

# HIDROGEODÍA

## Una experiencia de divulgación de las aguas subterráneas en España

Año 2023



**Eds.: Almudena de la Losa Román, Carolina Guardiola Albert y  
Concepción Pla Bru**

**ISSN 2952-0568**  
**Título clave: Hidrogeodía**

## ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<i>Almudena de la Losa Román, Concepción Pla Bru</i>	
<b>Albacete - El renacer invisible del río Júcar</b>	<b>5</b>
<i>David Sanz, Iordanka Dountcheva, Juan José Gómez-Alday, Eduardo Cassiraga</i>	
<b>Alicante - Reserva natural subterránea en la Sierra de Mariola</b>	<b>17</b>
<i>Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez, José Miguel Andreu Rodes, otros (monitores)</i>	
<b>Asturias - Oviedo ahorra agua... derrocha vida</b>	<b>37</b>
<i>Nerea Díez Vázquez, Beatriz González Fernández, Tomás Esolá Muñiz, Mónica Meléndez Asensio</i>	
<b>Barcelona - Los recursos hídricos de Barcelona y las infraestructuras urbanas</b>	<b>46</b>
<i>Enric Vázquez Suñé</i>	
<b>Burgos - Aguas subterráneas, acuíferos y medio ambiente en la provincia de Burgos</b>	<b>62</b>
<i>Luis Antonio Marcos Naveira</i>	
<b>Cáceres - El agua en Aldeanueva de la Vera: recorrido por sus fuentes y exposición de su red de acequias</b>	<b>63</b>
<i>Juan José Tejado Ramos, Eduardo Rebollada Casado, Francisco Fernández de la Llave</i>	
<b>Castellón - Las aguas subterráneas en "Els Estanys d'Almenara"</b>	<b>69</b>
<i>Jose Antonio Domínguez Sánchez, Arianna Renau Pruñonosa, Belén Sánchez-Rubio Ruíz, Eduardo Ruíz-Dorizzi Ordóñez, José Oriol Navarro Oriozola</i>	
<b>Ciudad Real - Tras las huellas de Eduardo Hernández-Pacheco en la llanura de San Juan</b>	<b>107</b>
<i>Silvino Castaño Castaño, Alberto Celis Pozuelo, Pedro Martínez Santos, Pablo Pichaco García</i>	
<b>Cuenca - Un paseo hidrogeológico por el Júcar</b>	<b>133</b>
<i>David Sanz, Julio Martín, Irene Prieto, Tirso Moreno, Marta Fernández</i>	
<b>Galicia - Agua subterránea y traídas vecinales en Gondomar</b>	<b>149</b>
<i>Acacia Naves, Eva Álvarez, Javier Samper</i>	
<b>Girona - Manantiales del acuífero fluvio-volcánico del Llano de Olot, parque natural de la zona volcánica de la Garrotxa</b>	
<i>Joan Bach Plaza, Emili Bassols Isamat</i>	
	<i>versión en catalán</i> <b>157</b>
	<i>versión en castellano</i> <b>170</b>



<b>Granada - Las Fuentes del Guardal en el entorno del Canal de Carlos III</b>	<b>183</b>
<i>Tomás peinado Parra, Antonio González Ramón, Curro Roldán García, Raúl Bustamante Ortega de Cronos</i>	
<b>Guadalajara - El sistema kárstico de la Laguna de Taravilla: la acción del agua bajo la belleza del paisaje</b>	<b>196</b>
<i>Enrique Díaz Martínez, José Antonio Martínez</i>	
<b>Huelva - El agua en las minas de Tharsis</b>	<b>205</b>
<i>Francisco Macías, Manuel Olías, Raúl Moreno González, María Dolores Basallote, Carlos Ruiz Cánovas, Rafael León, Jonatan Romero Matos, José Luis Guerrero, Rafael Pérez López, José Miguel Nieto</i>	
<b>Huesca - Aproximación a la hidrogeología del futuro Parque Geológico y Minero de la Litera y Ribagorza</b>	<b>221</b>
<i>Sebastián Agudo Blanco, Josep Maria Mata Perelló, Josep Maria Màsich Polo, Jorge Franco Balaguer</i>	
<b>Lleida - Atractivos hidrogeológicos en la cuenca del Noguera Pallaresa</b>	<b>239</b>
<i>Manel Pascual, Josep María Masich, Carles Balasch</i>	
<b>Madrid - Un paseo hidrogeológico por el Valle del Alto Lozoya: las aguas subterráneas que esconde el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama</b>	<b>279</b>
<i>Carlos Baquedano Estévez, Elisabeth Díaz Losada, Juan José Durán Valsero, Javier Heredia Díaz, Fabián Luis López Olmedo, Almudena de la Losa Román, Raquel Morales García, Luis Moreno Merino, Amalia Romero Prados</i>	
<b>Málaga - Ciencia y leyendas de las aguas subterráneas en Archidona</b>	<b>314</b>
<i>Matías Mudarra Martínez, Juan Antonio Barberá Fornell, Javier Buera Cuerva, Alejandro Carrasco Martín, Beatriz de la Torre Martínez, Sergio Raúl Durán Laforet, Jaime Fernández Ortega, Luis Linares Girela, Alejandro Millán Madrid, Juan José Rovira Medina</i>	
<b>Segovia - "La mina de agua" de Carbonero el Mayor</b>	<b>325</b>
<i>M. Fuencisla Vicente Rodado, Esteban Casaux Rivas, Gonzalo Lozano Otero Andrés Díez Herrero, Juana Vegas Salamanca, Nuria Sacristán Arroyo, Juan Palomo Martín, Óscar Cabestrero Aranda, Pablo Rincón Camazano, Santiago Rincón López, Primitivo Rodríguez Mendoza, Miguel Angel San Frutos Martín</i>	
<b>Sevilla - Origen y causas de alteración de Lagunas de Campiña en la provincia de Sevilla</b>	<b>338</b>
<i>Miguel Rodríguez Rodríguez, Manuel Díaz Azpiroz, Alejandro Jiménez Bonilla, Laszlo Hámos, Joaquín María Delgado Rodríguez, Ana Rebollo</i>	
<b>Zamora - Lagunas de Villafáfila: las aguas subterráneas y la sal (Villafáfila)</b>	<b>348</b>
<i>Laura Llera Sánchez, Pedro Huerta Hurtado, Esther Rodríguez Jiménez, Carlos Enrique Nieto Martín</i>	
<b>Zaragoza - Monegros: agua y sal</b>	<b>357</b>
<i>Eduardo Antonio Garrido Schneider, Cristina Pérez Bielsa, Carmen Castañeda del Álamo, Miguel Ángel García Vera, José Ángel Sánchez Navarro, Miguel Ángel Marazuela Calvo</i>	

<b>Andorra - Les Bons, entre rius i fonts</b> <i>Valentí Turu, Anna Echeveria</i>	<b>388</b>
<b>Brasil (Bauru) - HIDROGEODÍA   BRASIL 2023</b> <i>Alexandra Suhogusoff, Claudia Varnier, Daniela Barbatí, Eduardo Ikehara, Fernanda Barreto, Fernando Schuh, Isabela Hirata, Leonardo Capeleto, Ricardo Hirata</i>	<b>400</b>
<b>Brasil (Minas Gerais) - Serra de Ouro Preto e águas subterrâneas</b> <i>Adivane Terezinha Costa, Bruno Henrique Borges, Bárbara Maria de Paula Botaro, Ludymilla Agnes Ferreira, Yasmin Peric Velloso, Rodson de Abreu Marques, Luís de Almeida Prado Bacella</i>	<b>406</b>
<b>Chile - El pasado del río Mapocho y una mirada al agua</b> <i>Nicole Cabrera, Cristóbal Machuca, Felipe Fuentes, Luis López</i>	<b>432</b>
<b>Ecuador - Acuífero costero Manglaralto</b> <i>Paúl Carrión Mero, María Fernanda Jaya, Cecilia Paredes Verduga, Adriana Santos, Gina Andrade García, Gricelda Herrera, Fernando Morante, Bethy Merchán, Joselyne Solórzano, Emily Sánchez, Jenifer Malavé, Flavio Alberto Villao Borbor, Juan Félix Reyes Ángel, Gloria Azucena Malavé Laínez, Adriano Eduardo Alejandro Tomalá</i>	<b>433</b>

## ***¿Qué es el Hidrogeodía?***

El *Hidrogeodía* es una jornada de divulgación de la hidrogeología, ciencia que se encarga del estudio de las aguas subterráneas, celebrada con motivo del Día Mundial del Agua (22 de marzo) y promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). En esta iniciativa también colaboran Organismos Públicos de Investigación, Universidades y otros organismos cuya actividad está relacionada con las aguas subterráneas. Esta iniciativa surge en el año 2017 y consta de actividades gratuitas, guiadas por hidrogeólogos y abiertas a todo tipo de público, sin importar sus conocimientos en la materia a tratar en cada una de las actividades propuestas.

Las actividades que se desarrollan en el marco del Hidrogeodía tienen como fin difundir y concienciar a la población de la relevancia de los recursos hídricos subterráneos, así como poner en valor los lugares histórico-culturales y elementos patrimoniales asociados a las aguas subterráneas.

Los equipos de trabajo que llevan a cabo las actividades del Hidrogeodía suelen ser grupos interdisciplinares que no solo muestran aspectos relacionados con la hidrogeología, sino que tratan de acercar al público temas de diversa índole relativos a los aspectos históricos, culturales, etc., vinculados a las aguas subterráneas.

De este modo, con el Hidrogeodía se pretende satisfacer su curiosidad sobre aspectos relacionados con las aguas subterráneas, al mismo tiempo que se crea sensibilidad y conciencia hacia una preservación de los recursos naturales.

## ***¿En qué consisten las actividades?***

Las actividades que se desarrollan durante el Hidrogeodía constan de itinerarios a pie, generalmente cortos y que no presentan gran dificultad, aunque en algunos casos se dispone de autobuses para llegar a las paradas indicadas. En otras ocasiones, las actividades se han llevado a cabo mediante el uso de coches particulares hasta llegar a las zonas indicadas o incluso, a veces, se ha llegado a hacer uso de transporte público (autobús/metro).

Las explicaciones son realizadas por monitores cualificados que acompañan a los visitantes, ayudados por mapas, esquemas o paneles explicativos y/o mediante charlas interactivas, en las que los participantes pueden intervenir y opinar. El número de participantes en la actividad condiciona el formato para desarrollar las explicaciones. Generalmente, si los grupos son reducidos, los monitores acompañan a los visitantes en el recorrido y se van realizando paradas y explicaciones simultáneas en puntos elegidos. En otros casos, los monitores están ubicados en puntos fijos de las diferentes paradas y los grupos, de unas 10-20 personas, son los que van pasando por los sucesivos puntos de información para recibir las explicaciones. Esto agiliza las paradas haciendo más dinámicas las actividades. Generalmente las explicaciones son teóricas, acompañadas de paneles o folletos explicativos elaborados por los propios monitores. No obstante, en algunos casos, cuando la logística lo permite, se pueden llevar a cabo demostraciones prácticas: se ofrece a los participantes la oportunidad de manejar los equipos de campo y realizar medidas “in situ”, lo que permite conocer de primera mano las labores del propio hidrogeólogo. Esto hace mucho más amena e interactiva la actividad, intentando hacer partícipes a todos los asistentes.



Generalmente, al tratarse de recorridos cortos, cualquier persona podría adaptarse a las diferentes propuestas. No obstante, en todos los casos, se informa a las personas asistentes a las actividades de si existe algún condicionante para el buen desarrollo de la actividad.

## ***Planificación de las actividades***

En primer lugar, los organizadores de cada una de las provincias eligen el área de la excursión, y elaboran un cartel informativo donde detallan las cuestiones más relevantes de la jornada: día, hora, punto de encuentro, así como los aspectos organizativos y temáticos del itinerario.

