



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGE♂DÍA
2024 Castelló

Los manantiales de Navajas. El Salto de la Novia.



EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo 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 hidrogeológ@s y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Castelló, el **Hidrogeodía 2024** se celebra en el entorno del río Palancia en la localidad de Navajas, donde se encuentran algunos de los manantiales más importantes de la zona y el pintoresco enclave de **“El Salto de la Novia”** (Foto de portada).

El hilo argumental de la visita lo constituyen las aguas subterráneas de esta zona y en concreto los manantiales del entorno del paraje de **“El Salto de La Novia”** en Navajas.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro es la zona de estacionamiento junto a la caseta de acceso al paraje de **“El Salto de la Novia”** de **Navajas** (Foto 1; Figura 1).

Este punto se sitúa al norte del casco urbano de Navajas, en el margen derecho del río Palancia.

Coords. ETRS89: X: 713.494 / Y: 4.417.262

Para acceder al mismo se han de seguir las indicaciones de las señales informativas hasta este enclave.

Los visitantes deberán aparcar en este punto y en las calles de alrededor.

Se ruega **puntualidad**.

La **hora de inicio será a las 10.00 de la mañana** del día 23 de marzo de 2024, siendo la duración aproximada de la visita de unas **3 horas**.



Foto 1: Acceso al paraje “El Salto de la Novia” de Navajas. Punto de encuentro.

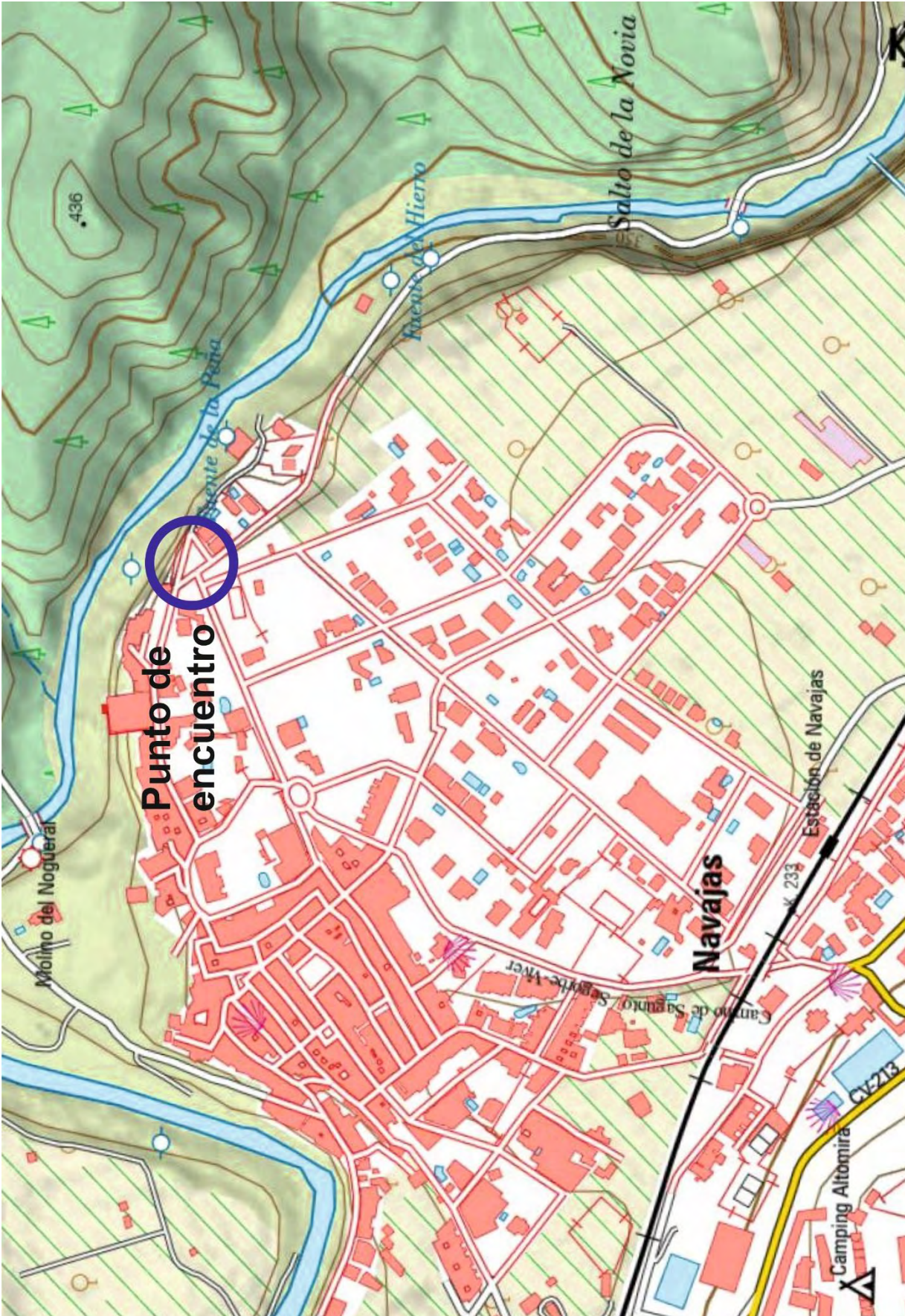


Figura 1: Punto de encuentro: acceso al paraje de “El Salto de la Novia” de Navajas (zona de aparcamiento)

IMPORTANTE

La excursión que se propone es **gratuita y voluntaria**, pero es necesario que todo aquel interesado en asistir realice **reserva previa** al correo ja.dominguez@igme.es indicando su nombre y si va acompañado 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...).

El recorrido, de apenas 2 km de longitud (ida y vuelta), consta de 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, deberemos estar atentos a las previsiones meteorológicas, y **llevar ropa de abrigo, gorra y calzado apropiados**. De igual forma, al estar en un entorno natural con manantiales, zona de río, 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 no es excesivamente largo y existen fuentes en el entorno, se recomienda **llevar algo de comida y bebida**.

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



Foto 2: Fuente en el paraje de “El Salto de la Novia”.

¿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: Acceso al paraje de “El Salto de la Novia”. Caverna kárstica

- Qué es el hidrogeodía
- La hidrogeología y la actividad de I@S hidrogeolog@s
- Concepto de acuífero
- Concepto de manantial y nivel freático o piezométrico
- Formaciones permeables e impermeables
- Encuadre hidrogeológico
- Mapa geológico
- Morfologías kársticas y su formación
- Los travertinos de “El Salto de la Novia”

Parada 2: Fuente del Hierro

- La importancia de las aguas subterráneas
- Ejemplos de su uso: agricultura, industria, abastecimiento urbano, etc.
- Medidas “in situ” (medida del 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

Parada 3: Cascada de “L’Oncle Joan”

- Áreas de recarga y de descarga de los acuíferos
- Periodos de tránsito de las aguas subterráneas
- Explotación de las aguas subterráneas

Parada 4: “El Salto de La Novia”

Explicación del “salto” (artificial) de agua

- Manantial de La Esperanza
- Formación de rocas sedimentarias
- Estratificación
- Relación río-acuífero

Parada 5: Contacto calizas-arcillas

- Explicación “in situ” de la formación de un manantial por contacto del acuífero (materiales permeables) con materiales impermeables
- Balance hídrico de un acuífero
- Fin de la jornada

Se adjunta plano del recorrido al final de esta guía

PARADA 1: CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO Y FORMACIONES KÁRSTICAS

En primer lugar, hemos de comprender de forma sencilla el concepto de **acuífero**, que no es más que un recipiente, depósito o almacén de agua bajo tierra que permite almacenar agua, además de su transmisión o circulación, constituido por materiales (rocas) permeables y delimitado, 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.

