondeo. Nivel freático. Capas permeables (acuíferos) e impermeables (acuicludos). Elaboración propia.

PARADA 4: LA GALERÍA DEL MOLÍ DE LA FONT

La **galería del Molí de la Font** (Figuras 22 y 23) es una construcción lineal de más de 250 m. fechada en el año 1.419, que fue excavada de forma artificial.



Figura 22: Molí de la Font

Originalmente debió existir un punto, orográficamente deprimido, de salida de agua subterránea, quizás acondicionado con una “sénia” (acequia). A principios del siglo XV, por necesidades agrarias (cultivo del arroz), se excavó la primera fase de la galería. Ha habido otras fases de excavación posteriores que pretendían ir aumentando el caudal drenado

hasta alcanzar los 250 m. metros de longitud actuales.

El objetivo de una galería es conseguir que se incremente de forma notable la superficie de entrada de agua y que, consecuentemente, esta tenga mucha menos resistencia para circular, lo que permite que el caudal aumente en gran medida.



Figura 23: Galería del Molí de la Font, en la que puede observarse la pared de conglomerados a la derecha

Por tanto, la galería del Molí de la Font, es una construcción antrópica (realizada por personas), no una surgencia natural, que alcanza la zona saturada del acuífero mediante una perforación horizontal (galería) con cierta inclinación y que sirve de vía de drenaje de la zona de contacto entre el acuífero de El Maestrazgo y el acuífero de La Plana de Castellón (Figura 24).

Tras emerger a la superficie, el agua que emana de la galería del Molí de la Font, recibe los aportes de la Séquia Major (Figura 25). Históricamente, esta Séquia Major ha repartido agua de riego desde el río Millars hacia la zona de agricultura de la Marjaleria de Castelló y sus excedentes finalizaban en el Molí de la Font. Desde este punto ambas aguas (Molí de la Font y la Séquia Major) se canalizan en la Séquia de l'Obra. Posteriormente se bifurca y da lugar a la Séquia del Primer Canal (Figura 26).