También elaboran material didáctico que será mostrado durante la excursión, así como una guía que recoge la información relativa al evento. La guía contiene material gráfico (imágenes y mapas del recorrido) y texto explicativo sobre las distintas paradas, con afán divulgativo. En cada itinerario, la información integra aspectos hidrogeológicos, geológicos y de carácter histórico/cultural y ambiental.

El Hidrogeodía se anuncia con varios meses de antelación mediante campañas de difusión a través de diversas plataformas, mediante blogs y las redes sociales. El Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) dispone de una página web (<http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia/>) en la que se incluyen los carteles, guías y toda aquella documentación o material didáctico referente a la actividad en cada una de las provincias, que se puede descargar libremente. Los itinerarios mostrados son diferentes en cada una de las ediciones. Además, en la página web de la AIH-GE se incluye una dirección de contacto, en la que pueden inscribirse las personas interesadas en un plazo determinado. No obstante, diferentes organismos, instituciones, universidades y centros afines a la hidrogeología están también involucrados, con la finalidad de dar una mayor difusión a la actividad. El uso de internet y de las redes sociales también han facilitado, en gran medida, la difusión del evento y una mayor visibilidad. Con el fin de aumentar la participación social, en algunos casos se proponen, además, iniciativas como concursos de fotografía, abiertos a todos los públicos y dirigidos a la temática hidrogeológica. En otras ocasiones, para dinamizar la actividad se emplean herramientas digitales 3.0 (redes sociales e internet). En el conjunto de redes sociales disponibles (*Twitter, Facebook, Youtube*) se cuelgan todos aquellos documentos gráficos relevantes para la difusión de los eventos, así como material audiovisual. Además, se involucra a los medios de comunicación mediante el envío de notas de prensa y entrevistas en las radios locales. Cuando es posible, se implica a los ayuntamientos de los municipios en los que se desarrollan las jornadas, así como a algunas empresas locales, a las cuales se les ofrece la posibilidad de incluir su logotipo en el material elaborado.

Todo el material divulgativo generado está disponible y puede descargarse libremente desde la página de la AIH-GE para: 1) ser utilizado por centros educativos u otras instituciones interesadas, 2) servir de apoyo a profesionales que quieran realizar itinerarios turísticos relacionados con aspectos hidrogeológicos, 3) promover el desarrollo rural de zonas poco conocidas y poner en valor los aspectos relacionados con el patrimonio natural e histórico-cultural del entorno visitado.

# Hidrogeodía 2023

En 2023, el Hidrogeodía se ha celebrado en 22 provincias y, adicionalmente, también en Andorra e Iberoamérica (Brasil, Chile y Ecuador) (Figura 1).



*Figura 1. Provincias españolas y emplazamientos fuera de España donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2023.*

La actividad específica que se ha celebrado en cada emplazamiento se detalla a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Actividades realizadas en cada uno de los emplazamientos donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2023.

PROVINCIA (ESPAÑA)	TÍTULO
Albacete	EL RENACER INVISIBLE DEL RÍO JÚCAR
Alicante	RESERVA NATURAL SUBTERRÁNEA EN LA SIERRA DE MARIOLA
Asturias	OVIDO AHORRA AGUA... DERROCHA VIDA
Barcelona	LOS RECURSOS HÍDRICOS DE BARCELONA Y LAS INFRAESTRUCTURAS URBANAS
Burgos	AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFEROS Y MEDIO AMBIENTE EN LA PROVINCIA DE BURGOS
Cáceres	EL AGUA EN ALDEANUEVA DE LA VERA: RECORRIDO POR SUS FUENTES Y EXPOSICIÓN DE SU RED DE ACEQUIAS
Castellón	LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN "ELS ESTANYS D'ALMENARA"
Ciudad Real	TRAS LAS HUELLAS DE EDUARDO HERNÁNDEZ-PACHECO EN LA LLANURA DE SAN JUAN
Cuenca	UN PASEO HIDROGEOLÓGICO POR EL JÚCAR

<b>PROVINCIA (ESPAÑA)</b>	<b>TÍTULO</b>
Galicia	GONDOMAR - CENTRO NEURAL DE GONDOMAR
Girona	MANANTIALES DEL ACUÍFERO FLUVIO-VOLCÁNICO DEL LLANO DE OLOT, PARQUE NATURAL DE LA ZONA VOLCÁNICA DE LA GARROTXA
Granada	LAS FUENTES DEL GUARDAL EN EL ENTORNO DEL CANAL DE CARLOS III
Guadalajara	EL SISTEMA KÁRSTICO DE LA LAGUNA DE TARAVILLA: LA ACCIÓN DEL AGUA BAJO LA BELLEZA DEL PAISAJE
Huelva	EL AGUA EN LAS MINAS DE THARSIS
Huesca	APROXIMACIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA DEL FUTURO PARQUE GEOLÓGICO Y MINERO DE LA LITERA Y RIBAGORZA
Lleida	ATRATIVOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL NOGUERA PALLARESA
Madrid	UN PASEO HIDROGEOLÓGICO POR EL VALLE DEL ALTO LOZOYA: LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS QUE ESCONDE EL PARQUE NACIONAL DE LA SIERRA DE GUADARRAMA
Málaga	CIENCIA Y LEYENDAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ARCHIDONA
Segovia	"LA MINA DE AGUA" DE CARBONERO EL MAYOR
Sevilla	ORIGEN Y CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LAGUNAS DE CAMPIÑA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA
Zamora	LAGUNAS DE VILLAFÁFILA: LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA SAL (VILLAFÁFILA)
Zaragoza	MONEGROS: AGUA Y SAL
<b>OTROS PAÍSES</b>	<b>TÍTULO</b>
Principado de Andorra	LES BONS, ENTRE RIUS I FONTS
Brasil (Bauru)	HIDROGEOLOGÍA   BRASIL 2023
Brasil (Minas Gerais)	SERRA DE OURO PRETO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
Chile	EL PASADO DEL RÍO MAPOCHO Y UNA MIRADA AL AGUA SUBTERRÁNEA
Ecuador	ACUÍFERO COSTERO MANGLARALTO

En su edición de 2023, el Hidrogeodía ha contado con 1537 participantes entre las distintas localizaciones en que se ha celebrado. Independientemente de la localización, la actividad ha sido muy bien acogida por el público participante cuyo rango de edad mayoritario ha sido el comprendido entre 40 y 60 años (53%). Las encuestas realizadas a los participantes en la actividad confirman que, de todos los participantes, un 25% repetía la experiencia, habiendo participado en ediciones pasadas. La actividad sirve para acercar la hidrogeología a todo tipo de público. Los asistentes confirman que el desarrollo de la actividad ha sido excelente (72%), con una organización y atención también excelentes (68% y 77%, respectivamente). El 98% de los participantes, recomendarían la actividad y la repetirían en la próxima edición.

A continuación, se muestran las guías-carteles de todos los emplazamientos participantes en la actividad en el año 2023.



ALBACETE

# HIDROGE♂DÍA

# 2023



**EL RENACER INVISIBLE DEL RÍO JÚCAR**  
**SÁBADO 25 DE MARZO DE 10.00 A 14.00**



**Zona de encuentro: Cuasiermas, cruce de la carretera Albacete-Motilleja con el río Júcar**



El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Albacete, el **Hidrogeodía 2023** se celebra el día 25 de marzo en el paraje conocido como Cuasiermas, (en el entorno del río Júcar). Para ello se cuenta con la colaboración del Departamento de Geología del Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel", el Grupo de Hidrogeología del Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla – La Mancha (UCLM), el Grupo de Hidrogeología la Universidad Politécnica de Valencia y otros colaboradores.

Es una zona de gran interés hidrogeológico donde en 2013 ya se realizó una parada en el Geolodía de Albacete ([https://serpi43.dipualba.es/archivo\\_alcaraz/PDF/Geolodia13.pdf](https://serpi43.dipualba.es/archivo_alcaraz/PDF/Geolodia13.pdf)). En efecto, el área de conexión-desconexión entre el río Júcar y el acuífero de la Mancha Oriental se realiza muy cerca de este lugar y lo podremos comprobar mediante la realización de aforos en el río, la lectura de los niveles freáticos en piezómetros cercanos o mediante el análisis de parámetros físico-químicos del agua que se ve (aguas superficiales) y del agua invisible (las aguas subterráneas). El objetivo principal de esta excursión es que los participantes comprendan y observen desde el punto de vista hidrogeológico que es un acuífero y que relación tiene éste con los cursos de agua superficiales, en nuestro caso el río Júcar.

## PARA SABER MÁS:

Sanz, D. Gómez-Alday, J. J. & Castaño, S. (2018). El acuífero de La Mancha Oriental: Pasado, presente y futuro. In Actas de las III Jornadas sobre el Medio Natural Albacetense:(Albacete, 5 al 8 de octubre de 2016) (pp. 42-62). Instituto de Estudios Albacetenses" Don Juan Manuel".

Cassiraga, E., Sanz, D., José Gómez-Alday, J., & Gómez-Hernández, J. J. (2019). Groundwater management in Spain-The Case of the eastern Mancha Aquifer System.

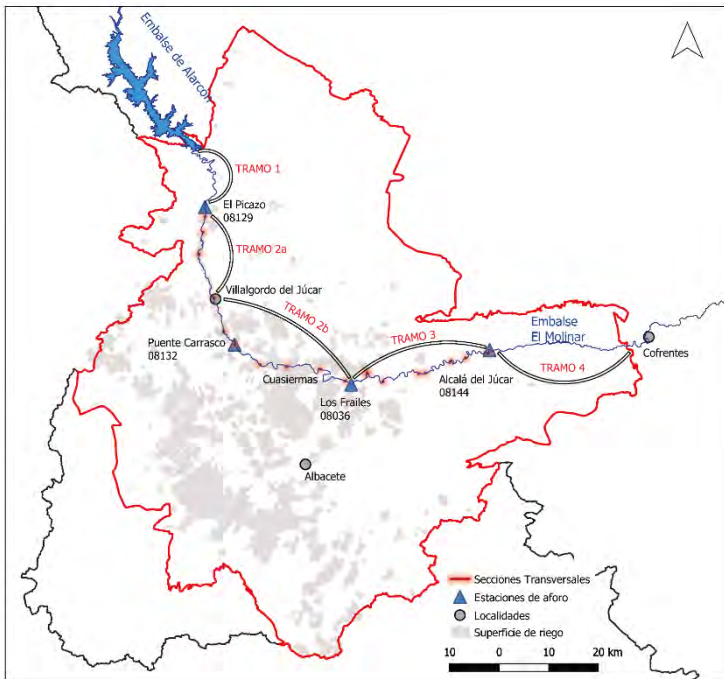
# ZONA DE TRABAJO

La jornada del **Hidrogeodía** se celebrará íntegramente en el paraje conocido como Cuasiermas (cruce de la carretera Albacete-Motilleja (AB-823) con el río Júcar - <https://goo.gl/maps/e6nraQCrbDSmumZ16>) Hora 10:00 AM. En esta zona se explicaran los conceptos básicos de la jornada y se entregará el material de trabajo. Cada grupo de participantes 20-25 como máximo realizará una serie de actividades-talleres que les permitirán entender las relaciones entre el río Júcar y el acuífero de la Mancha Oriental.