Estos depósitos tienen unos límites, por lo que pueden individualizarse y representarse sobre mapas topográficos o geológicos (Figura 2y 3) 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.

En el caso que nos ocupa, el acuífero que origina los manantiales del entorno de “**El Salto de La Novia**” (Fte. Del Hierro, Fte. De los 50 Caños y manantial de La Esperanza) es el denominado acuífero de Jérica, que limita por el sur con el de Segorbe-Soneja.



Figura 2: Contexto hidrogeológico de los manantiales

En esta primera parada (Fotos 3 y 4) nos situamos frente a una pequeña cavidad kárstica originada en depósitos travertínicos (tobas calcáreas) formados durante el Plio-Cuaternario (últimos 5 millones de años).

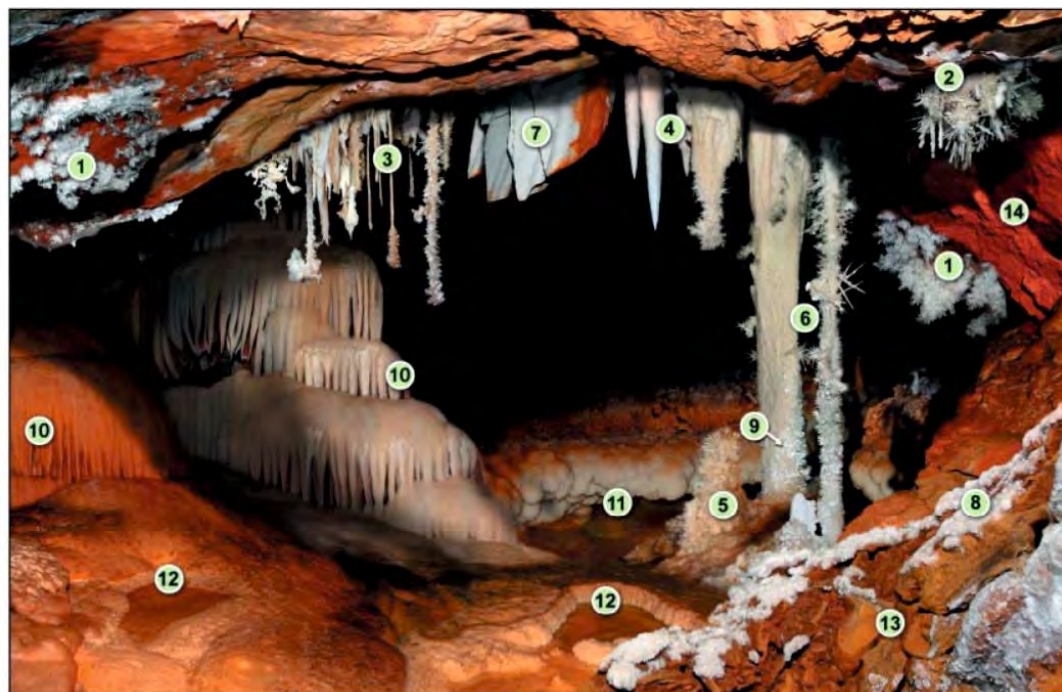
Las rocas carbonatadas, al igual que otras formaciones como las sales (yesos, anhidrita, sal gema), son materiales solubles que sufren procesos de karstificación (disolución), es decir, en estos terrenos se crean formas kársticas (cavidades, conductos...) a partir de la circulación por las grietas de las aguas meteóricas y subterráneas que disuelven la roca durante su recorrido desde la zona de recarga, en la superficie, hasta las áreas de descarga.

Si este proceso se produce en superficie se desarrolla un paisaje kárstico o *exokarst*, con formas típicas como dolinas, poljes, colapsos kársticos, uvalas, simas, sumideros, cuevas o lapiaces (Figura 3).

Si se desarrolla en profundidad se habla de *endokarst* y entonces se forman sistemas de cavidades o cuevas en las que la reacción entre agua, gas y roca puede invertirse, pasando de disolución a precipitación. Las formas resultantes son entonces los espeleotemas: estalactitas, estalagmitas, columnas, banderas, gours, escudos, coladas, etc y en superficie los travertinos (Figura 4).



Fotos 3 y 4: Espeleotemas y travertinos.



Figuras 3 y 4: modelado kárstico y espeleotemas.

- | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| 1 Fibrosoradiados individuales y compuestos | 4 Estalactitas | 7 Banderas | 10 Colada | 13 Colapso de bloques |
| 2 Ramificados | 5 Estalagmitas | 8 Tapizados de fibrosos | 11 Lagos | 14 Arcillas rojas |
| 3 Varillas | 6 Columnas | 9 "Moon-milk" | 12 "Gours" | |

Extraído de: Cueva de Castañar. Monumento natural. Consejería de Medio Ambiente y Rural. Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura

Los travertinos son rocas sedimentarias continentales que se originan por precipitación de carbonato cálcico (origen químico). El proceso de formación tanto de las formaciones de precipitación de las cuevas (espeleotemas) y simas como de los travertinos es la misma.

Los travertinos (Fotos 5 a 7) se desarrollan en áreas con rocas carbonatadas y abundante vegetación. La vegetación produce gran cantidad de anhídrido carbónico (CO_2) que emite a la atmósfera. Este CO_2 reacciona con el agua de lluvia que se filtra en el terreno y produce ácido carbónico (H_2CO_3) que disuelve el carbonato cálcico que es el componente principal de las rocas que constituyen el acuífero por el que transita el agua. El proceso de disolución se invierte tanto en las zonas de cuevas en el interior del terreno formando los espeleotemas, como al emerger al exterior en los manantiales produciendo gran precipitación del carbonato y generando los travertinos.

La precipitación del carbonato cálcico en el entorno de los manantiales donde la vegetación es abundante genera la típica morfología de los travertinos con moldes de hojas y tallos vegetales, así como algunos restos de animales propios de entornos húmedos.

El nombre de travertino procede del latín lapis tiburtinus, es decir, la piedra del Tíber, en Tívoli, junto a Roma, una roca muy empleada en la antigüedad clásica.

Los travertinos se forman durante periodos de climas cálido y húmedo, con vegetación abundante. Para que se forme un travertino es necesario que los manantiales que aportan las aguas para su formación (que marcan el nivel piezométrico de surgencia) y la red de drenaje del acuífero carbonatado asociada a los mismos mantengan unas condiciones estables durante cierto tiempo.



Fotos 5, 6 y 7: Travertinos

PARADA 2: FUENTE DEL HIERRO

La parada 2 (Foto 8 y 9) se centra en explicar la función del/a hidrólogo/a y la importancia de las aguas subterráneas.

La labor esencial del/a hidrólogo/a 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.