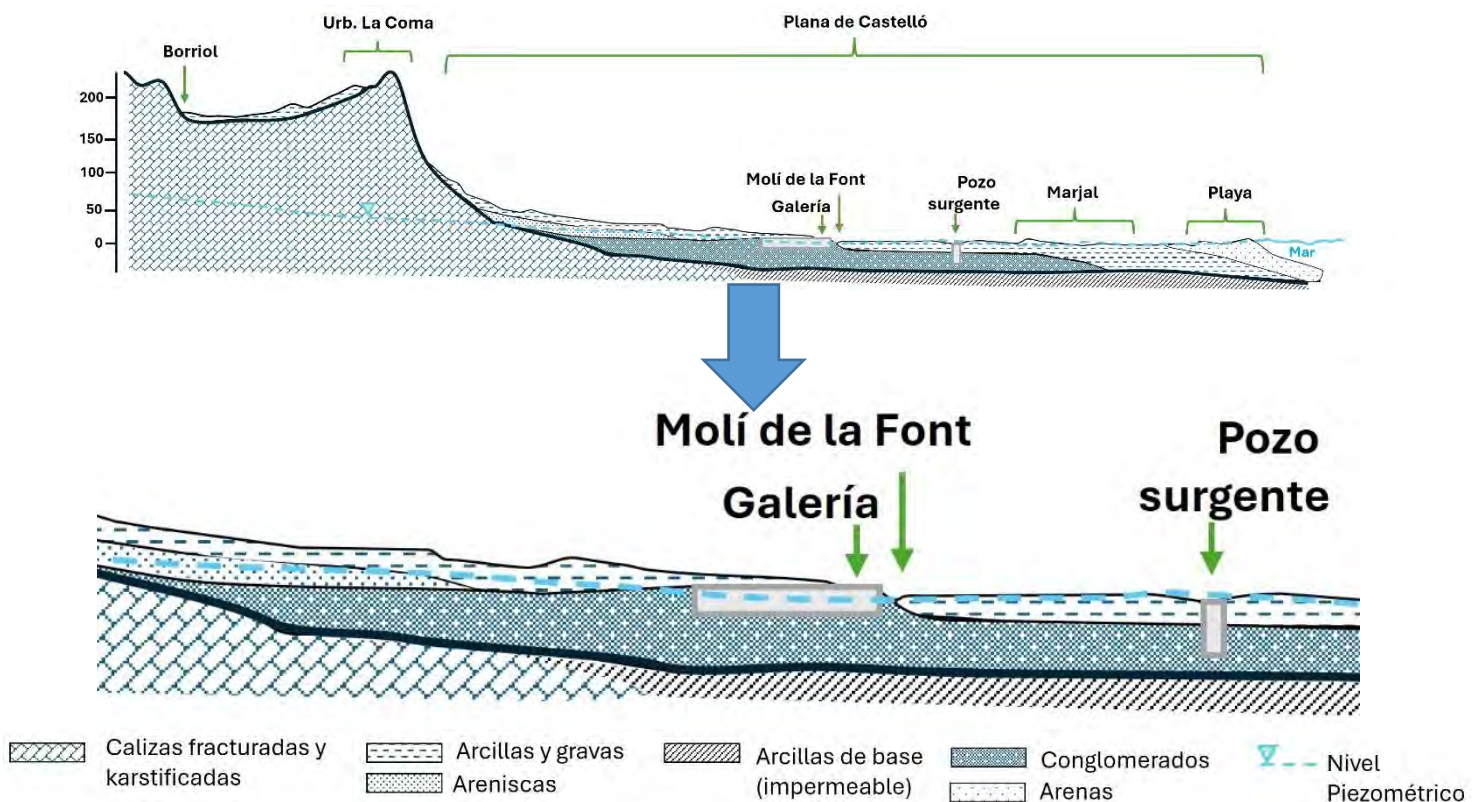


Figura 24: Corte geológico del Molí la Font (de Belén Sánchez)

A partir de este instante un complejo entramado de canales y acequias distribuye el agua por toda la zona hasta desembocar en la playa, teniendo, además, la función de drenar los campos desde el área de Molí de la Font hasta la costa para mantener, en la medida de lo posible, el nivel de las aguas subterráneas por debajo de la superficie del terreno y aprovechar toda la zona para el cultivo.

El nivel del agua en la galería se corresponde al nivel freático de la zona, es decir, al nivel del agua del acuífero de El Maestrazgo (acuífero carbonatado) que cede recursos al acuífero de la Plana (acuífero detrítico).



Figura 25. Desembocadura de la Séquia Major a la Séquia de l'Obra (elaboración propia).

En la boca de la galería se observan los niveles de conglomerados compuestos por gravas de gran tamaño con matriz cementada que les confiere consistencia (Figura 23) correspondientes a los depósitos de pie de monte, de edad cuaternaria, que fueron excavados.



Figura 26: Séquia del Primer Canal (elaboración propia)

Para realizar esta perforación horizontal fue necesario excavar 10 pozos verticales a lo largo de la misma que servían tanto para extraer el material como vías de ventilación. Aunque en la actualidad no se pueden observar, se sabe que los mismos están situados cada 25 metros aproximadamente (Figura 27).

La galería mantiene un caudal variable entre los 600 y los 900 L/s, no obstante, en años secos o en periodos prolongados de sequía este caudal merma considerablemente llegando a secarse, como ocurrió en el año 1.994, lo que permitió que la galería pudiera recorrerse a pie en su totalidad, ya que el nivel del agua subterránea descendió por debajo de la base de la misma.