**Actividad I: El agua visible.** Veremos como se mide el caudal del río Júcar en un determinado lugar.

**Actividad II: El agua invisible.** Veremos como se mide el nivel del agua subterránea.

**Actividad III: La calidad del agua.** Analizaremos los parámetros físico químicos de los dos tipos de agua.



**Figura 1.** Localización del acuífero de la Mancha Oriental con la ubicación de las estaciones de aforo en el río Júcar y del punto de encuentro en el paraje conocido como Cuasiermas “cuevas yermas”

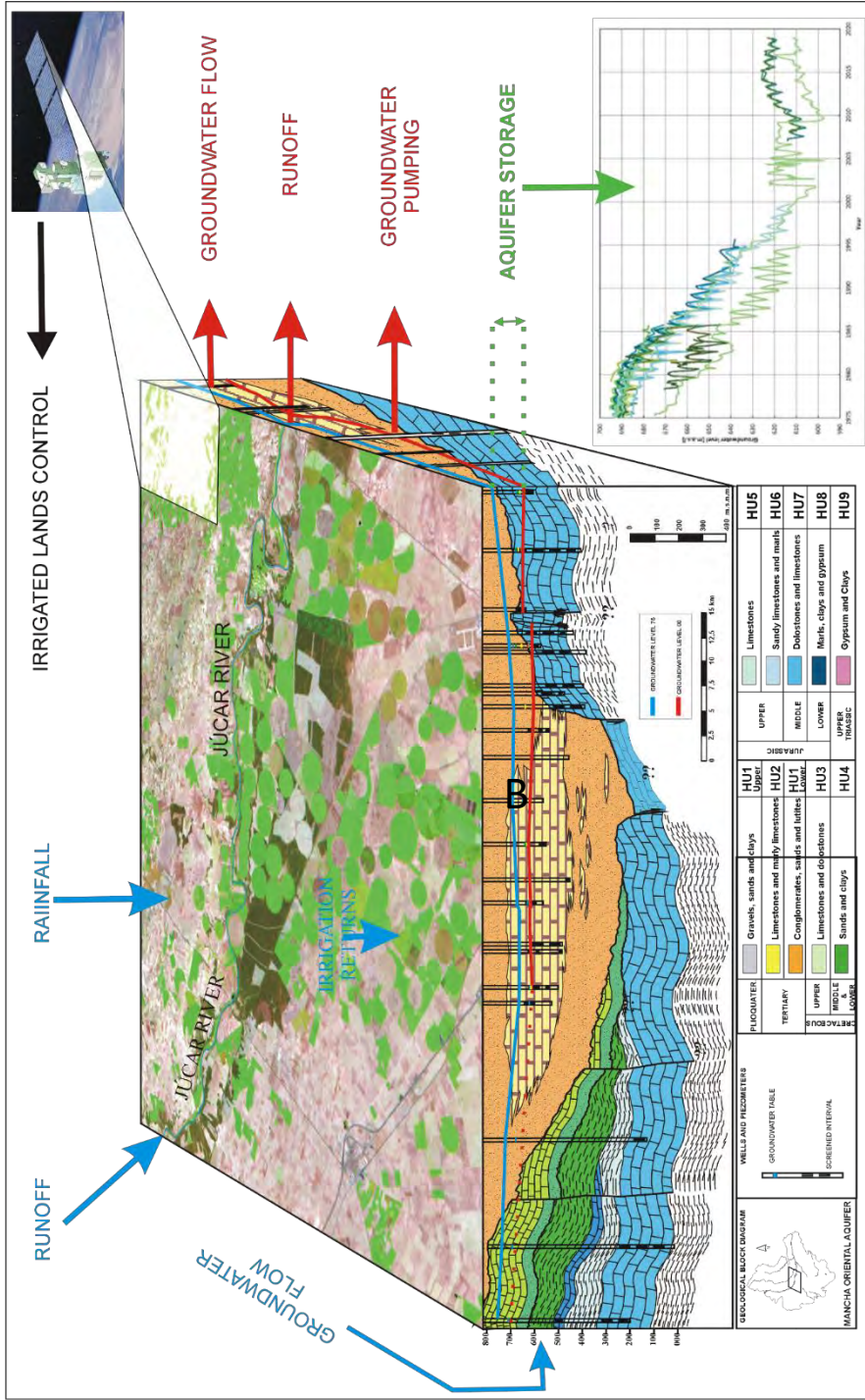


Un acuífero es una formación geológica que es capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades apreciables por sus poros, fracturas y grietas. El acuífero de la Mancha Oriental (Fig. 1) es uno de los más extensos del Sur de Europa 7,260 km<sup>2</sup>. Se localiza en el extremo occidental de la Llanura Manchega y pertenece en su totalidad a la cuenca del Río Júcar.

Desde tiempos remotos se tiene constancia en las proximidades de Albacete de la existencia de una superficie piezométrica con cotas superiores a la superficie (p.e. Laguna del Acequión) que confirmaban el potencial hidrogeológico de la zona. Estos antecedentes hicieron que hace medio siglo la Mancha Oriental fuera objeto de especial atención, desde el punto de vista hidrogeológico, por parte de la Administración del Estado y en especial por parte de usuarios individuales. Es por ello que la Mancha Oriental sufrió una importante transformación socioeconómica debida al desarrollo del regadío mediante la explotación de las aguas subterráneas.

El aumento progresivo de las extracciones de agua subterránea por encima de la capacidad de recarga provocó cambios notables en el flujo subterráneo y por tanto en las relaciones entre dicho acuífero y el río Júcar a su paso por la Mancha. Durante este periodo se han sucedido situaciones como: a) la entrada en vigor de la ley de aguas, b) varios procesos de planificación hidrológica, c) sustitución de bombeos con aguas superficiales e incluso la primera Oferta Pública de Adquisición de Derechos de Agua de España con fines medioambientales.

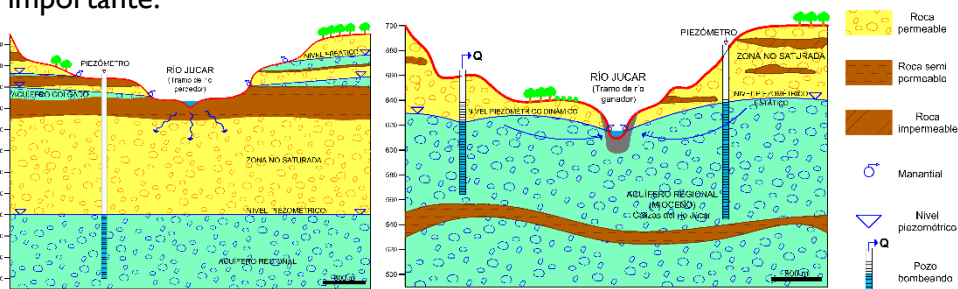
Todos estos aspectos han sido estudiados desde diversos equipos de investigación de la Universidad de Castilla – La Mancha y la Universidad Politécnica de Valencia orientados hacia el conocimiento y la gestión de los recursos hídricos. Este conocimiento ha permitido elaborar un modelo de flujo de agua subterránea en tres dimensiones calibrado y validado, que además de servir para entender su funcionamiento hidrogeológico es capaz de simular y cuantificar escenarios futuros de gestión y cambio climático para el acuífero Mancha Oriental (Fig. 2).



**Figura 2.** Modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Mancha Oriental y su relación con el Río Júcar. En color azul aparecen las entradas al acuífero, en color rojo las salidas y en verde la variación de almacenamiento de agua en el acuífero. Tomado de Cassiraga et al., (2018)

¿Sabes cuánta agua se consume en la Mancha Oriental? ¿De dónde viene, y qué usos se hace de ella? ¿Qué relaciones hay entre las aguas de los ríos y los acuíferos?

Para responder a estas preguntas tenemos que entender el ciclo del agua en su contexto (Fig. 2). Los principales componentes del ciclo hidrológico son: a) precipitación, b) evapotranspiración, c) infiltración, d) escorrentía superficial y, e) escorrentía subterránea. Parte del agua que llega a la superficie del terreno (precipitación) es contenida en la zona más superficial del suelo y puede ser devuelta a la atmósfera mediante el proceso denominado evapotranspiración. Otra parte del agua que llega a la superficie terrestre puede infiltrarse e ir descendiendo verticalmente por poros y grietas hasta una zona donde la totalidad de los poros y grietas están saturados de agua. Esta zona es la que se denomina acuífero. Otra parte del agua que caída sobre la superficie discurre por el terreno en forma de escorrentía configurando lo que se denomina red de drenaje (ríos, arroyos, barrancos...). Gran parte del agua que circula por los ríos procede de las aportaciones subterráneas del acuífero sobre el que discurre. Si el río recibe aportes de agua subterránea desde el acuífero, se denomina río ganador o efluente (Fig. 3 izquierda), mientras que en la situación contraria se conoce como río perdedor o influente (Fig. 3 derecha). Las fuentes y manantiales surgen cuando el nivel freático interseca la topografía del terreno. Los manantiales suelen ser fuente de agua para arroyos y corrientes y tener un valor estético y cultural importante.



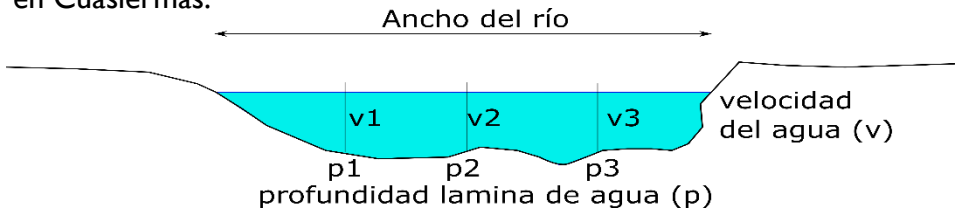
**Figura 3.** Corte hidrogeológico esquemático que representan las posibles relaciones entre el río y el acuífero de la Mancha Oriental. Izquierda: Río perdedor. Derecha: río ganador. Sanz, D. Castaño, S. Gómez-Alday J. J., García, M., & Simarro, A. (2013). Inventario de los manantiales que aportan agua al río Júcar en la provincia de Albacete y su descripción hidrogeológica. Sabuco: Revista de estudios albacetenses, (9), 7-39.



# ACTIVIDAD I: EL AGUA VISIBLE

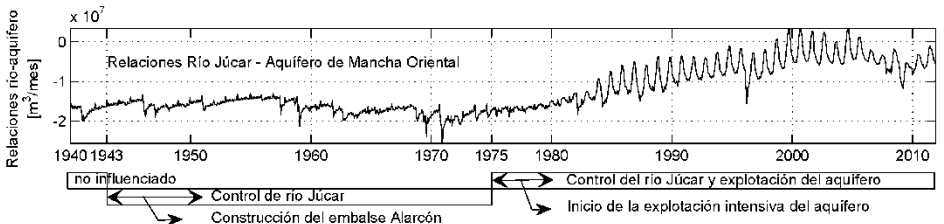
¿Cuánta agua lleva el río Júcar? ¿De donde viene? ¿Es siempre la misma? ¿Cómo podemos medirla?

Para resolver estas cuestiones realizaremos un aforo del río Júcar en el paraje conocido como “Cuasiermas” y lo compararemos con los datos de las estaciones de aforo que mide la confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Para determinar la cantidad de agua (Caudal  $m^3/s$ ) que lleva el río mediremos el ancho del río (m), la altura de la lámina de agua desde el fondo (m), el coeficiente de rugosidad del lecho y la velocidad del agua (m/s). La sección la obtendremos de manera aproximada con una cinta métrica, mientras que la velocidad la calcularemos a partir de un molinetes colocado en varias secciones (Fig. 4). Con todo ello multiplicando la sección por la velocidad y aplicando un coeficiente de rugosidad al cauce determinaremos el caudal instantáneo del río Júcar en Cuasiermas.



**Figura 4.** Esquema básico para medir la sección del cauce y la velocidad del flujo.

Con todo ello obtendremos un caudal aproximado que podremos comparar con los caudales aforados aguas arriba (Estación de aforos del Picazo) y aguas abajo (Estación de aforos de Los Frailes). La diferencia entre ambos caudales se denomina caudales diferenciales y nos indica si el río gana o pierde recursos a lo largo de su recorrido (Fig 5).