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

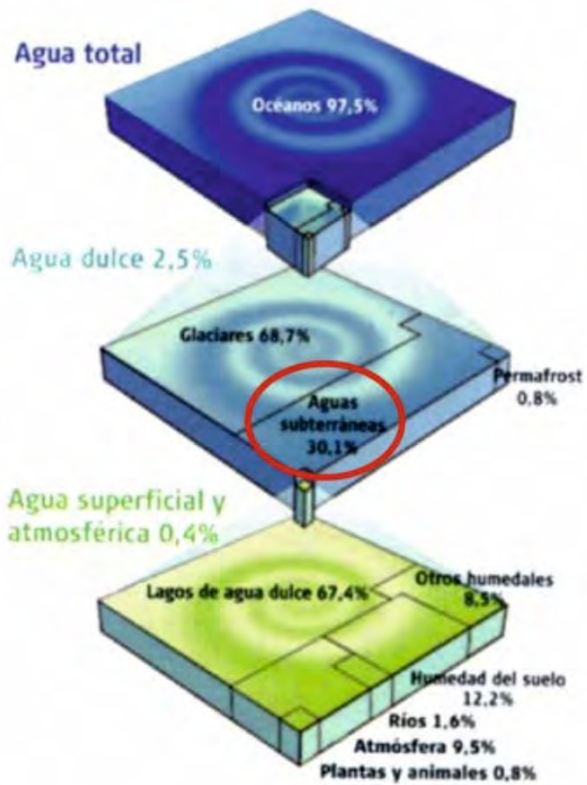
De este 2,5%, casi un 69% se encuentra en forma de hielo en los glaciares de los casquetes polares y en los de las cumbres de las grandes cordilleras, es decir, es un agua que no podemos usar ya que no se encuentra cerca de las áreas en las que vivimos. Queda así algo más de un 30% de agua dulce utilizable de la que únicamente un 0,4% se encuentra en los ríos, lagos y la atmósfera (Figuras 5 y 6).

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

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



Fotos 8 y 9: Fuente del Hierro



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 %

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 TOTAL EN LA TIERRA



AGUA SALADA AGUA DULCE



Figuras 5 y 6: La importancia de las aguas subterráneas

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.

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 7), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m³/ha/año).

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 gracia a pozos o sondeos de explotación.

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**, en el caso que 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.

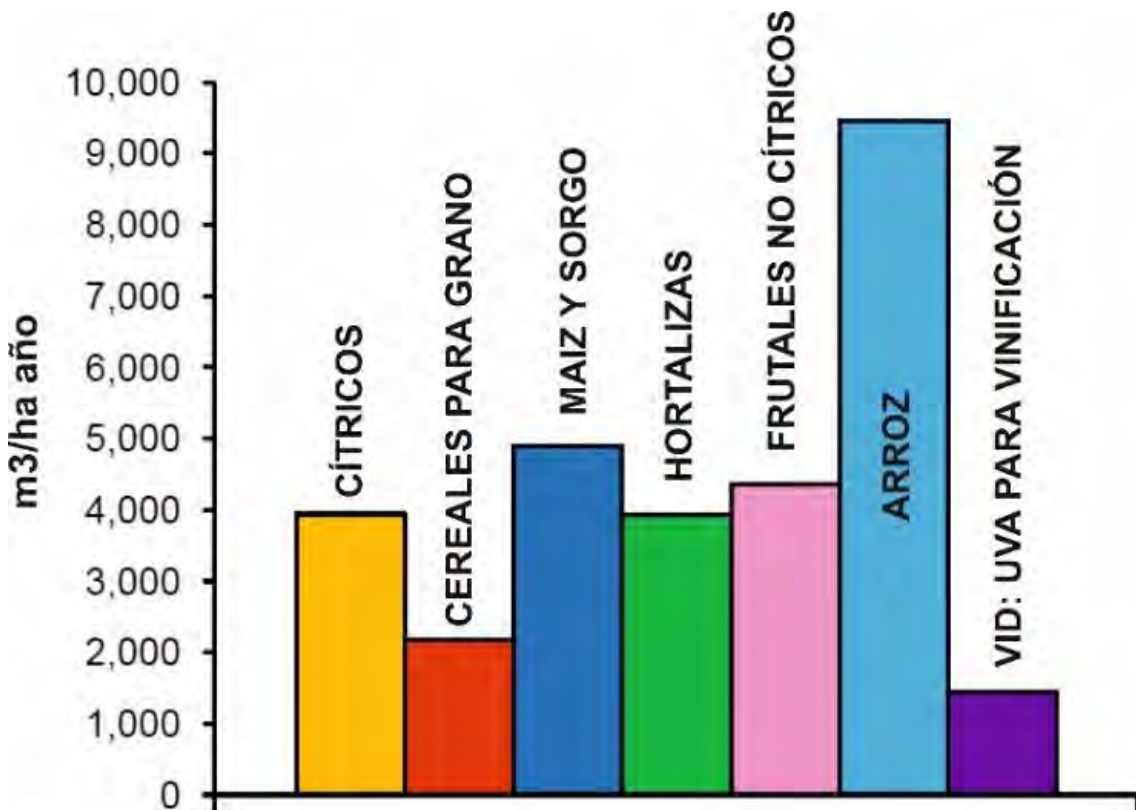


Figura 7: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)

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 8).

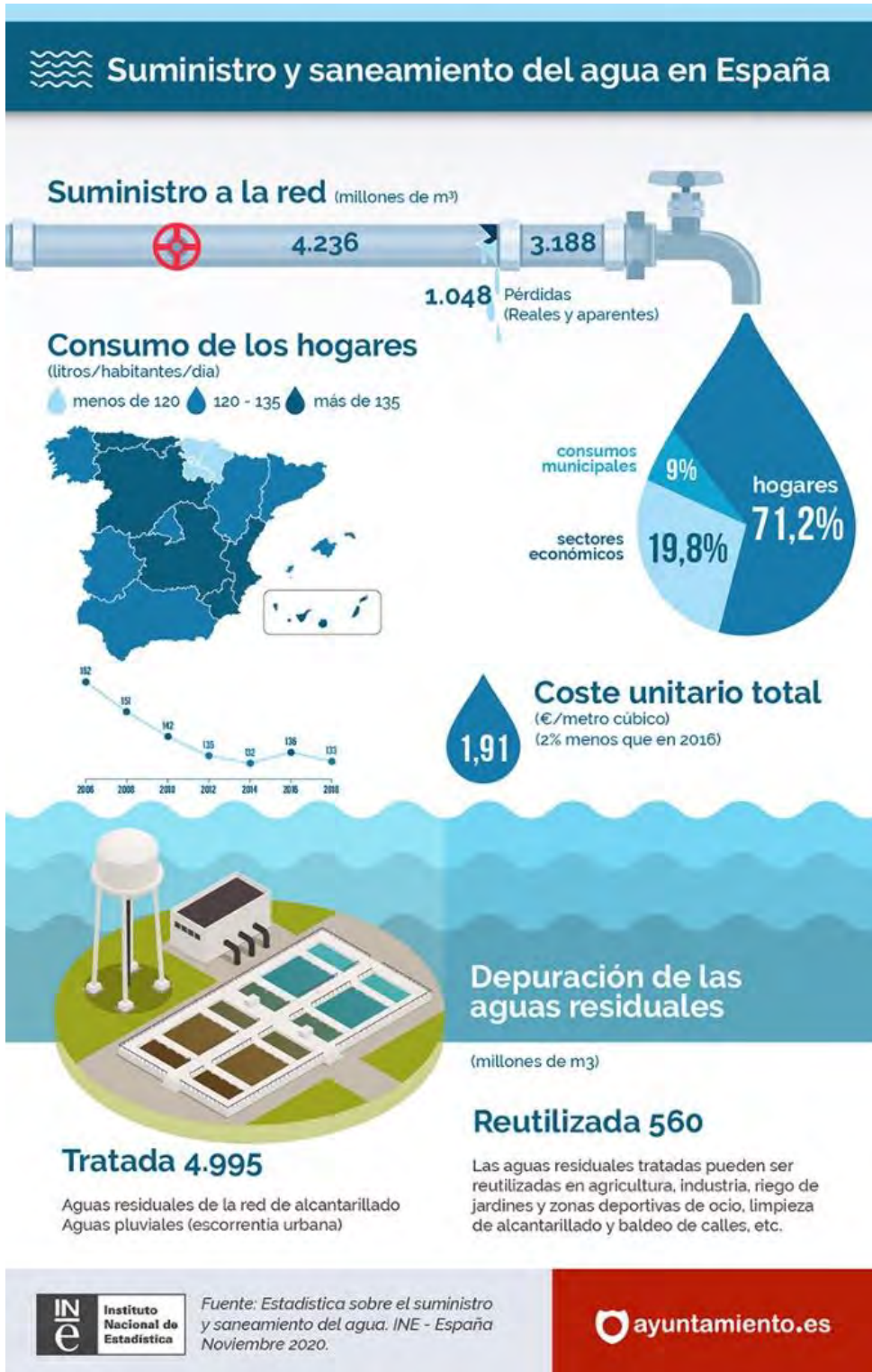


Figura 8: Suministro y saneamiento de agua en España

La **toma de muestras de agua** (Foto 10) 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.)** (Foto 11).