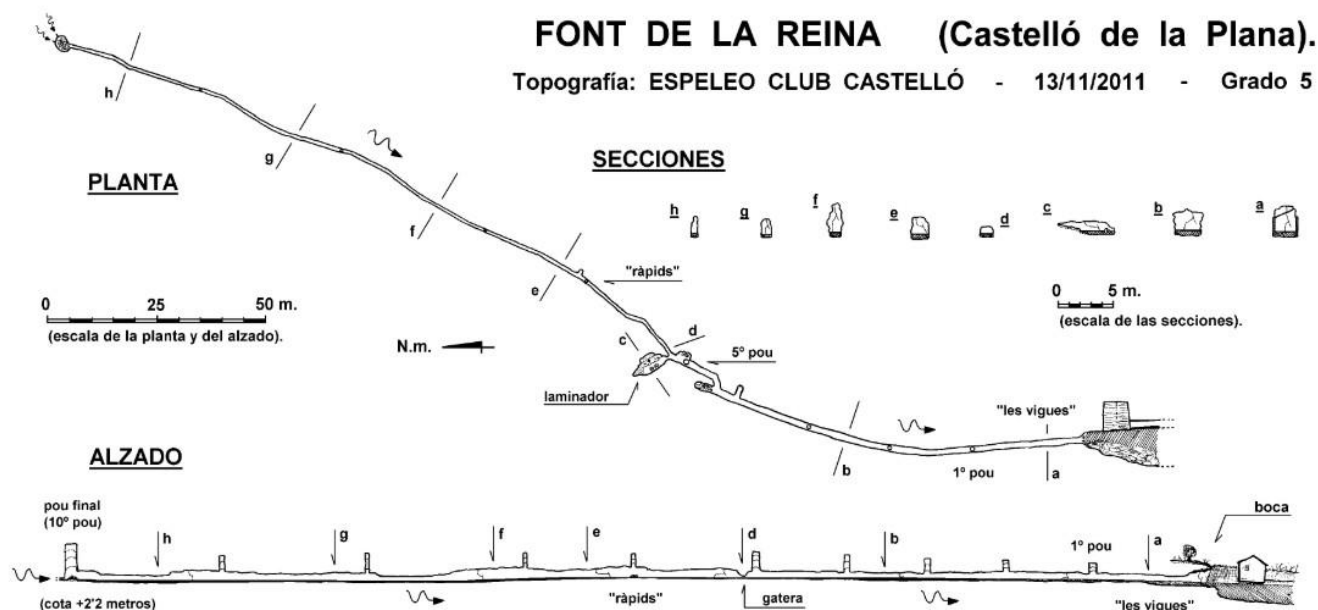


Figura 27: Croquis en planta y alzado de la galería del Molí de la Font (de Joaquín Arenós Domínguez – Espeleo Club Castellón)

Aunque se trata de una construcción artificial, la galería del Molí de la Font se incluye dentro del Catálogo de Cuevas de la Comunidad Valenciana (Decret 65/2006) y destaca por ser el refugio de una numerosa comunidad de murciélagos entre los que habitan ejemplares en peligro de extinción (murciélagos Piegrande *Myotis capaccinii*) y otros más comunes como el murciélagos ratonero mediano (*Myotis blythii*), el murciélagos de morro grande (*Myotis myotis*) o el murciélagos de herradura mediterráneo (*Rhinolophus euryale*)

Por todas estas características, la galería y el paraje del Molí de la Font constituyen un entorno de gran valor, tanto medioambiental, como paisajístico y científico.

Es esencial conservar este tipo de enclaves que constituyen laboratorios al aire libre donde observar y estudiar diferentes ecosistemas y sirven para la recopilación de datos esenciales que ayudan a comprender el funcionamiento natural de elementos hidrogeológicos de gran interés.

PARADA 5: RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO Y BALANCE HÍDRICO DE UN ACUÍFERO

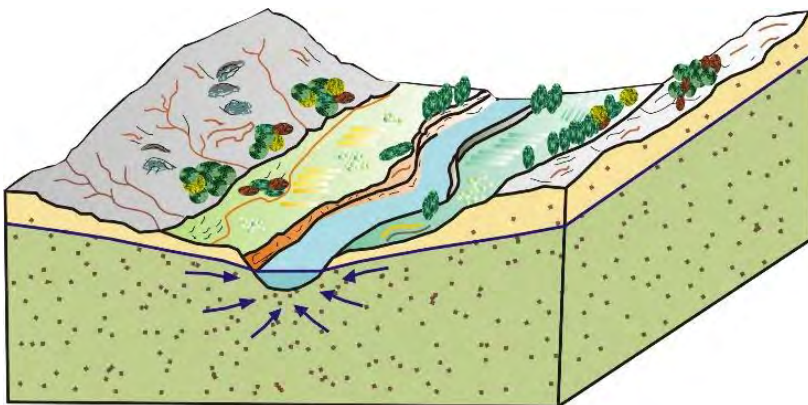
Cuando un río atraviesa formaciones permeables que constituyen acuíferos, se establece una **relación entre las aguas superficiales que lleva el cauce y las subterráneas del acuífero**.