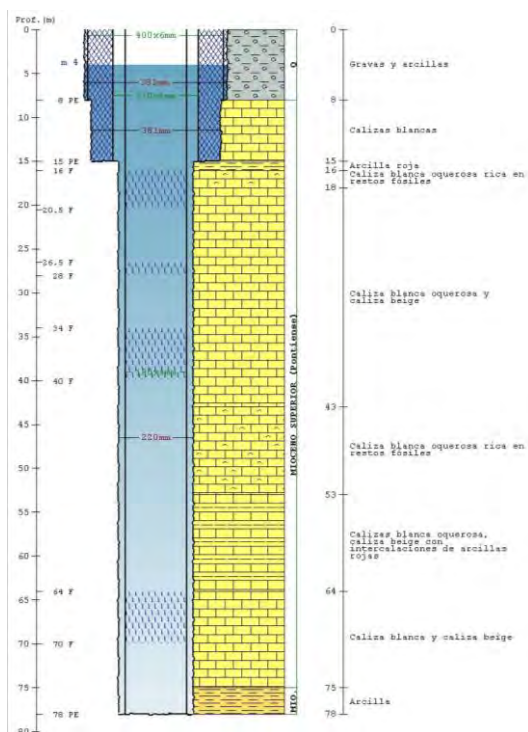
**Figura 5.** Balance de las relaciones río-acuífero obtenidas con el código MODFLOW (modelado del flujo subterráneo). Valores negativos indican río ganador, valores positivos indican río perdedor. Tomado de: <https://doi.org/10.1002/hyp.13934>

## ACTIVIDAD II: EL AGUA INVISIBLE

¿Dónde está el agua invisible? ¿De donde viene? ¿Es siempre la misma? ¿Cómo podemos medirla?

En esta segunda actividad para resolver las cuestiones planteadas los monitores nos enseñaran un sondeo piezométrico de exploración realizado en el área recreativa de Cuasiermas (fig. 6). Gracias a este sondeo podremos conocer los materiales geológicos que se encuentran a 80 metros de profundidad y determinar su capacidad de almacenar y transmitir agua. Para ello comprobaremos la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea “invisible” del acuífero mediante una sonda limnimétrica que se introducirá en el sondeo de la figura 6.

Si comparamos la cota del agua en el sondeo piezométrico con la cota del fondo del río Júcar en esta zona podremos establecer si estamos en la situación de río conectado (ganador-perdedor) o río desconectado



**Figura 6.** Izquierda: Máquina de sondeos perforando el terreno en Cuasiermas. Derecha: Columna litológica testificada por un geólogo con los materiales atravesados durante la perforación, indicación del nivel piezométrico y características de la construcción.

¿Qué tipo de agua llevan el ríos Júcar? ¿Es parecida a del acuífero? ¿Qué calidad química tiene?

En esta parada se analizarán diferentes tipos de agua que hemos recogido durante nuestro itinerario (agua de la Fuensanta, agua del río, agua de la fuente pública, etc...). Para ello los monitores nos enseñaran un equipamiento (Kit básico LaMotte de Calidad Agua (parte la información se ha obtenido del manual de instrucciones [www.lamotte.com](http://www.lamotte.com)) donde se analizan los siguientes parámetros:

**Bacterias coliformes (Bc):** se encuentran de forma natural en el tracto digestivo humano, pero son muy escasas o inexistentes en aguas no contaminadas, por lo que su presencia nos indicará contaminación por aguas residuales.

**Oxígeno disuelto (Od):** es importante para la salud de los ecosistemas acuáticos. Las aguas naturales con niveles de Od bastante altos suelen ser ambientes saludables y estables en los que puede haber diversidad de organismos acuáticos. Al ser un gas disuelto en el agua líquida su concentración dependerá de la temperatura.

**Fosfato:** el fosfato es un nutriente necesario para el crecimiento vegetal y animal, y es también un elemento fundamental en las reacciones metabólicas. Los niveles altos de este nutriente pueden llevar a un crecimiento vegetal excesivo, al aumento de la actividad bacteriana y a la disminución de los niveles de oxígeno disuelto. Proviene de varias fuentes, incluyendo los restos humanos y animales, la contaminación industrial y los vertidos agrícolas.

**Nitrato:** es un nutriente que necesitan todas las plantas y animales acuáticos para producir proteína. La descomposición de plantas y animales muertos y las excreciones de animales vivos liberan nitratos en el sistema acuático. El exceso de nutrientes como el Nitrato contribuyen al aumento del crecimiento vegetal y a su descomposición, promueve la descomposición bacteriana y, por lo tanto, reduce la cantidad de oxígeno en el agua.

## ACTIVIDAD III: LA CALIDAD DEL AGUA

**pH:** es una medida para saber si el agua es más ácida o básica. La escala de pH va de 0 (muy ácido) a 14 (muy básico), siendo 7 neutro. El pH del agua natural usualmente varía entre 6,5 y 8,2. La mayoría de organismos acuáticos se han adaptado a un nivel de pH específico, y pueden morir ante el más mínimo cambio en el pH del agua.

**Temperatura:** La temperatura afecta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la tasa de fotosíntesis de las plantas acuáticas y la sensibilidad de los organismos a los residuos tóxicos, parásitos y enfermedades.

**Turbidez:** La turbidez es una medida de la claridad relativa del agua. El agua turbia se debe a la materia en suspensión y coloidal como arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica y organismos microscópicos.

Parámetro	Resultado	Puntuación
<b>Bacterias Coliformes</b>	Negativo Positivo	3 (Bueno) 1 (Pobre)
<b>Oxígeno Disuelto</b>	91-110 % 71-90 % 51-70 % <50%	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo) 1 (Pobre)
<b>DBO</b>	0 ppm 4 ppm 8 ppm	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo)
<b>Turbidez (UTJ)</b>	0 0-40 40-100 >100	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo) 1 (Pobre)
<b>pH</b>	4 y 5 y 9 y 10 6 y 8 7	1 (Pobre) 3 (Bien) 4 (Excelente)
<b>Nitratos</b>	5 ppm 20 ppm 50 ppm	2 (Bien) 1 (Regular) 3 (Pobre)
<b>Fosfatos</b>	1 ppm 2 ppm 4 ppm	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo)

**Tabla I.** Clasificación de los resultados del análisis en una escala de 1 a 4 según equipo de bajo coste de control de la calidad del agua.: Fuente: [www.earthforce.org](http://www.earthforce.org)





# HIDROGEODÍA

ALBACETE

# 2023

## EL RENACER INVISIBLE DEL RÍO JÚCAR

SÁBADO 25 DE MARZO DE 10.00 A 14.00

Jornada de divulgación gratuita para todos los públicos sobre la hidrogeología



**Organizadores y monitores del Hidrogeodía Albacete 2023:** David Sanz, Iordanka Dountcheva, Silvia Rodríguez, Manuel Martín, Ana Teresa Moreno, Juan José Gómez-Alday y Eduardo Cassiraga.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

16

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

INSTITUTO DE  
INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS







Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



DIPUTACIÓN  
DE ALICANTE  
CICLO HÍDRICO



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



# Reserva Natural Subterránea en la Sierra de Mariola

*Guía de la excursión*



# Reserva Natural Subterránea en la Sierra de Mariola

*Guía de la excursión*



## EL HIDROGEODÍA

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

En Alicante, el **Hidrogeodía 2023** se celebra realizando un recorrido de poco más de 8 km por el curso alto de río Vinalopó, dentro del **Parc Natural de la Serra de Mariola**. Este recorrido se realiza el sábado 25 de marzo. A lo largo del trayecto profesores, alumnos y profesionales de la Hidrogeología mostrarán, de forma sencilla y con carácter divulgativo, el papel que desempeñan las aguas subterráneas en este contexto geográfico, así como diversos aspectos relacionados con su valor patrimonial, ambiental, sociocultural y su contribución al desarrollo de la región.



Foto 1: Detalle de un salto de agua en el Toll Blau ubicado en curso alto del río Vinalopó.

## CÓMO LLEGAR

El itinerario hidrogeológico transcurre por el Parc Natural de la Serra de Mariola, en las inmediaciones de Banyeres de Mariola, si bien parte del recorrido discurre por el término municipal de Bocairent (provincia de Valencia). El itinerario parte del polideportivo de Banyeres en la propia localidad. Desde el centro-sur de la provincia, el acceso tiene lugar por la A-7 Alicante-Alcoi, y luego por la CV-80 accediendo a cualquiera de las rutas que llevan a Banyeres de Mariola (Figura 1).



Figura 1: Mapa de acceso desde la ciudad de Alicante a Banyeres de Mariola, donde se inicia el itinerario.



Figura 2: Situación de la mesa y las paradas del itinerario.

## QUÉ VEREMOS

Los aspectos más relevantes de este itinerario son:

1. La caracterización geológica e hidrogeológica de la sierra de Mariola.
2. El acuífero Pinar de Camús y su funcionamiento hidrogeológico.
3. Las características de los diferentes manantiales asociados a este acuífero kárstico.
4. La importancia del agua subterránea para el Medio Ambiente.
5. Las reservas naturales subterráneas.

## ¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La Hidrogeología es la ciencia que estudia las aguas subterráneas y su interacción con las aguas superficiales. Aspectos como el almacenamiento y flujo del agua en el subsuelo, su cuantificación, composición química, captación, gestión y protección, entre otros, tienen cabida en la Hidrogeología.

Las aguas subterráneas representan el volumen de agua dulce más importante del Planeta, excluyendo los hielos polares. Se aprovechan para abastecimiento a la población, riego de cultivos, industria, usos recreativos, ambientales, etc.

## ITINERARIO HIDROGEOLÓGICO

El presente itinerario discurre de manera circular en las inmediaciones de la localidad de Banyeres de Mariola, entre las provincias de Alicante y Valencia. A lo largo del mismo se verán principalmente aspectos geológicos, e hidrogeológicos, así como de gestión hídrica relacionados con este entorno natural.

El itinerario propuesto transcurre por algunos de los acuíferos integrados en el dominio hidrogeológico Sierra de Mariola (acuíferos de Pinar de Camús y Sant Jaume). En este dominio, situado en la parte noroccidental de la provincia de Alicante, se han definido 18 acuíferos de diferente tamaño y litología.



Figura 3: Localización geográfica del acuífero de Pinar de Camús dentro del dominio hidrogeológico de Sierra de Mariola.

Uno de los acuíferos más extensos de este dominio es el acuífero de Pinar de Camús, que con una orientación NE-SW se extiende desde Biar hasta los relieves del Alto de Mariola (Figura 3). En total, ocupa una superficie de 134 km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente 80 km<sup>2</sup> están en la provincia de Alicante.

Este acuífero está formado por una potente serie litológica de unos 500 m en la que se integran calizas, margocalizas y dolomías, todas ellas de edad cretácica. El conjunto acuífero descansa sobre terrenos margosos del Cretácico Inferior que constituyen el muro impermeable. En algunos sectores los materiales permeables no afloran debido a que están cubiertos por formaciones margosas del Cenozoico que actúan de impermeable de techo (Figura 4). Lateralmente el acuífero también queda delimitado por terrenos impermeables, salvo en el entorno de la sierra Fontanella (sector SW), donde todo indica que contacta con las calizas jurásicas del acuífero de Cabranta. Eso implica que en este sector presenta un límite abierto por el que se produce conexión hidráulica entre acuíferos.

La naturaleza permeable de los más de 70 km<sup>2</sup> de calizas y dolomías cretácicas aflorantes permite que parte de la precipitación que reciben, tanto líquida como en forma de nieve, se infiltre y circule subterráneamente por la roca. La principal entrada de este acuífero procede de la infiltración de la lluvia cuyo valor medio ha sido cuantificado en 10 hm<sup>3</sup>/año.

A grandes rasgos, el flujo subterráneo natural de este acuífero presentaba una componente NE-SW. Las salidas en régimen natural se producían a través de diversas surgencias distribuidas a lo largo de toda su extensión. Como más importantes se pueden destacar los manantiales de El Port o El Figueral en el extremo suroeste, Els Brulls, la Font de la Coveta y el de La Carrasca, en la parte septentrional, y el manantial Barxell en su sector meridional. La ubicación de estos últimos manantiales induce a pensar que pudiera existir un umbral piezométrico entre Barxell y el nacimiento del Vinalopó, algo por

encima de los 800 m s.n.m., lo cual explicaría las descargas naturales por los extremos septentrional y meridional del acuífero. Además, existe otro punto de surgencia singular, denominado el Manantial dels Teulars o Galería de Bocairent con el que se capta este acuífero en su parte N en las proximidades de Bocairent.