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, 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).

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

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 Tablas 1 y 2 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. 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 con concentraciones elevadísimas en sales y, consiguientemente, C.E. muy altas.

Tabla 1: Clasificación de las aguas subterráneas en función de su temperatura.

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

Tabla 2: Valores característicos de C.E. y salinidad de diferentes tipos de aguas subterráneas



Foto 10: Toma de una muestra de agua subterránea en un piezómetro mediante tomamuestras.



Foto 11: 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.).



Foto 12: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.

La medida del nivel piezométrico o freático (Foto 12) se realiza mediante un dispositivo denominado **sonda piezométrica o hidronivel** (Foto 13), 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.

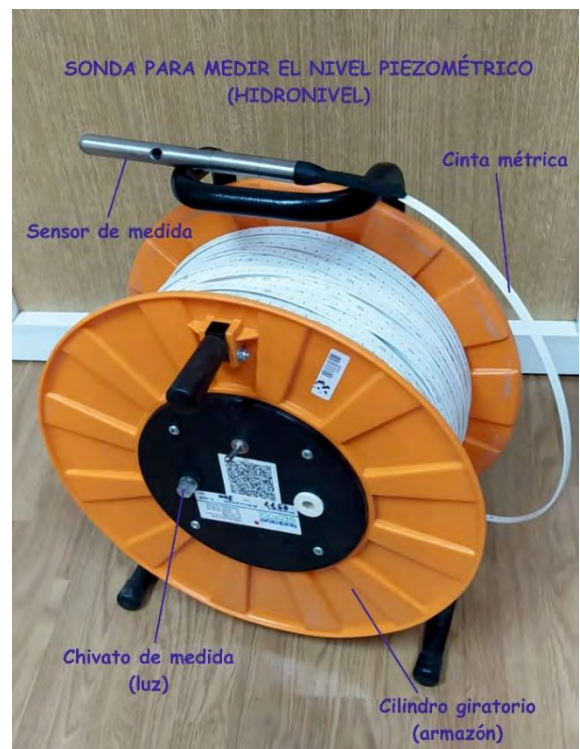


Foto 13: Sonda para medir el nivel piezométrico..

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 / Extrait 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	2,58
Silice	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
Silice:	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

Análisis (mg/L): Lab. Dr. Oliver Rodés - marzo 2017

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	Silice	34,3

Conductividad a 20°C: 175 microS.cm⁻¹

Foto 14: 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.

Muy 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 o sondeos, 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 (Foto 14).

PARADA 3: CASCADA DE “L’ONCLE JOAN”

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 9). 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. Se sitúan, por tanto, 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.



Foto 15: El Salto de la Novia.

Figura 9: Periodos de tránsito de las aguas subterráneas (López Geta, J.A et al. 2009).



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 de escasa profundidad o pequeñas galerías se llegaba hasta el nivel del agua subterránea o **nivel freático**, o profundidad a la que se encuentra el agua, es decir, el nivel por debajo del cual un acuífero está permanentemente saturado de agua.

Mucho más recientemente, la tecnología ha permitido la construcción de **sondeos** de centenares de metros en los que se instalan bombas capaces de elevar el agua desde gran profundidad.

Un **sondeo o pozo** 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** permite la extracción del agua u otros fluidos (petróleo, gas...) o actuar como punto de **observación del acuífero**, siendo su función en este caso la de permitir 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 los, y las, hidrogeólogos no solo consiste en determinar en qué punto debe perforarse un pozo, sino en definir sus características (profundidad, diámetro, acondicionamiento, caudal óptimo de explotación, etc.), aconsejar el mejor sistema de perforación, 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 8) 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.

Los métodos de perforación más utilizados en la actualidad son la percusión, la rotación, y la rotopercusión (Figura 10):

- **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”.



Foto 16: Cascada de “L’Oncle Joan”.

- **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 (Foto 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.

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** (Foto 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.

Foto 17: Perforación de un sondeo a rotopercusión





Foto 18: Entubación de un sondeo

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

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



Foto 19: Ensayo de bombeo

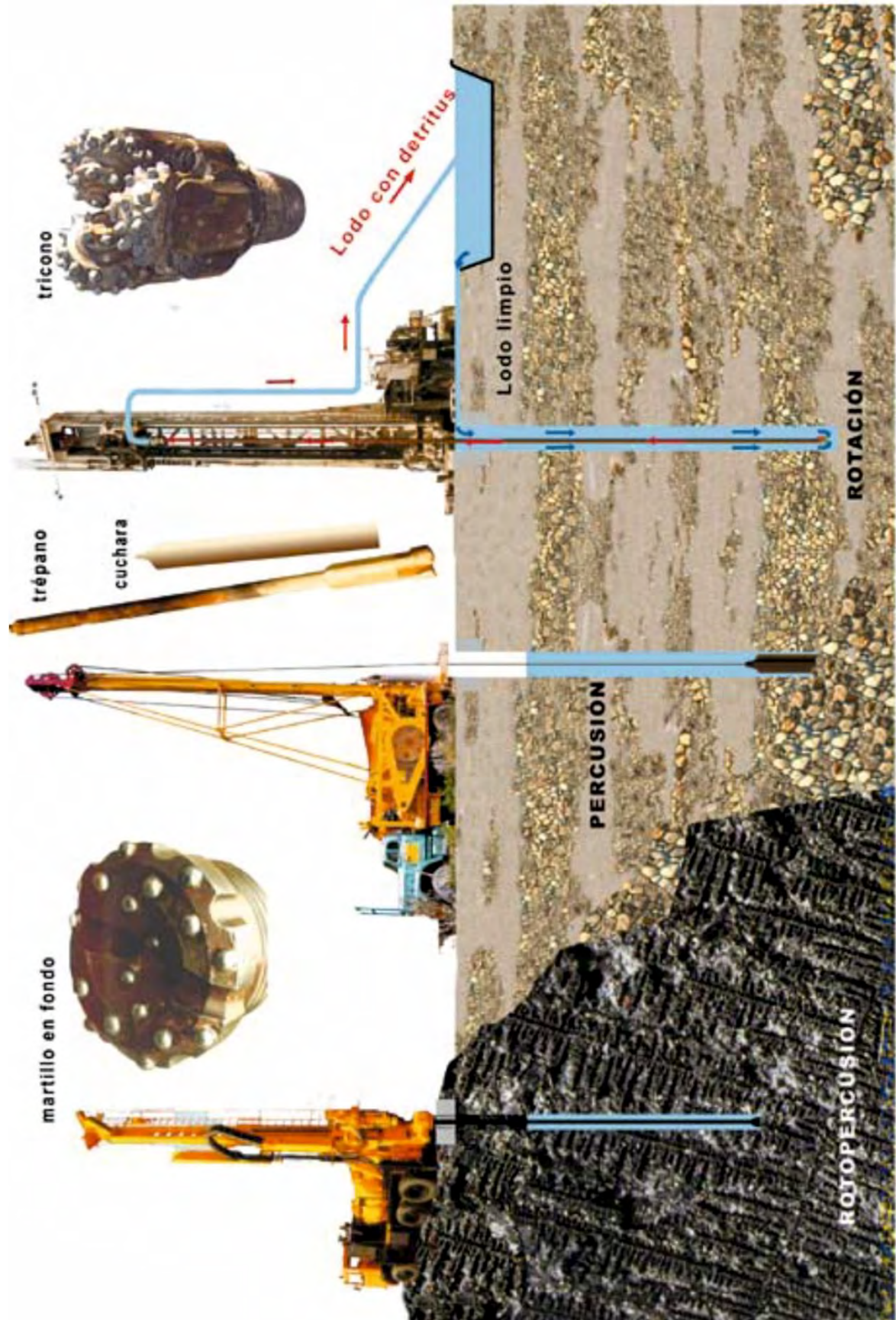


Figura 10: Sistemas de perforación de sondeos (López Geta, J.A et al. 2009)