Esta relación puede definirse como el mecanismo geohidrológico que permite el intercambio hídrico entre las aguas subterráneas y los cursos de agua superficial, y que se produce en los tramos de cauce que discurren sobre formaciones permeables o se encuentran próximos a ellas.

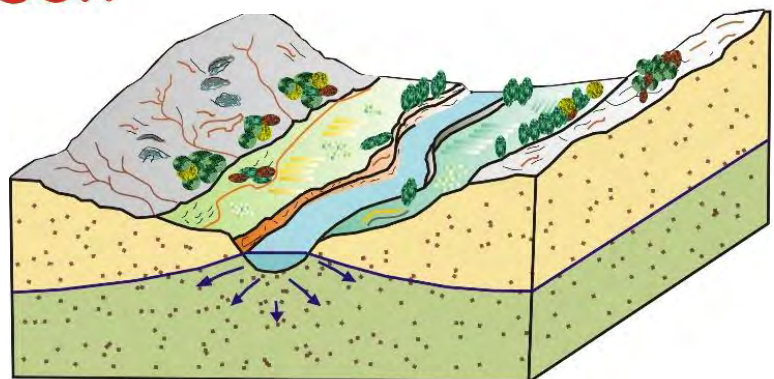
La clasificación más simple y utilizada se basa exclusivamente en el sentido de la transferencia hídrica. Así se distingue entre:

* **Ríos ganadores o efluentes:** cuando **drenan recursos hídricos de un acuífero**, es decir, el río recibe parcial o totalmente sus recursos hídricos desde una o varias formaciones geológicas permeables sobre las que transita

* **Ríos perdedores o influentes,** cuando ceden parcial o totalmente su caudal a favor de una o unas determinadas formaciones geológicas permeables y, en consecuencia, **recargan al acuífero** (Figura 28).