En la actualidad las principales salidas del acuífero se realizan mediante sondeos de explotación, cuyas aguas se destinan para abastecimiento público de los municipios de Alcoi, Banyeres, Onil, Bocairent y Biar, así como para riego en el Alto Vinalopó. La explotación por bombeo se estima entre 3,5 y 4,6 hm<sup>3</sup>/año. Estas explotaciones han provocado descensos próximos a los 40 m en

el sector meridional y entre 20 y 30 m en el occidental. A causa de estos descensos se secaron los manantiales del acuífero, a excepción de los situados en el curso alto del Vinalopó, siendo este sector por el único que en la actualidad descarga naturalmente el acuífero de Pinar de Camús.

A pesar de esta situación, el acuífero en su conjunto se considera en equilibrio, ya que la suma de los bombeos y las salidas por cauces y surgencias (cuantificadas en 3,80 hm<sup>3</sup>/año) son inferiores a sus entradas por infiltración de agua de lluvia. Esta diferencia de recursos es la que el acuífero de Pinar de Camús descarga de forma oculta hacia el acuífero infrayacente de Cabranta.

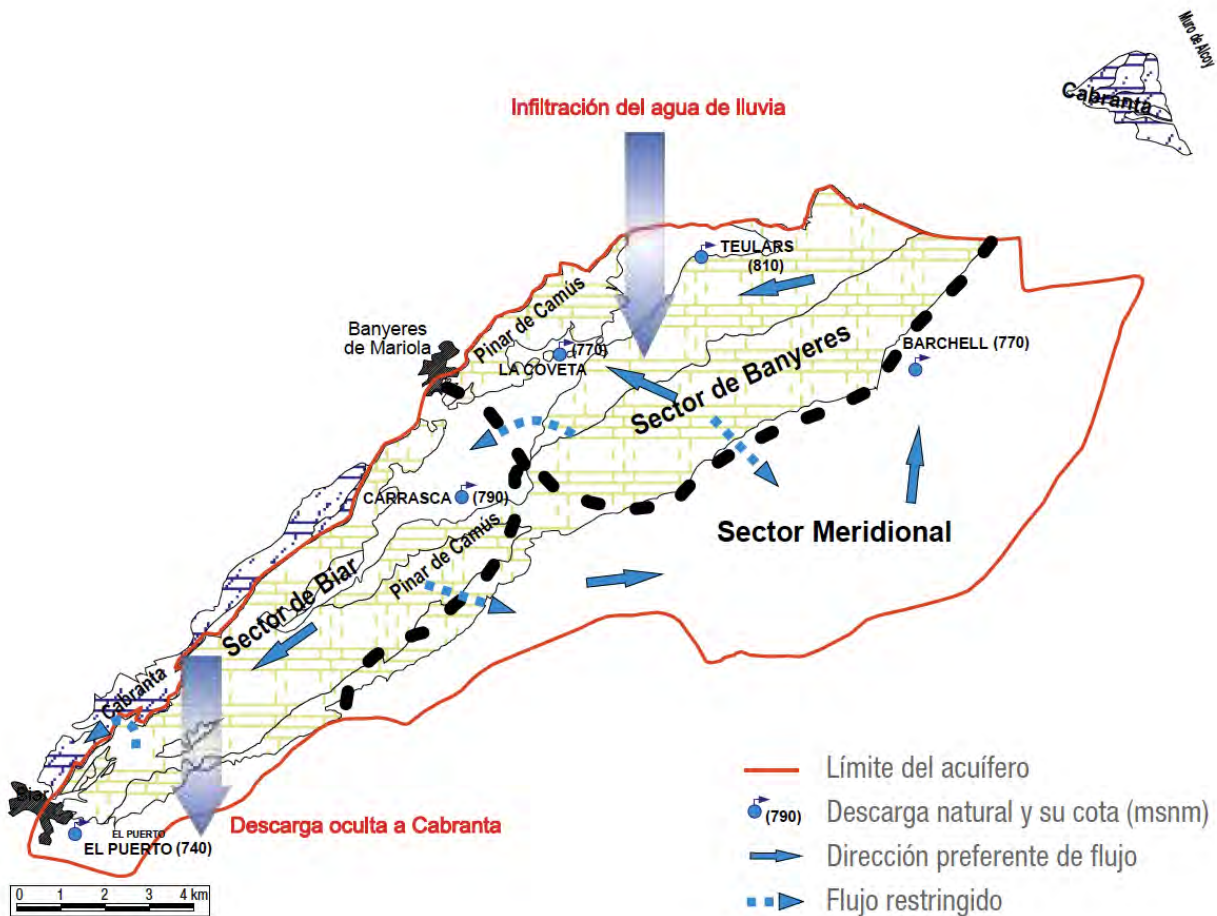


Figura 4: Esquema hidrogeológico simplificado del acuífero de Pinar de Camús en la que se incluye los principales puntos de descarga y la sectorización del acuífero.



## Parada 1. Sierra de Mariola, un dominio complejo

Una característica de la parte noroccidental de la provincia de Alicante es la disposición de grandes estructuras geológicas con potentes series de materiales cretácicos de gran continuidad. La sierra de Mariola es un claro ejemplo de este patrón típico del sector NE de la Cordillera Bética. En este relieve, formado por la alternancia de materiales carbonatados marinos, se desarrollan formaciones de calizas, dolomías y calcarenitas, todas ellas de carácter permeable, conjuntamente con margas y

margocalizas de reducida o nula permeabilidad. La deformación de todo este conjunto de litologías ha dado lugar a un gran anticlinal de orientación SW-NE, cortado por una serie de fracturas, algunas de las cuales dan estructuras cabalgantes paralelas al pliegue principal. Todo ello ha generado que en la sierra de Mariola exista una gran compartimentación de acuíferos y su definición formal hidrogeológica conlleve una gran dificultad. A pesar de ello, a día de hoy en este dominio se han diferenciado hasta 18 acuíferos diferentes.

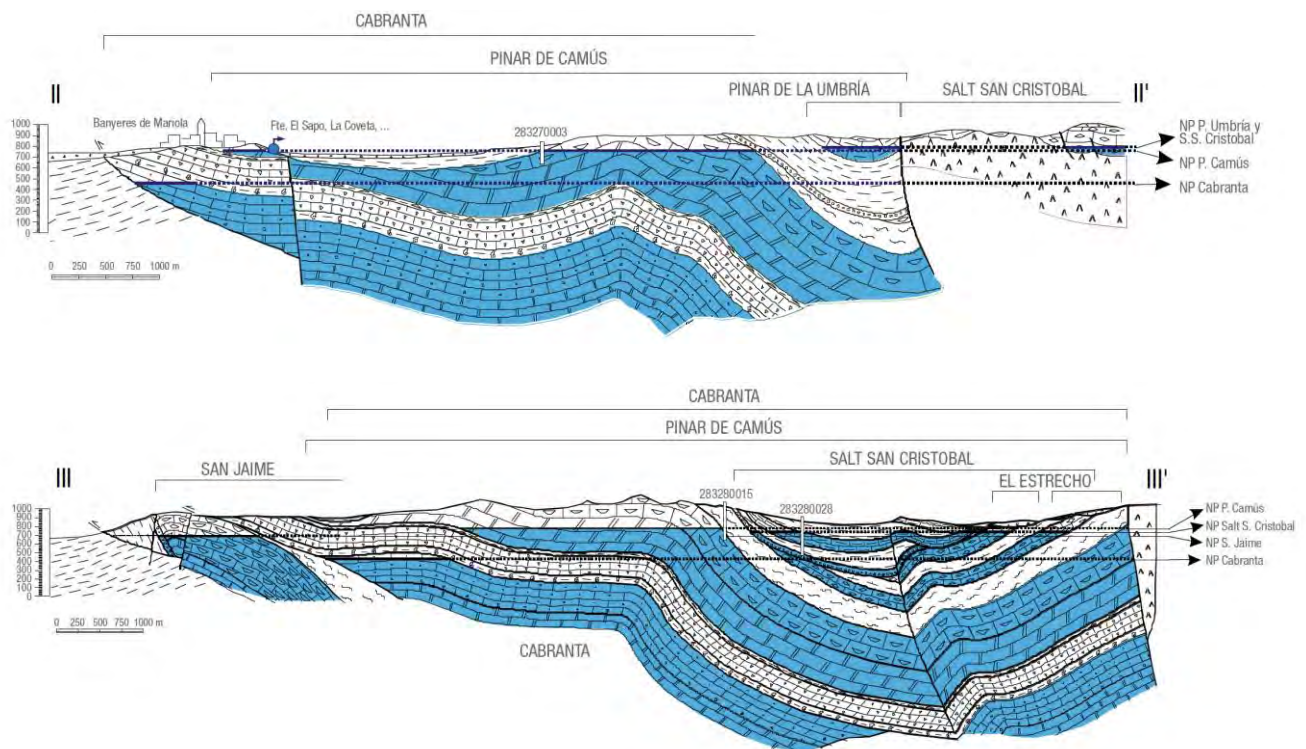


Figura 5: Cortes hidrogeológicos perpendiculares a la estructura del dominio Sierra de Mariola en la que se observa la superposición de acuíferos en la vertical.

Desde el punto de vista hidrogeológico las características más destacables de este dominio son:

- Una disposición alternante en la vertical de tramos permeables e impermeables que dan origen a la **superposición de grandes acuíferos** (Figura 5). Los dos acuíferos principales de este dominio, y que

condicionan el esquema hidrogeológico general del dominio son Cabranta y Pinar de Camús. El primero es el acuífero más profundo del sistema y lo forman los materiales calizo-dolomíticos del Jurásico superior y la base del Cretácico; por su parte, el acuífero Pinar de Camús queda constituido por varios tramos de rocas carbonatadas de la serie del Cretácico suprayacente.

- Una clara diferenciación entre la parte septentrional y meridional del dominio. Mientras que en la parte septentrional predominan los grandes acuíferos cretácicos, en la meridional los terrenos cretácicos están cubiertos por terrenos paleógenos y neógenos. Son estos materiales los que conforman una serie de acuíferos

independientes (Figura 6). Estos son de menor extensión y recursos más limitados, por lo que presentan un interés más local. Las calizas del Eoceno y las calcarenitas del Mioceno son las rocas que constituyen los acuíferos más frecuentes. Pinar de L'Ombria o Salt de San Cristòfol son ejemplos de este tipo de acuíferos.

En cualquier caso, la definición de un acuífero en entornos hidrogeológicamente complejos, como es el caso de la sierra de Mariola y los relieves adyacentes, no debe ser considerado como algo rígido y definitivo, sino que el aumento del conocimiento hidrogeológico del medio físico permitirá precisar y corroborar las divisiones actuales.