El objetivo de un pozo o sondeo de explotación de aguas subterráneas es **alcanzar un tramo o nivel permeable en profundidad** que se encuentre saturado, 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 distintos tramos (permeables e impermeables) hasta llegar al que nos interesa para poder extraer los recursos hídricos subterráneos que contiene (Figura 11).

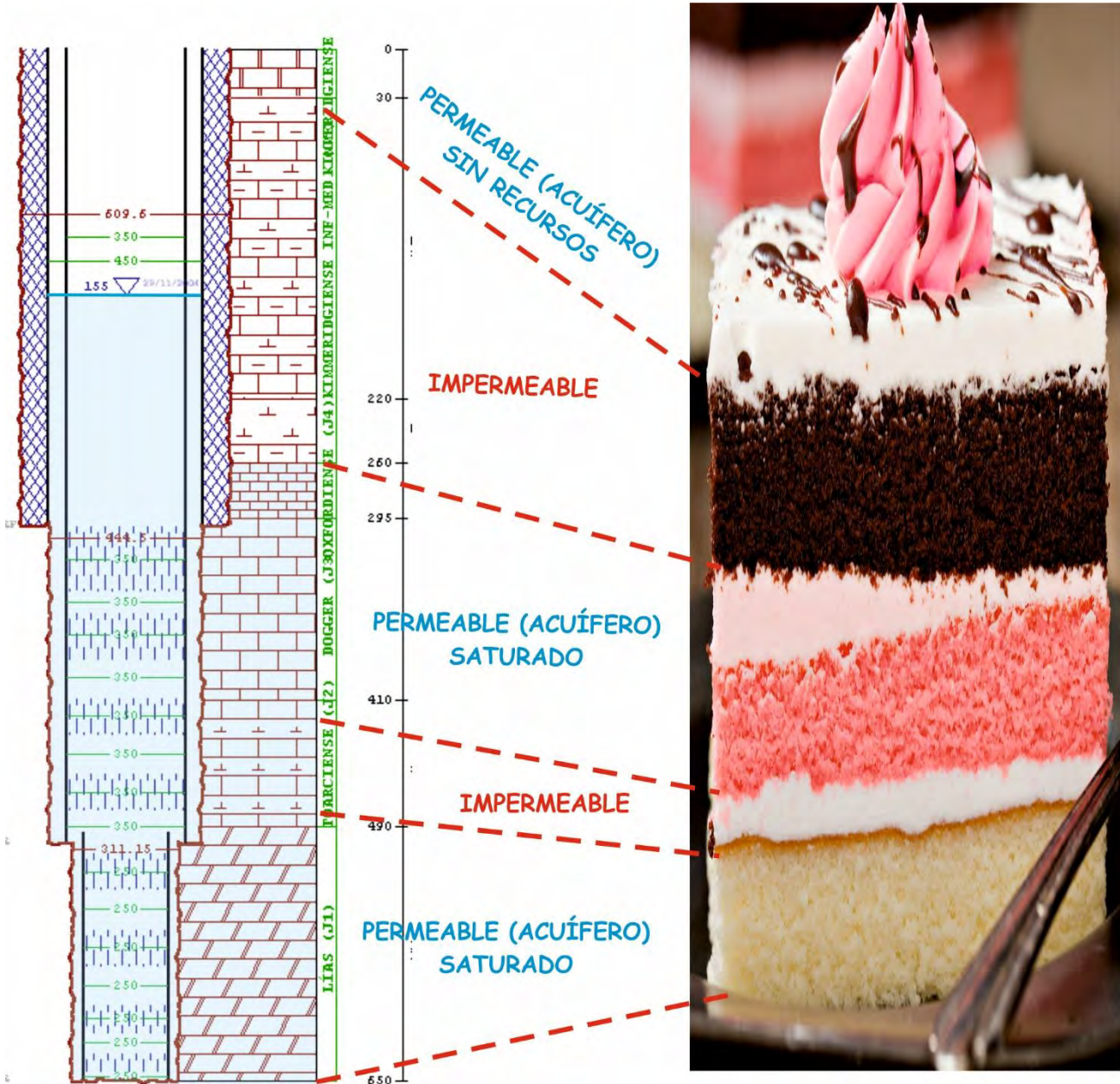


Figura 11: Acondicionamiento de un sondeo. Nivel freático. Capas permeables (acuíferos) e impermeables (acuicludos).

PARADA 4: SALTO DE LA NOVIA”

La cascada de “**El Salto de La Novia**” (Fotos 15, 20 y 23) no es, en realidad, la descarga de un manantial situado en el punto donde se produce la caída de agua. Este “salto” (desnivel) es el punto final de desagüe al río Palancia de una canalización que encauza las aguas sobrantes tras abastecer a Segorbe, Navajas y Altura del manantial de La Esperanza (foto 21), que se sitúa a 1,5 km al sur de este punto. El manantial de la Esperanza se origina por la actuación de una falla (fractura) que facilita la ascensión del flujo subterráneo a la superficie (Figura 12).

*Foto 20: Salto de la Novia
(imagen derecha)*



Foto 21: Manantial de La Esperanza (imagen inferior)