RÍO GANADOR



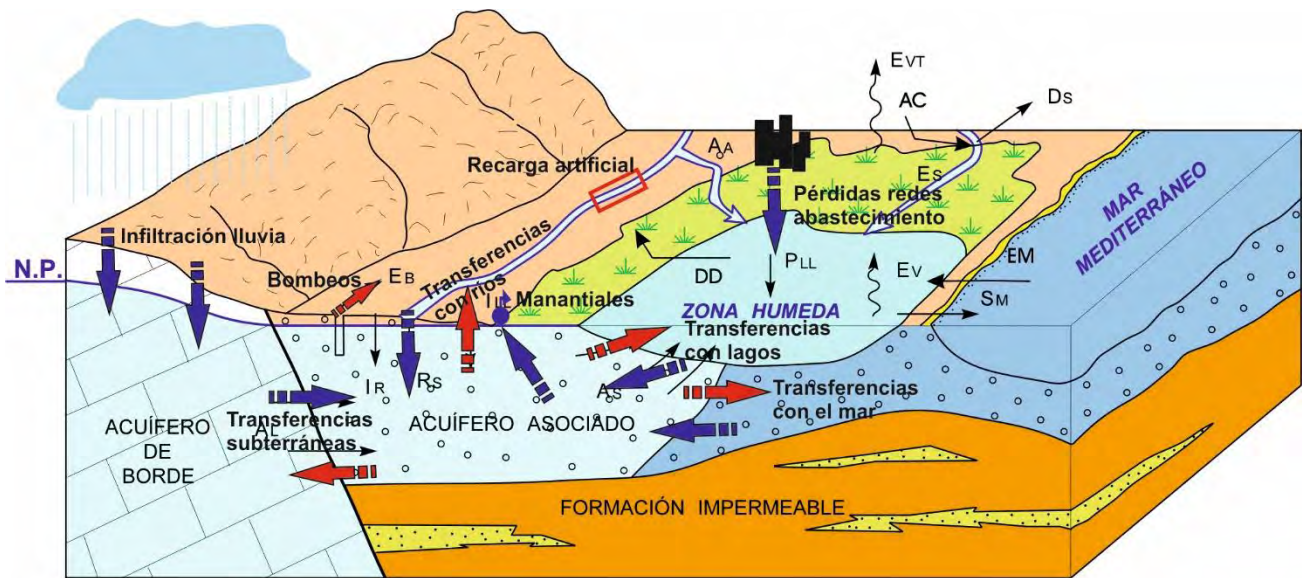
RÍO PERDEDOR

Figura 28: Relación río-acuífero

Las aguas subterráneas constituyen un importante recurso ya que de ellas dependen tanto infinidad de ecosistemas y las especies que los habitan como el abastecimiento a muchas poblaciones y a múltiples sectores económicos. Por tanto, es imprescindible **gestionar convenientemente las aguas subterráneas**. Para ello, es necesario conocer lo más ajustadamente posible el volumen de recursos con los que se cuenta en el acuífero, es decir, su **balance hídrico** (Figura 29), así como **la calidad** de las distintas aguas presentes.

El balance hídrico en sí es la relación existente entre los recursos hídricos que entran o recargan el sistema y los que salen del mismo. En este cómputo hay que tener en cuenta tanto las aguas subterráneas como las superficiales, pues como hemos visto están estrechamente relacionadas.

Figura 29: Parámetros a tener en cuenta a la hora de estimar el balance hídrico de un acuífero costero con un humedal (modificado de Ballesteros Navarro 2003).



Si tomamos como ejemplo un acuífero costero, conectado con otro u otros acuíferos y con el mar y en el que en superficie además de ríos y lagunas hay zonas urbanas y de regadío, para estimar su balance hídrico se deben considerar tanto aquellos factores (naturales o antrópicos) que suponen una entrada de recursos hídricos al sistema (acuífero) como los que suponen salidas del mismo.

Entre los aportes o entradas de agua al acuífero se deben valorar:

- Infiltración del agua de lluvia
- Infiltración por retornos de riego
- Infiltración desde cauces, lagos o acequias

- Pérdidas en las redes de suministro o alcantarillado
- Transferencias subterráneas procedentes de otros acuíferos o del mar (intrusión marina)
- Recargas artificiales

Por su parte, en las salidas hay que considerar:

- Salidas del acuífero a ríos, lagos o manantiales
- Transferencias subterráneas hacia otros acuíferos
- Salidas al mar
- Salidas por bombeos (sondeos, pozos, galerías...)

PARADA 6: MUESTREO DE AGUAS Y MEDIDAS “IN SITU”

La **toma de muestras de agua** (Figura 30) consiste en recoger un volumen determinado de agua procedente de un manantial, río, surgencia, pozo, sondeo, etc., introducirla en recipientes apropiados (botellas de muestreo) y enviarla, siguiendo un estricto protocolo de seguridad anticontaminación, a un laboratorio especializado para su análisis.

En el momento de la “toma”, es habitual medir “in situ” algunos parámetros como la **temperatura**, el **pH** o la **conductividad eléctrica (C.E.)** (Figura 31).

El **pH** nos indica la acidez o alcalinidad del agua, es decir, la concentración de iones de hidrógeno. La sigla (pH) significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones. Éste varía entre 0 y 14 unidades de pH, de tal forma que 7 se considera un pH neutro. Las disoluciones por debajo de 7 se consideran ácidas y por encima básicas o alcalinas. El agua natural se pone como ejemplo de solución neutra, porque normalmente tiene un valor cercano a 7 (6 – 8,5 unidades de pH).



Figura 30: Toma de una muestra de agua subterránea en un piezómetro mediante tomamuestras



Figura 31: Toma de muestra de agua en L'Albufera de Valencia (embarcadero de la "Gola de Pujol") y medida de parámetros "in situ" (temperatura, pH y C.E.)