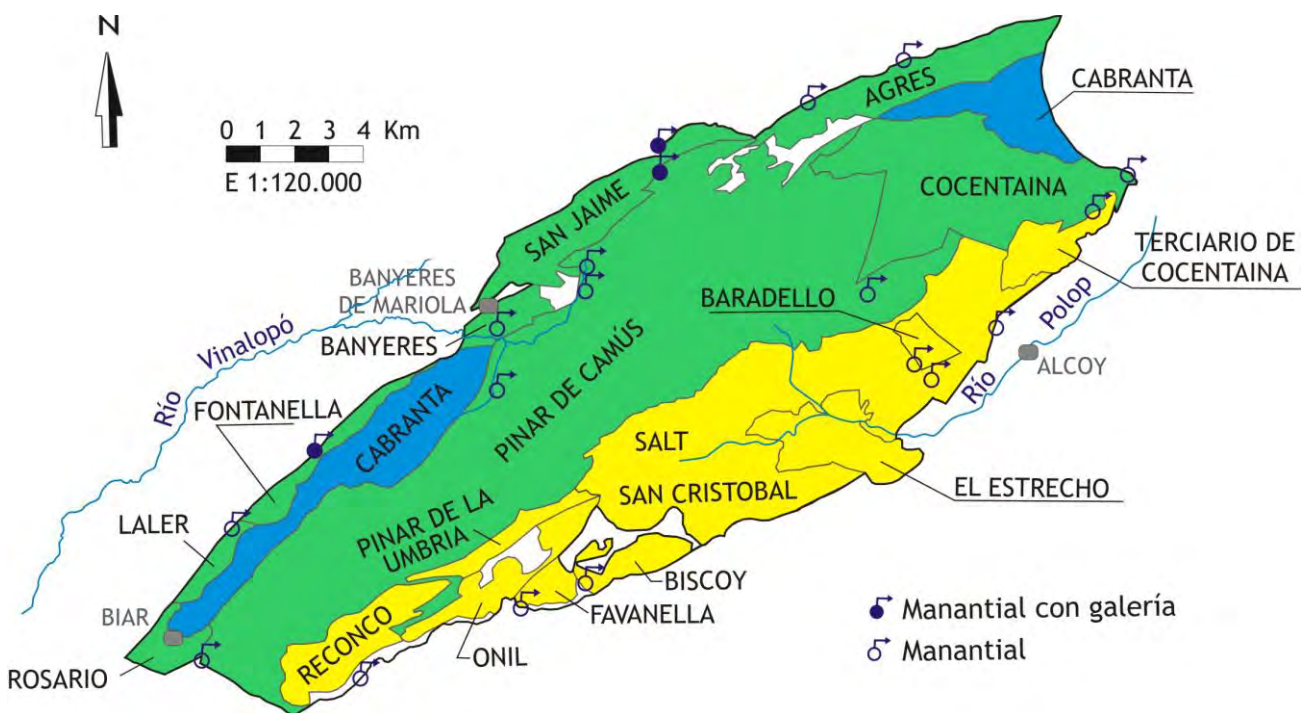


Figura 6: Esquema hidrogeológico del dominio Sierra de Mariola en la que se muestran los distintos acuíferos que lo componen.

**Parada 2. El río Vinalopó: otro ejemplo más de curso fluvial controlado por la tectónica**

Los grandes ríos del planeta, a una escala de decenas, centenares o miles de kilómetros,

tienen un control geológico y, en muchas ocasiones, tectónico. En nuestro país, ríos como el Ebro, el Tajo, el Duero o el Guadalquivir, entre otros muchos, discurren



por depresiones topográficas que han sido creadas por la actividad tectónica.

El río Vinalopó no es una excepción. Si analizamos el trazado de su curso fluvial, desde Banyeres de Mariola hasta su desembocadura al sur de Elche (Figura 7), podemos diferenciar dos grandes segmentos con diferente orientación: (1) un primer sector, más corto, entre Banyeres y Villena, que tiene una dirección NE-SW, y (2) un segundo sector, de mayor longitud, entre el sur de Villena y su desembocadura, con una orientación NW-SE.

El río Vinalopó nace en la sierra de Mariola que, tal y como se ha comentado en la parada anterior, tiene una estructura anticlinal. El río “busca” en sus primeros kilómetros de recorrido el lugar topográficamente más bajo y, a partir de Banyeres, alcanza el pliegue sinclinal situado entre Mariola y la sierra de la Villa de Villena. En este primer trayecto de unos 20 km de longitud, el río discurre con una orientación paralela a la dirección de los pliegues de las montañas de Alicante (Figura 7), conocida como “dirección bética” (aproximadamente N70E).

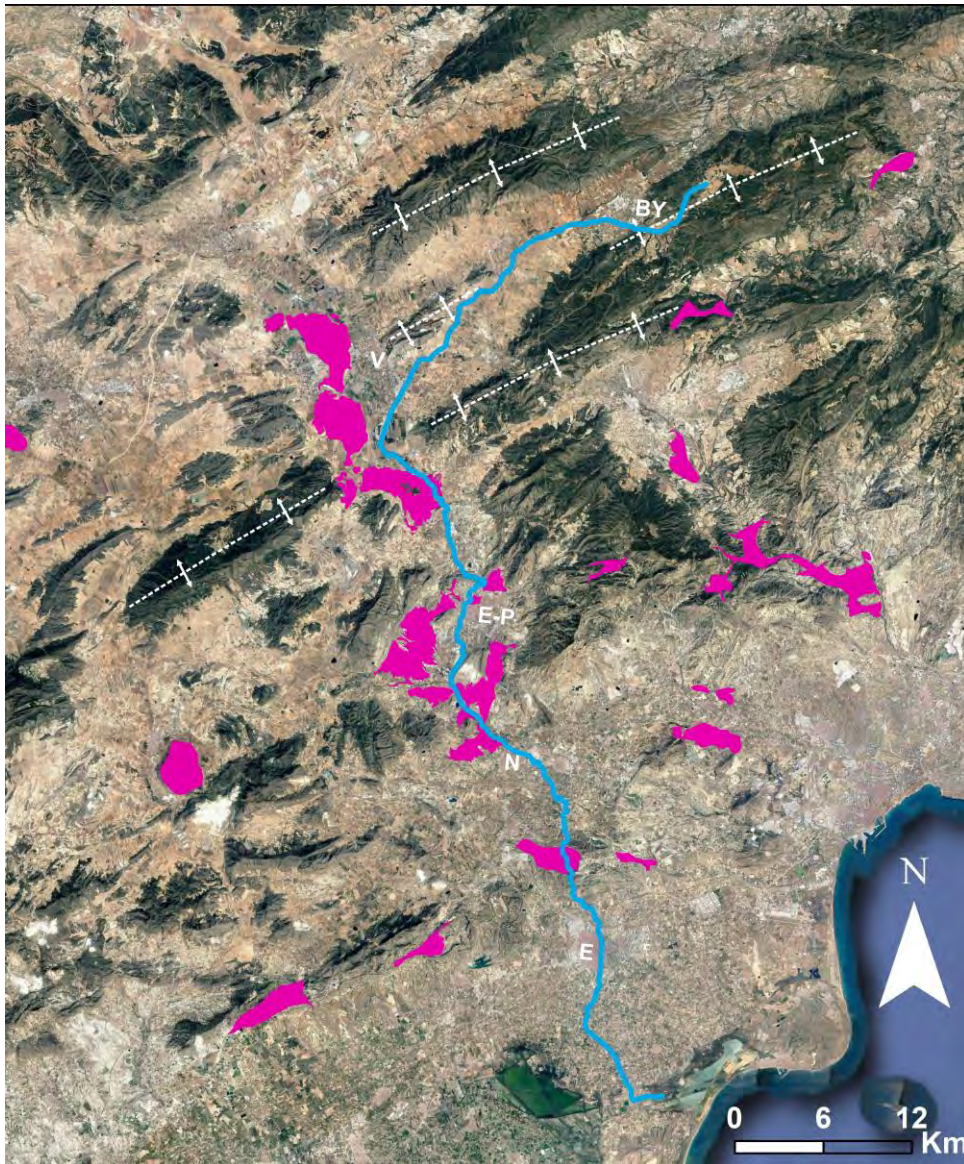


Figura 7: Trazado del río Vinalopó en la que se observa las dos orientaciones: curso alto N70E “dirección bética”; curso medio y bajo N30W.

Al sur de Villena el río cambia bruscamente de dirección. ¿A qué se debe este cambio tan significativo? Una vez más, tiene una explicación geológica. Durante el Mioceno Superior, toda esta región sufrió esfuerzos tectónicos extensionales en la dirección ENE-WSW (Figura 8). Esta extensión generó una fosa tectónica y favoreció el ascenso de materiales arcillosos y evaporíticos del Triásico Keuper que actualmente ocupan buena parte del valle del Vinalopó entre

Villena y Elche (sus tonos rojizos se reconocen con facilidad a lo largo de la autovía A-31 entre Alicante y Villena). El río Vinalopó aprovechó la existencia de esta fosa tectónica (zona topográficamente más baja) que, además, estaba rellena de materiales del Triásico que son más fácilmente erosionables que los carbonatos y areniscas del Cretácico y Neógeno de las sierras próximas.

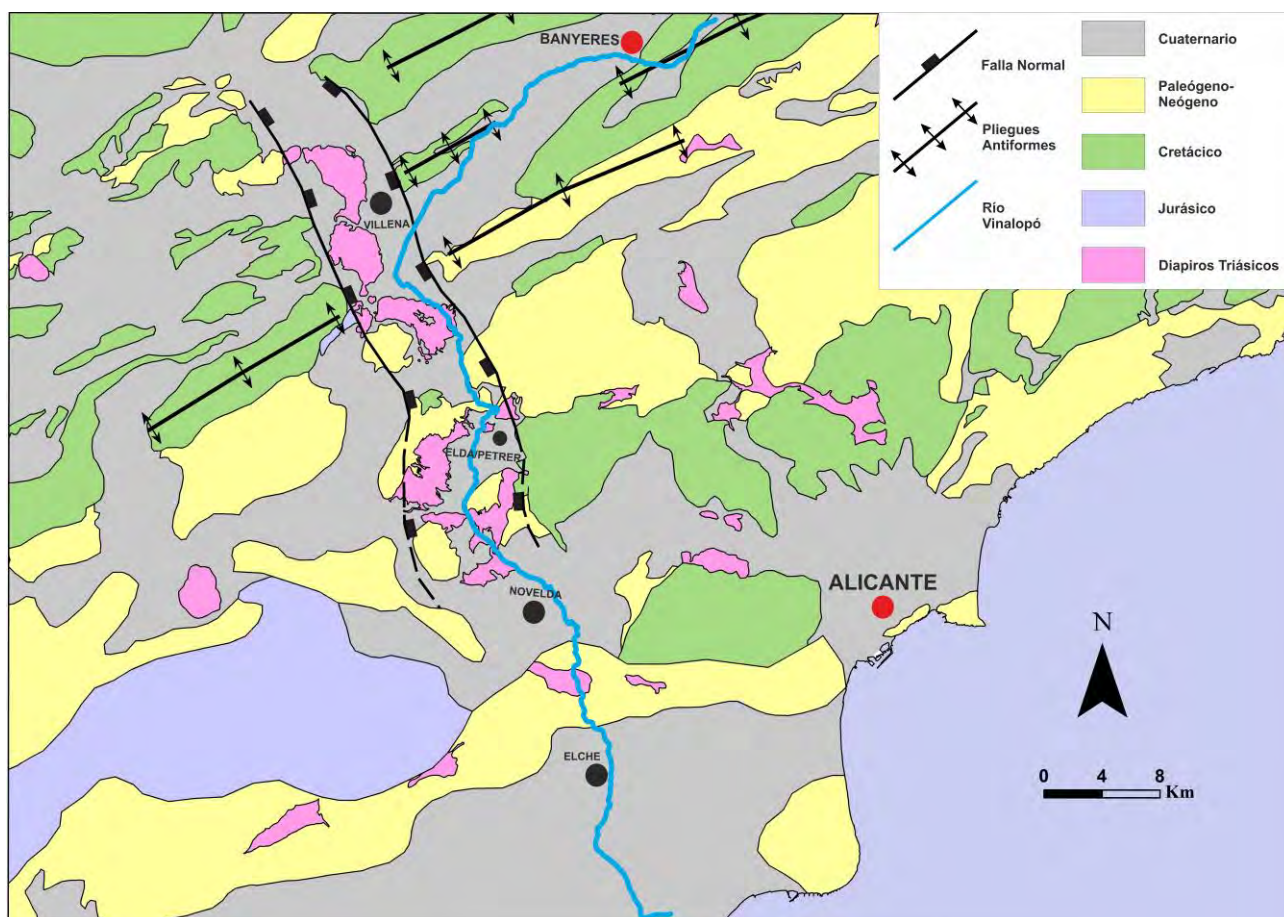


Figura 8: Esquema geológico en la que se aprecia la fosa tectónica por donde discurre el río Vinalopó entre Villena y Novelda.