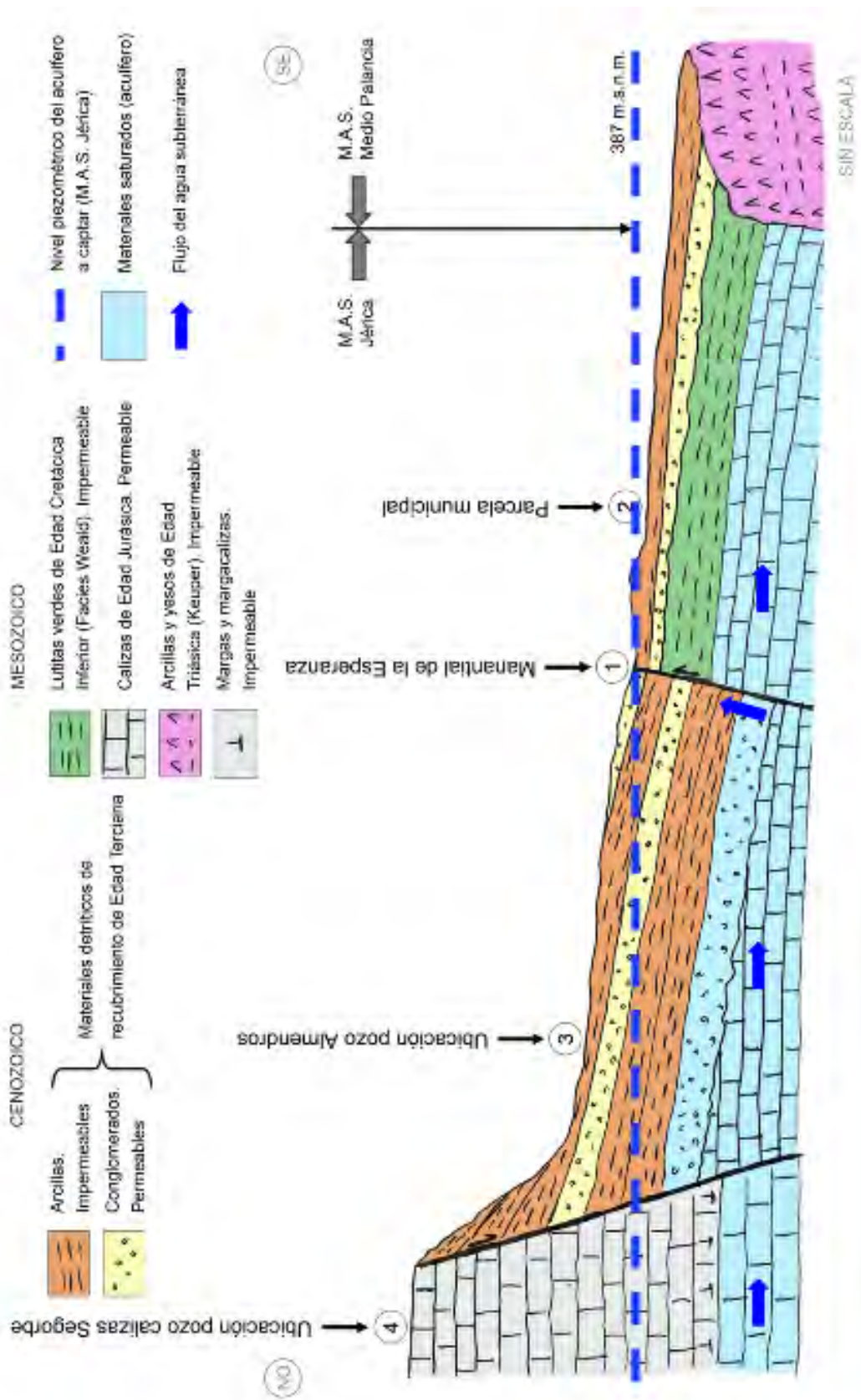


Figura 12: Esquema hidrogeológico de funcionamiento del manantial de "La Esperanza"

En el área de “El Salto de La Novia” se puede observar la disposición en delgadas capas o estratos sucesivos, como tablas, de los materiales carbonatados jurásicos que se sitúan abajo los pies de los depósitos de travertinos (Foto 22).

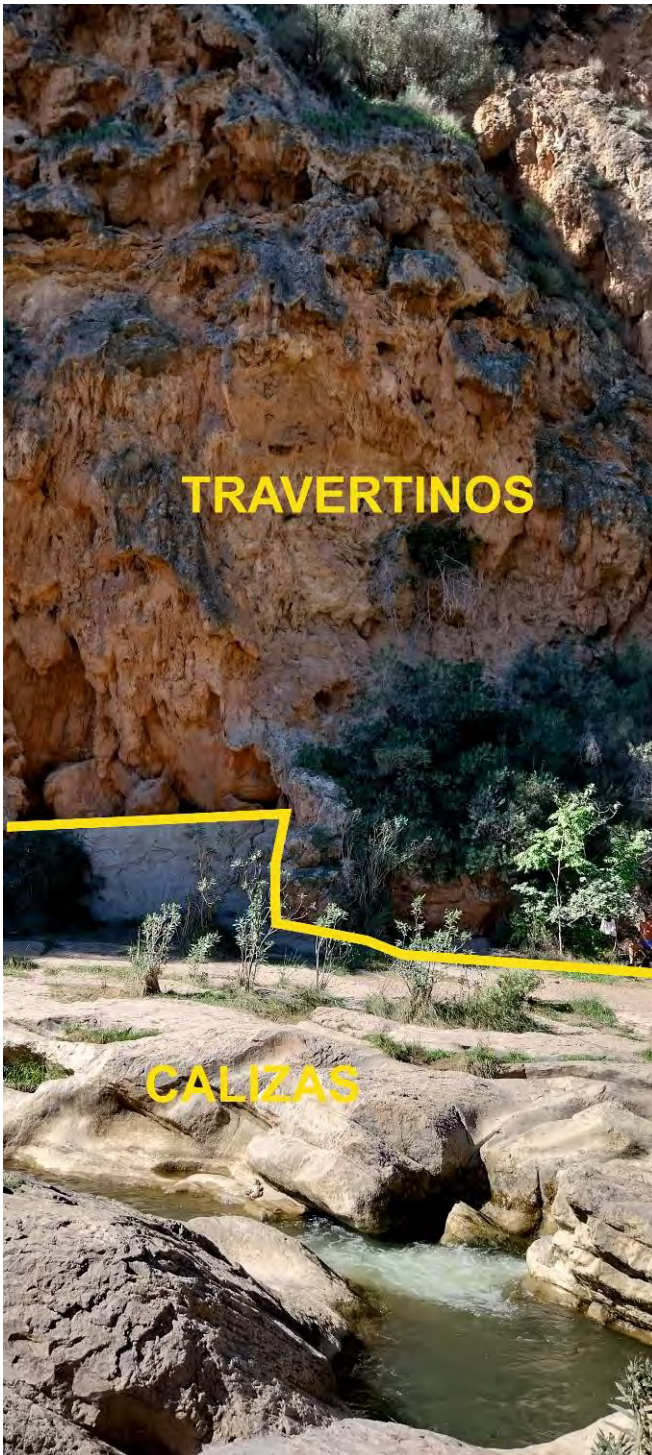


Foto 22: Travertinos sobre rocas calizas (Jurásicas) estratificadas

Esta disposición en estratos (estratificación) es propia de las **rocas sedimentarias** y obedece a un proceso denominado **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. En función de las características de permeabilidad de las capas resultantes se podrá hablar de **niveles o estratos permeables** que si 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**. Este 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 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, por ejemplo, niveles permeables (acuíferos) o impermeables (acuicludos) (Figura 13).