La **C.E.** es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. Un agua muy pura tiene una conductividad eléctrica muy baja, mientras que aguas muy salinas (salmueras) tienen un valor elevado en este parámetro.

Por tanto, la C.E. permite tener una idea de la salinidad del agua.

En las Figuras 32 y 33 se establecen unos datos de referencia a la hora de estimar el contenido en sales y el carácter termal del agua:

- En cuanto a la temperatura, las aguas subterráneas pueden llegar a alcanzar los 150°C, siendo aguas termales (Figura 34). No obstante, son mucho más frecuentes las denominadas aguas frías, cuya temperatura no supera los 20°C.
- Respecto a la salinidad, en el medio natural encontramos aguas muy puras con escaso contenido en sales y baja C.E. (agua de lluvia) o salmueras (Figura 35) con concentraciones elevadísimas en sales y C.E. muy altas.

TIPO DE AGUA	Temperatura (°C)
Aguas frías	< 20 °C
Aguas hipotermales	20 °C - 35 °C
Aguas termales	>35 °C

Figura 32: Clasificación de las aguas subterráneas en función de su temperatura (elaboración propia)

TIPO DE AGUA	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	Salinidad (g/l)
Agua de lluvia	5 - 50 $\mu\text{S/cm}$	0,0001 - 0,001 g/l
Agua potable	< 2500 $\mu\text{S/cm}$	< 2,3 g/l
Agua salobre	2500 - 20000 $\mu\text{S/cm}$	2,3 - 18,5 g/l
Agua de mar	45000 - 55000 $\mu\text{S/cm}$	42 - 51 g/l
Salmuera	> 1000000 $\mu\text{S/cm}$	> 90 g/l

Figura 33: Valores característicos de C.E. y salinidad de diferentes tipos de aguas subterránea (elaboración propia)



Figura 34: Aguas termales



Figura 35: Aguas hipersalinas (salmueras)



Figura 36: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.

La medida del nivel piezométrico o freático (Figura 36) se realiza mediante un dispositivo denominado **sonda piezométrica o hidronivel** (Figura 37), que consiste en una cinta métrica acondicionada sobre un soporte en forma de carrete y que cuenta en su extremo con un sensor. Dicho sensor se introduce por la boca del sondeo, pozo o piezómetro (perforación destinada a la medida del nivel piezométrico) hasta alcanzar el nivel del agua. En este momento el agua actúa como interruptor (cierra un circuito) y ocasiona que en superficie se emita una señal acústica o luminosa que indica que se ha llegado al nivel del agua.

Introduciendo y extrayendo varias veces el sensor del agua se fija exactamente, gracias a la cinta graduada, la profundidad a la que se sitúa el nivel respecto de la boca del sondeo.

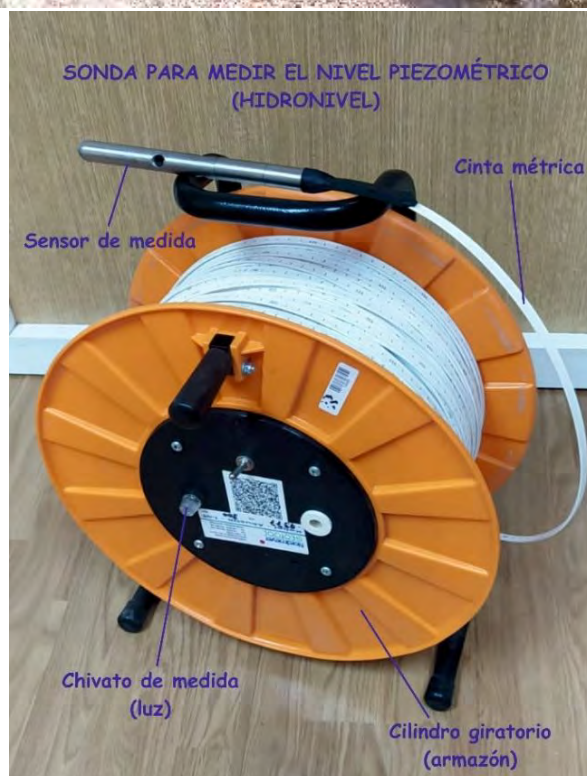


Figura 37: Sonda para medir el nivel piezométrico.