### Parada 3. Manantiales de Els Brulls

Se conocen como manantiales de Els Brulls a un grupo de surgencias de agua subterránea situadas a una cota aproximada de 785 m

s.n.m. en el cauce del Vinalopó. Estas descargas presentan un funcionamiento hidrodinámico discontinuo, es decir, alternan periodos en los que mana el agua con



periodos en los que se encuentran secas. Este funcionamiento discontinuo es responsable de que, en este tramo inicial del curso, el río lleve agua o se encuentre seco.

Las surgencias discontinuas como las de Els Brulls son características de acuíferos kársticos, de naturaleza carbonatada, y se les conoce en el campo de la hidrogeología como manantiales tipo **trop plein** (demasiado lleno, en francés). Se trata de manantiales de rebose y que se ubican a cotas superiores al nivel de descarga habitual del acuífero. Normalmente, estos manantiales se encuentran secos y solo entran en funcionamiento cuando se producen elevaciones del nivel del agua en el acuífero relacionadas con eventos de recarga tras las precipitaciones de cierta magnitud.

Algunas veces pueden existir *trop pleins* situados a distinta altitud, los cuales entrarán en funcionamiento progresivamente según el aumento del nivel que experimente el acuífero tras el pulso de recarga. Así, los situados a mayor altitud entrarán en funcionamiento más tarde y también serán los primeros en alcanzar el agotamiento y secarse una vez que el agua del acuífero vaya siendo drenada por los manantiales (Figura 9).



Foto 2: Detalle del cauce del río Vinalopó en las inmediaciones de los manantiales de Els Brulls con agua. Es frecuente encontrar este tramo del curso del río seco.

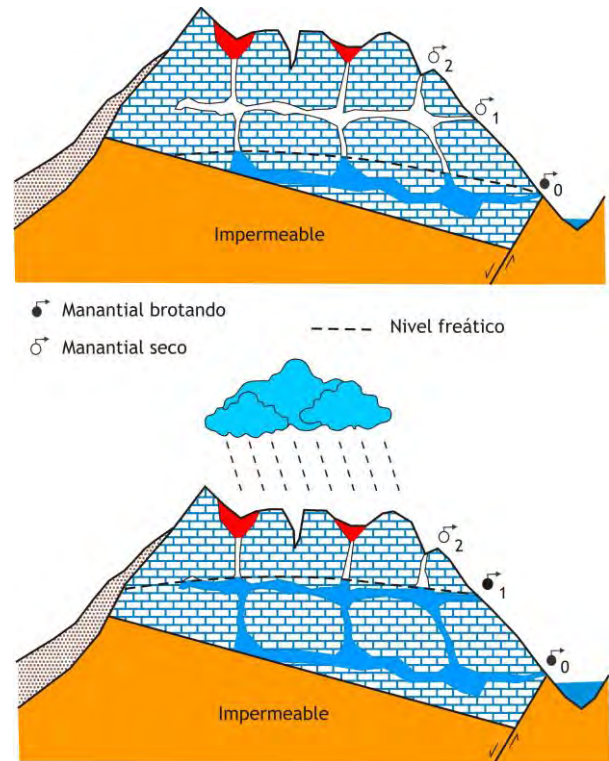


Figura 9: Esquema del funcionamiento de los manantiales *trop plein* (1 y 2) de acuíferos kársticos. Los números indican la progresión de cómo entran en funcionamiento. El manantial 0 es permanente. El nivel freático marca el límite de la zona saturada en el acuífero.

#### Parada 4. El microbioma de la Tierra

En la Tierra, actualmente, hay unos 8 mil millones de personas (8.000.000.000). Este número, aunque parezca alto, no se acerca ni de lejos a la cantidad de microorganismos que alberga nuestro planeta. Se estima, de hecho, que hay unos  $2 \times 10^{30}$  microorganismos (un 2 seguido de 30 ceros). Estos se encuentran ampliamente distribuidos y podemos encontrarlos en prácticamente todos los rincones del mundo. Se han detectado microorganismos incluso en los sitios más extremos y remotos, como las regiones polares o las aguas termales, donde

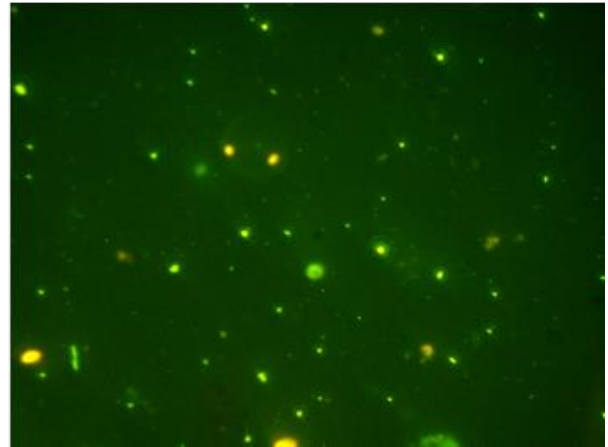


la temperatura puede alcanzar los 120°C. También forman parte de nosotros, lo que se conoce como el microbioma humano.

Aunque tradicionalmente los microorganismos se han asociado con enfermedades infecciosas, la gran mayoría de ellos no sólo son inocuos para el ser humano, sino que son esenciales para el funcionamiento de la Tierra, incluyendo los humanos, ya que participan en procesos de vital importancia en todos los ecosistemas. Permiten que los ciclos biogeoquímicos funcionen e incluso juegan un papel en la regulación del clima. Se utilizan para eliminar contaminación, en agricultura, en el tratamiento de aguas, en la producción de alimentos, en Biotecnología.

Los acuíferos, como reservorios de agua subterránea que se encuentran bajo la superficie terrestre, suelen ser muy importantes para el aprovechamiento de sus aguas para consumo humano. Estos, históricamente, han sido ampliamente estudiados a nivel geológico, pero el conocimiento que tenemos sobre sus microorganismos es bastante vago.

Los acuíferos albergan también un conjunto de microorganismos que forman parte de lo que podríamos denominar “microbioma del subsuelo” (Foto 3). Al igual que el microbioma humano es esencial para el buen funcionamiento de nuestro organismo, el microbioma del subsuelo participa en los procesos biológicos y biogeoquímicos que ocurren en el seno del acuífero. Esta comunidad microbiana no solo alberga bacterias sino también los virus que las infectan, que denominamos bacteriófagos y que en absoluto son perjudiciales para los seres humanos. Más bien lo contrario.



*Foto 3: Muestra de agua subterránea observada en el microscopio de fluorescencia tras teñir las células y los virus con un colorante que se une al ADN.*

Por lo tanto, este microbioma del subsuelo contribuye a la regulación biológica de lo que pasa bajo nuestros pies, influyendo directamente en el comportamiento de la Tierra en su conjunto.

### **Parada 5. Font de la Coveta**

El manantial de la Font de la Coveta se considera popularmente como el nacimiento del río Vinalopó, aunque este puede llevar agua desde los manantiales de Els Brulls, como se ha expuesto en la parada 3. La razón de esta consideración popular se debe a que esta surgencia natural presenta un funcionamiento continuo o perenne, por lo que es a partir de este punto cuando el Vinalopó siempre lleva agua. El agua surge de una pequeña cavidad en la roca, situada a cota de 766 m s.n.m, desarrollada en las calizas del Cretácico Superior (Foto 4). Se trata, por tanto, de uno de los manantiales kársticos que actúan como punto de descarga del acuífero Pinar de Camús.



Foto 4: Font de la Coveta, manantial que descarga las aguas del acuífero Pinar de Camús y es considerado popularmente como el nacimiento del río Vinalopó.

Las aguas de los manantiales kársticos suelen presentar un quimismo condicionado por la naturaleza carbonatada del acuífero. Habitualmente presentan aguas de baja mineralización y facies hidrogeoquímica bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica. En este sentido, las aguas de la Font de la Coveta responden a estas características mostrando una facies bicarbonatada cálcica. Los bicarbonatos, con valores que oscilan entre 230 y 280 mg/L, y el calcio, con concentraciones en torno a los 60 mg/L, constituyen los iones mayoritarios de esta agua; otros, como los sulfatos, cloruros, sodio o magnesio, están por debajo de los 30 mg/L. Este conjunto de iones le confieren la salinidad a las aguas, mineralización puede ser determinada por el parámetro de la conductividad eléctrica (CE). El registro de la CE del agua en la Font de la Coveta durante

el periodo 2004-2015 muestra cierta estabilidad, encontrándose sus valores entre 400 y 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que significa que su valor medio es ligeramente superior a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 10).

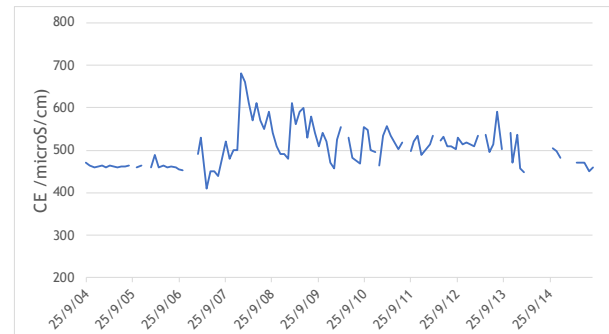


Figura 10: Evolución de la conductividad eléctrica registrada durante el periodo 2004-2015 en las aguas de la Font de la Coveta (datos web de la CHJ).

La CE de las aguas de los manantiales kársticos, además de reflejar las variaciones de mineralización del agua en el tiempo, pueden aportar información sobre el grado de karstificación funcional que presenta el acuífero; es decir, del grado de disolución del interior del macizo carbonatado relacionado con la dinámica del agua en el acuífero. Así, los acuíferos muy karstificados presentan flujos rápidos y lentos que hacen que el agua adquiera un mayor rango de mineralizaciones. Este comportamiento puede ser observado mediante la elaboración de curvas de frecuencias relativas de los valores de la CE. A grandes rasgos, las curvas monomodales (con un solo pico) son características de un flujo difuso que adquiere una mineralización más o menos estable, mientras que las multimodales (varios picos) indican la coexistencia de flujos más rápidos (menos mineralizados) con otros más lentos (más mineralizados). El diagrama de frecuencias de CE de las aguas de la Font de la Coveta

presenta una curva con una única moda (Figura 11), lo que indica un predominio de flujo difuso, relacionado con un desarrollo bajo o moderado de la karstificación de la roca que conforma el acuífero Pinar de Camús.

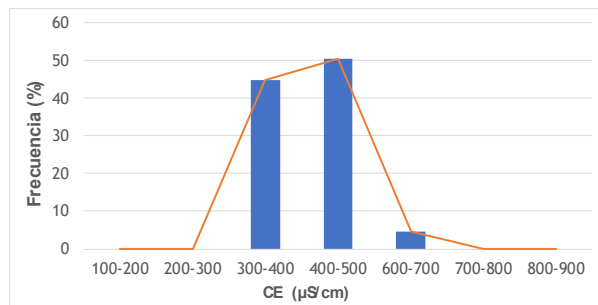


Figura 11: Curva de frecuencias relativas de la conductividad eléctrica de las aguas de la Font de la Coveta (datos web de la CHI).

## Parada 6. Los caudales del curso alto del río Vinalopó

A diferencia de los barrancos y ramblas los ríos son cursos permanentes de agua. La cantidad de agua que pasa por un cauce es un parámetro que puede ser medido y cuantificado con buena precisión. Para ello se realizan lo que se denominan **aforos**, consistentes en determinar el caudal que pasa en un momento dado por un curso de agua. El conocimiento de estos caudales es de especial importancia para gestionar el agua en las cuencas hidrológicas, es por ello que los organismos que se encargan de la gestión hídrica implementan estaciones de control en los principales cursos de agua superficial.