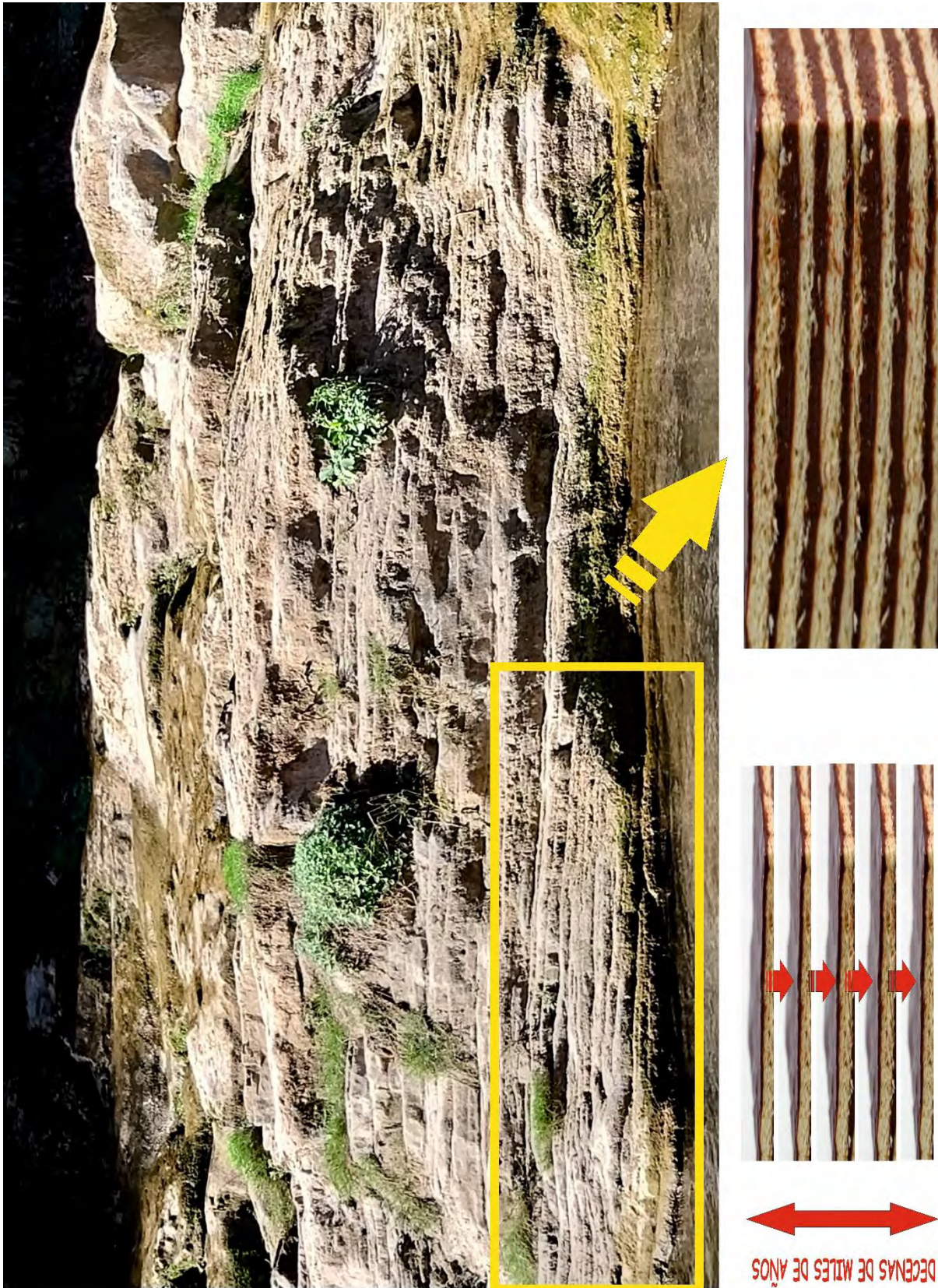


Figura 13: Calizas estratificadas de forma laminar o tabular, es decir, en pequeños estratos centimétricos.

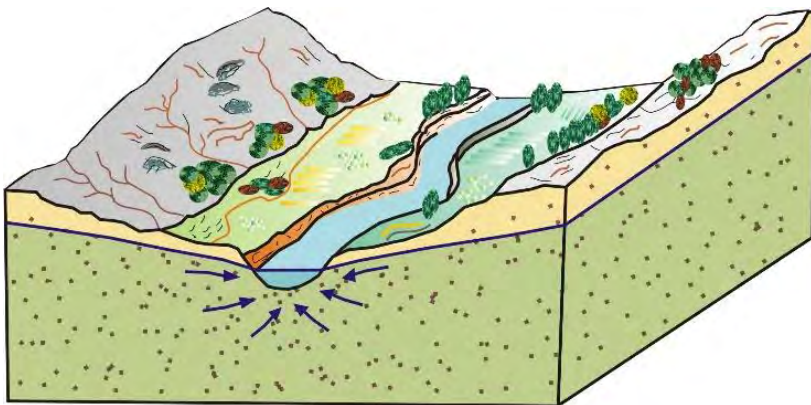
Cuando un río atraviesa formaciones permeables que constituyen acuíferos, se establece una relación entre las aguas superficiales que lleva el cauce y las subterráneas del acuífero.

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.

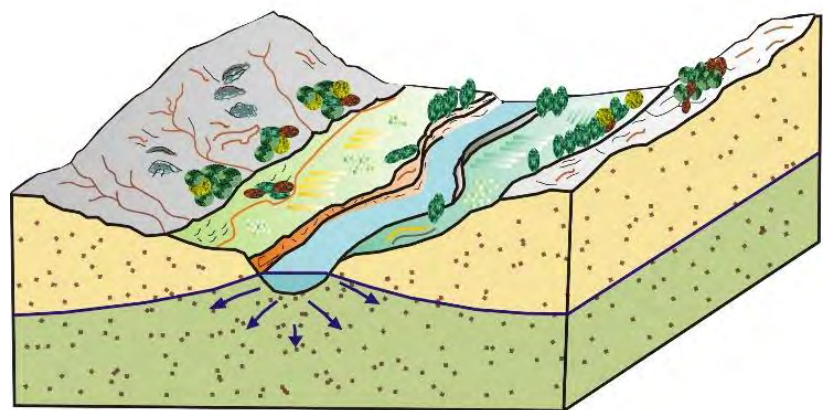
La clasificación más simple y utilizada se basa exclusivamente en el sentido de la transferencia hídrica. Así se distingue entre:

* **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 14).



RÍO GANADOR



RÍO PERDEDOR

Figura 14: Relación río-acuífero

PARADA 5: CONTACTO MATERIALES PERMEABLES (CALIZAS) / IMPERMEABLES (ARCILLAS)

En esta última parada se puede observar el contacto entre materiales permeables (calizas), que son las que constituyen el acuífero en el que se almacena el agua subterránea y materiales impermeables, compuestos por arcillas y margas, que ejercen de límite o barrera para el flujo subterráneo.

Esta disposición es la que ocasiona que en esta zona se originen los manantiales que hemos visto (Figuras 15).

Un acuífero, como ya hemos comentado, actúa como un medio transmisor de recursos hídricos, de tal forma que se **recarga** mediante un proceso natural o artificial por el cual se produce la entrada de agua al mismo. Se habla de **áreas de recarga preferencial o preferente** a aquellas zonas naturales en las que este proceso se produce de manera más significativa, pueden ser determinados tramos de cauce perdedores o áreas muy permeables en las que el porcentaje de precipitación que termina por infiltrarse es elevado.

Por el contrario, se define una **zona de descarga** de un acuífero al área o sector en el que se produce prioritariamente un drenaje o descarga de los recursos hídricos del mismo.

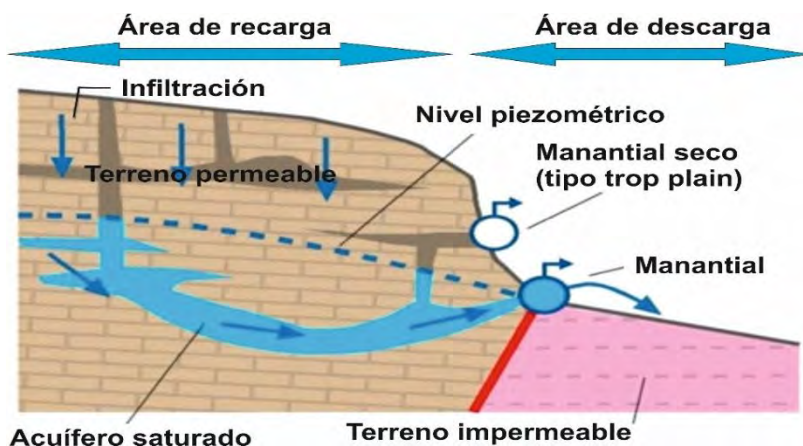


Figura 15: Contacto entre materiales permeables (acuífero) e impermeables (puntos de descarga de acuíferos = manantiales).