Otra de las medidas que más ayudan a la hora de conocer el funcionamiento de un acuífero es determinar el caudal de emergencia de sus manantiales y el que circula por los ríos que lo atraviesan. Esta operación se denomina **aforo** y se realiza en los manantiales más importantes, en ríos, ramblas, canales, acequias, etc.

Existen puntos de medida fijos (estaciones o secciones de aforo) establecidos por las confederaciones hidrográficas (Figura 38). La medida periódica o en continuo del caudal de un río en estos puntos permite, por un lado, determinar el régimen hídrico de ese cauce (su funcionamiento en un año hidrológico) y por otro, actuar como sensores o elementos de control para la gestión de la red fluvial. Ha quedado clara la necesidad de establecer una red apropiada de estaciones de aforo en los cauces principales a fin de evaluar los caudales circulantes en cada momento y en cada tramo de río y poder gestionar convenientemente los recursos hídricos y/o actuar con tiempo suficiente frente a fenómenos como las riadas.

Esta labor de gestión de recursos y aviso ante emergencias es propia de organismos como las confederaciones hidrográficas.

No obstante, el control de los caudales de un río a partir de las medidas en distintos puntos de su curso (Figuras 39 y 40), permite a l@s hidrogeólog@s dividir el cauce en diferentes tramos (longitud de cauce entre dos secciones de aforo) y **establecer qué tipo de relación mantiene ese tramo con los materiales por los que transita (relación río-acuífero)**

Si el tramo de cauce analizado atraviesa materiales impermeables y no sufre alteraciones antrópicas, como podría ser la derivación de aguas para riego o el vertido de aguas de depuradora o de retornos de acequias, el caudal se mantendrá prácticamente constante entre las secciones de medida del caudal situada aguas arriba y la situada aguas abajo.



Figura 38: Estación de aforo de la CHJ en el río Mijares.

Sin embargo, si el tramo de cauce analizado atraviesa materiales permeables, es decir, un acuífero, el caudal medido aguas arriba y aguas abajo será muy probablemente distinto, pudiendo haber ganado caudal lo que indicaría que se trata de un **tramo ganador o efluente** y que drena recursos hídricos del acuífero o por el contrario, haberlo perdido, lo que clasificaría al **tramo de río como perdedor o influente**, es decir, el río daría o cedería recursos hídricos al acuífero.

La determinación de estos tramos de cauce, ganadores o perdedores, es esencial para poder establecer el **balance hídrico del acuífero**.

Un tramo de río ganador se comportaría como un manantial, como un punto, en este caso un tramo, por el que el acuífero pierde o drena recursos hídricos. Mientras que un tramo influente o perdedor actuaría como una zona de recarga del acuífero.



Figura 39: Medida directa del caudal en la Séquia de l'Obra del Molí de la Font.



Figura 40: Medida directa del caudal en el río Palancia a su paso por Bejis.

Nutritionele informatie (mg/l) : Analyse / Typical Analysis (mg/l) :	
Ca ²⁺	104 mg/l
Mg ²⁺	3,7 mg/l
Na ⁺	3,7 mg/l
K ⁺	1,8 mg/l
HCO ₃ ⁻	280 mg/l
SO ₄ ²⁻	52 mg/l
NO ₃ ⁻	<2 mg/l
Cl ⁻	4 mg/l
Droogrest bij / Extra't sec à / Dry extract at 180°C	274 mg/l
pH : 7,3	

BEZOYA	
AGUA MINERAL NATURAL	
Composición Química (mg/l):	
Residuo seco a 180°C	28
Bicarbonatos	7
Cloruros	0,87
Calcio	2,73
Magnesio	0,39
Sodio	2,55
Silíce	11,0
C.N.T.A. (Diciembre 2013)	