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 16), 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.

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.

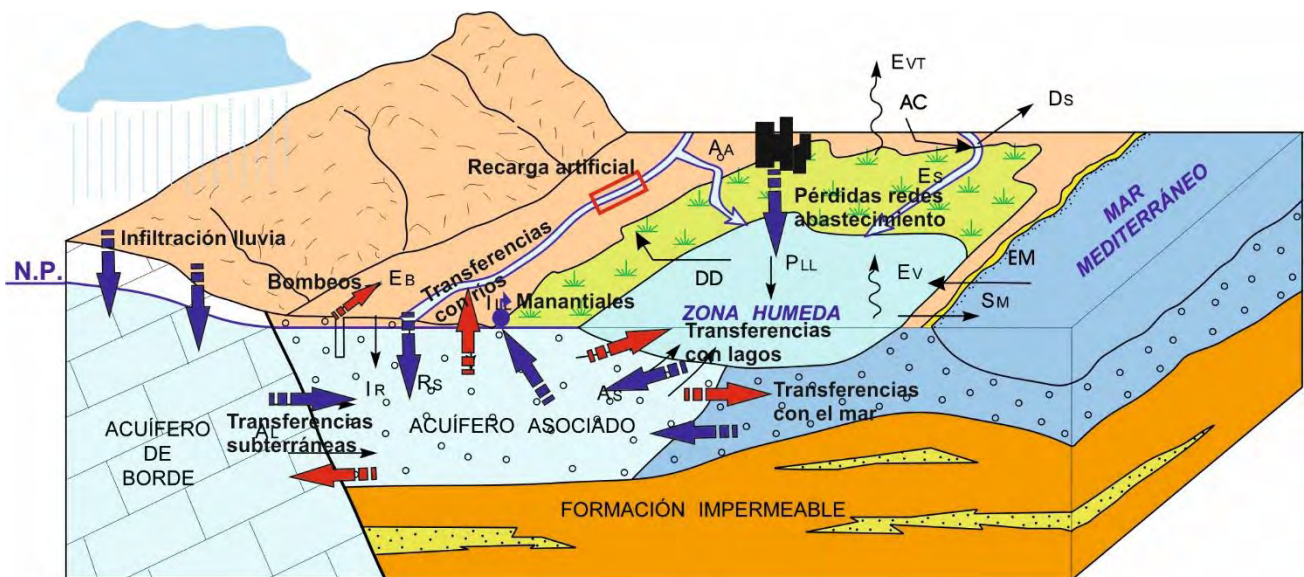
Entre los aportes o entradas de agua al acuífero se deben valorar:

- 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...)

Figura 16: Parámetros a tener en cuenta a la hora de estimar el balance hídrico de un acuífero costero con un humedal (modificado de Ballesteros Navarro, B.J. 2003).



AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por la ayuda prestada para llevar a cabo el HIDROGEODÍA 2024 al **Excelentísimo Ayuntamiento de Navajas**, así como a la empresa **FACSA (Fomento Agrícola Castellonense)**.

Igualmente queremos recordar de nuevo las labores de investigación que desde organismos como el **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**, la **Universitat Jaume I (UJI) de Castelló**, **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.

LO/AS MONITORE/AS DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2024

Jose Antonio Domínguez Sánchez
(Hidrogeólogo - IGME)

Arianna Renau Pruñonosa
(Hidrogeóloga – UV-UJI)

Belén Sánchez (Hidrogeóloga - FACSA)

Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez
(Hidrogeólogo)

José Oriol Navarro Odriozola
(Hidrogeólogo)



Foto 23: Salto de La Novia (Navajas)

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/>

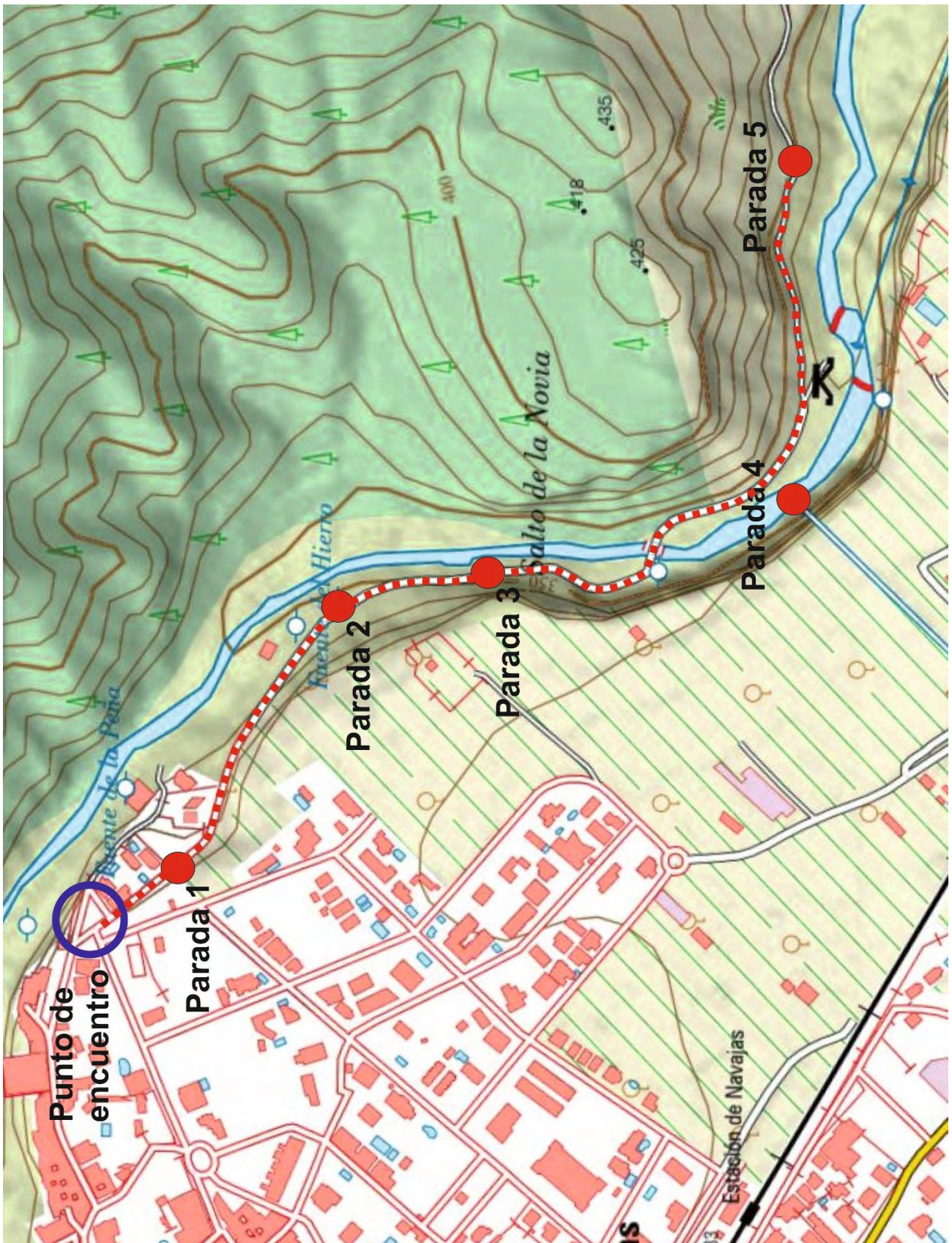
<http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-1-albufera>

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

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

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

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2023



HIDROGE♂DÍA
2024 Castelló