Composición química en mg/L:	
Bicarbonatos:	297,2
Sulfatos:	43,9
Cloruros:	35,8
Calcio:	88,7
Magnesio:	23,4
Sodio:	18,6
Silíce:	7,1
Análisis realizado por el Laboratorio Dr. Oliver Rodés. Declarada Mineral Natural 28/07/1994.	
Envases	
ATENCIÓN AL CLIENTE 902 453 453 / www.dia.es	

Analítica (mg/L): Lab. Dr. Oliver Rodés - marzo 2011			
Residuo seco a 180°C	135	Calcio	5.8
Bicarbonato	56.9	Magnesio	4.3
Sulfato	4.9	Potasio	8.5
Cloruro	17.2	Sodio	20.3
Fluoruro	0.3	Silíce	34.3
Conductividad a 20°C: 175 microS.cm ⁻¹			

Figura 41: Ejemplos de etiquetas con los principales parámetros químicos de varias aguas embotelladas.

En cuanto a la calidad del agua que debe tener un agua de consumo humano, ésta se establece por Ley.

Recientemente ha entrado en vigor el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro, que sustituye al anterior R.D. 140/2003.

Es decir, las aguas que llegan a nuestras casas, procedentes de embalses, ríos, manantiales, sondeos o galerías, deben cumplir esta normativa, así como todas las aguas embotelladas o empleadas en la industria alimentaria.

Si nos fijamos en el etiquetado de las botellas de agua a la venta, comprobaremos que cumplen esta normativa y que todos los parámetros químicos que se indican se encuentran por debajo de los límites de potabilidad.

En el etiquetado de estos envases se muestran, además, otros datos importantes, como el lugar (localización) del manantial, empresa embotelladora o laboratorio que realiza el análisis (Figura 41).

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por la ayuda prestada para llevar a cabo el HIDROGEODÍA 2025 al **Excelentísimo Ayuntamiento de Castelló**, así como a la empresa **FACSA (Fomento Agrícola Castellonense)** y a la **Comunidad de Regantes del Coto Arroceró**.

Igualmente queremos recordar de nuevo las labores de investigación que desde organismos como el **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**, **Universitat de València (UV)** o entidades privadas como **FACSA** se vienen realizando en esta zona desde hace años y enfatizar en la importancia de esta labor y el beneficio social que suponen este tipo de estudios.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2025

Jose Antonio Domínguez Sánchez
(Hidrogeólogo - IGME)

Arianna Renau Pruñonosa
(Hidrogeóloga - UV)

Belén Sánchez-Rubio Ruiz
(Hidrogeóloga - FACSA)

Eduard Ruiz-Dorizzi Ordóñez
(Hidrogeólogo - GAMASER)

José Oriol Navarro Odriozola
(Hidrogeólogo - TYPESA)

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

- Decreto 132/2021, de 1 de octubre, del Consell.
- López Geta, J.A; Fornés Azcoiti, J.M.; Ramos González, G. y Villarroya Gil, F. (2009): Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo (IGME - Instituto Geológico y Minero de España)
- Morales García, R; Domínguez Sánchez, J.A.; Durán Valsero, J.J.; Vega Martín, L; Rodríguez Hernández, L.; Hernández Bravo, J.A.; Fernández Mejuto, M. (2016) Génesis de los enclaves kársticos de mayor interés patrimonial de Alicante. Una aproximación para su geoconservación y aprovechamiento sostenible. CUEVATUR 2016. VI CONGRESO ESPAÑOL SOBRE CUEVAS TURÍSTICAS “El karst y el Hombre: Las Cuevas como Patrimonio Mundial”. Nerja, del 29 de septiembre al 1 de octubre de 2016.
- Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.
- Romero Pavía, P. El abastecimiento de Castellón (ITGE).

PÁGINAS WEB

[Google Earth Pro](#)

<http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2020/>

<http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera>

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596>

<http://info.igme.es/visorweb/>

[Visor cartogràfic de la Generalitat \(gva.es\)](#)

<https://www.cuevascastellon.uji.es/ES6001.php>