En el cauce del río Vinalopó existen tres estaciones de aforo históricas ubicadas a lo largo de su recorrido: (1) en el curso alto del río entre Banyeres y Beneixama, (2) en Santa Eulalia (Sax-Villena) y (3) en el término municipal de Aspe. Además de estas estaciones construidas en el propio cauce del

río, hay una estación de control en la Font de la Coveta, formada por una sección con escala graduada. En ella se mide la altura de la lámina de agua, valor necesario para conocer el caudal que surge del manantial, aunque las mediciones no han sido continuas en el tiempo. El caudal drenado por la Font de la Coveta pasa de escorrentía subterránea a escorrentía superficial y, por consiguiente, se convierte en lo que se denomina **caudal de base** del río Vinalopó.

Existen algunas cifras históricas sobre las aportaciones del curso alto del río Vinalopó, a partir de la información de la estación ubicada entre Banyeres de Mariola y Beneixama que elevaban los recursos hasta los 10 hm<sup>3</sup>/año, la mayor parte procedente de los manantiales de sierra de Mariola. Si bien, desgraciadamente las series presentan notables lagunas de información por lo que estas aportaciones medias muestran una elevada incertidumbre.

Con el objeto de subsanar esta situación, el Dpto. de Ciclo Hídrico de la DPA acondicionó una sección de aforos telecontrolada vía radio en el tramo del río que pasa junto al Molí de Baix y el Molí de Dalt (o Fàbrica de Blanes), apenas unos centenares de metros aguas abajo de la Font de la Coveta. Desde hace varios años se controla el caudal del río en este punto. Los caudales habituales en este punto son inferiores a los 40 L/s, si bien, presentan oscilaciones que alcanzan los 120 L/s (Figura 12). La mayor parte del tiempo estos caudales medidos corresponden a la aportación de la Font de la Coveta. Únicamente cuando se producen precipitaciones en la región, la estación recoge además del caudal base, la escorrentía superficial que se genera en la parte más elevada de la cuenca del Vinalopó.

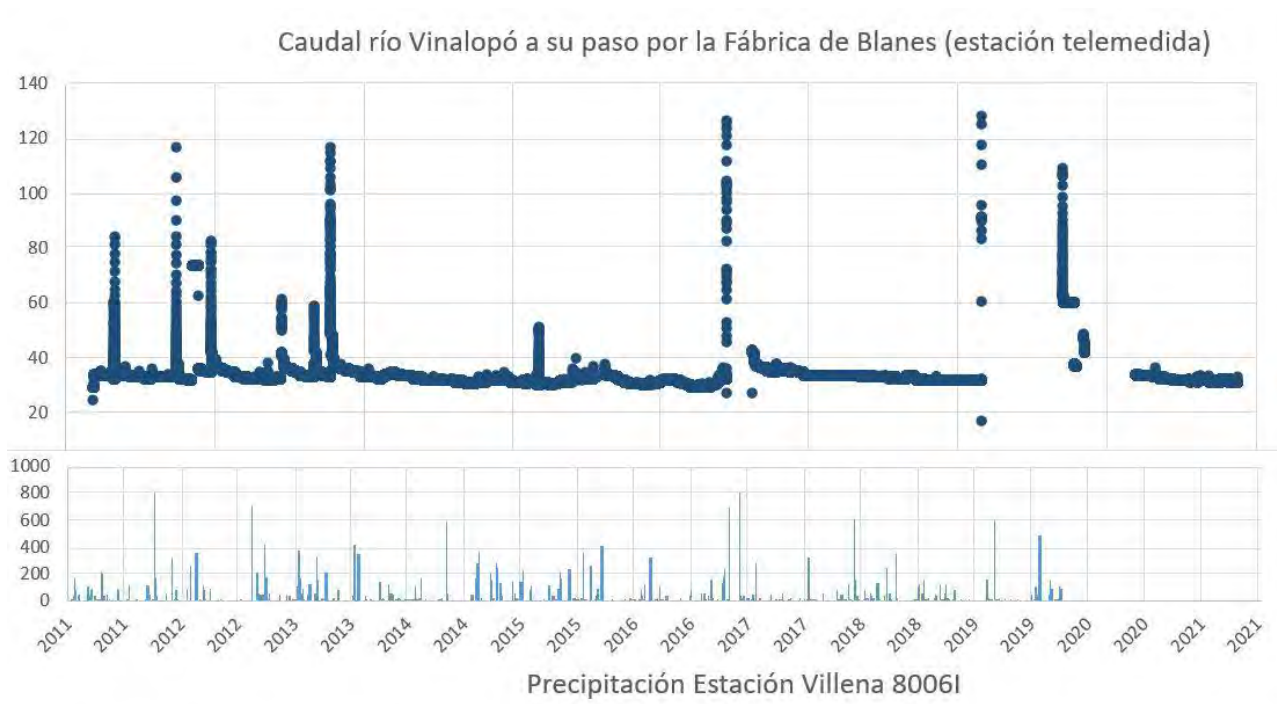


Figura 12: Evolución temporal de los caudales (en L/s) en la estación de aforos del Molino d'Alt perteneciente a la DPA frente a los valores de pluviometría (en décimas de mm).

### Parada 7. La nueva reserva natural subterránea de la Font de la Coveta (nacimiento del río Vinalopó)

En la actual normativa de aguas de España se catalogan como reservas hidrológicas a aquellos elementos del dominio público hidráulico (ríos, tramos de río, lagos, o acuíferos, entre otros), que muestren unas características especiales o tengan importancia hidrológica.

Esa catalogación responde a criterios basados en el buen estado de sus aguas, su singularidad, ser consideradas sitios de referencia de la Directiva Marco del Agua, así como a la representatividad de las hidromorfologías que presente ese elemento hídrico.

Las reservas naturales subterráneas corresponden a acuíferos o masas de agua subterráneas, en los que, teniendo en cuenta su origen, características geológicas,

hidrogeológicas y/o su conexión con los ecosistemas terrestres asociados, permanecen en estado natural.

Con motivo de la reciente revisión de los planes hidrológicos para el tercer ciclo (2022-2027) se propusieron por primera vez la incorporación de reservas naturales subterráneas. Entre las 22 reservas naturales subterráneas declaradas a finales del año 2022 se encuentra La Font de la Coveta (nacimiento del río Vinalopó). Se trata de una de las primeras reservas naturales subterráneas de la Comunitat Valenciana.

La zona declarada como reserva natural subterránea de La Font de la Coveta (nacimiento del río Vinalopó) presenta una superficie de 15 km<sup>2</sup> (Figura 13), la cual se extiende desde el punto de surgencia en forma de banda hacia el NE. Esta zona protegida coincide en parte con otros espacios protegidos como son el Parc Natural de la Serra de Mariola y las zonas LIC y ZEP



Serres de Mariola y del Carrascar de la Font Roja.

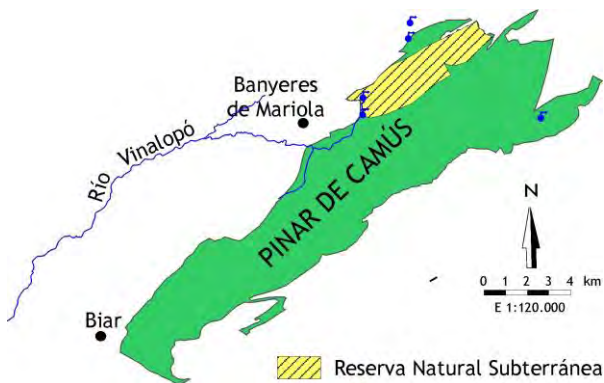


Figura 13: Superficie que comprende la reciente catalogación de la reserva natural subterránea de la Font de la Coveta (nacimiento del río Vinalopó).

El principal objetivo de la declaración de esta reserva natural subterránea es la preservación y conservación del medio físico y su biodiversidad asociada.

### Parada 8. La captación de aguas subterránea

El aprovechamiento de las aguas subterráneas puede realizarse de forma directa, tomando las aguas de un manantial o perforando una obra de captación en el subsuelo. Aunque también hay captaciones de aguas subterráneas horizontales como las galerías drenantes, minas o qanats, las más comunes son las perforaciones verticales: pozos y sondeos.

El principal problema de captar el agua con una perforación vertical es que hay que elevar el agua desde el nivel piezométrico hasta la superficie. Se puede decir que la elevación del agua ha sido una necesidad constante desde el inicio de la civilización con objeto de lograr los caudales requeridos para el regadío y el abastecimiento. Las soluciones logradas para tal fin han ido cambiando a lo

largo de la historia. Así, en la época clásica se empleaban mecanismos como el tornillo de Arquímedes o la rueda de cántaros capaces de extraer cierto caudal de forma continua. Posteriormente, se desarrollaron una serie de máquinas volumétricas que terminaron dando origen a las bombas de engranajes; pero es tras la revolución industrial cuando comienzan a emplearse las bombas centrífugas, las cuales han llegado hasta nuestros días. Actualmente los sondeos de agua se equipan con modernas electrobombas sumergidas que son capaces de elevar importantes caudales de agua desde grandes profundidades.

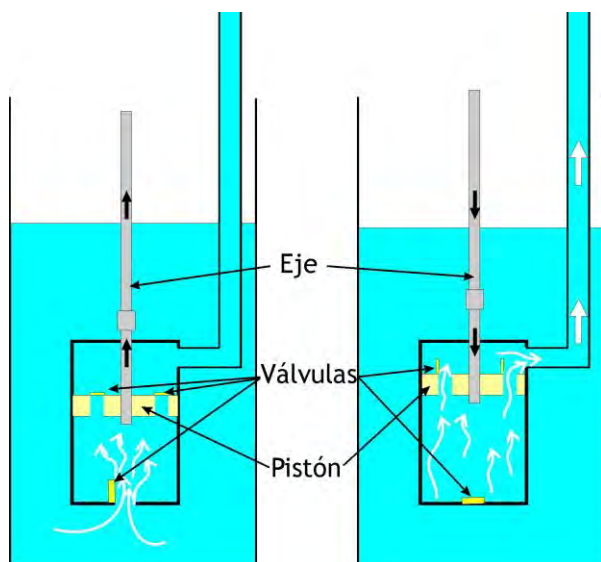
Uno de los mecanismos empleados en la elevación de agua a lo largo de esa carrera tecnológica ha sido la utilización de las bombas de pistón. El pozo antiguo, localizado en las inmediaciones del río Vinalopó (Foto 5), es un ejemplo que empleó este tipo de bomba de pistón para extraer el agua subterránea de los terrenos aluviales que se encuentran en esta parte del curso alto del río. Aunque se encuentra en estado de abandono, todavía hoy se puede observar sus restos y su molino de viento que aportaba la energía necesaria para elevar el agua.



Foto 5: Vista del molino y la balsa del pozo antiguo situado en las inmediaciones del curso alto del río Vinalopó.



El funcionamiento de la bomba de pistón se produce porque la rotación que produce el viento sobre el molino o rotor mueve una biela que unida a un vástago generan un movimiento de vaivén del pistón (situado en el pozo bajo el nivel agua). Este movimiento de vaivén o pistoneo es capaz de abrir y cerrar unas válvulas incorporadas al pistón que fuerzan el agua a entrar y salir en el pistón y son capaces de imprimir una presión al agua que permite su elevación por el interior de la tubería hasta la superficie (Figura 14). La cantidad de agua que se puede extraer con esta tecnología depende del viento, profundidad de bombeo, o tipo de molino, entre otros factores. No obstante, se trata de caudales modestos. Como se observa en el caso del pozo antiguo, suele estar asociado a algún tipo de depósito o reservorio para garantizar el agua cuando no hay viento (Foto 5).



*Figura 14: Sistema de extracción del agua mediante bombas de pistón como la que se utilizaba en el pozo antiguo.*

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las instituciones y entidades que han apoyado y/o patrocinado Hidrogeodía 2023: Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (Universidad de Alicante), Área de Ciclo Hídrico de la Diputación Provincial de Alicante, Dpto. de Agroquímica y Medio Ambiente (Universidad Miguel Hernández), Vicerrectorado de Cultura, Deportes y Lenguas (UA), Facultad de Ciencias (UA), Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales (UA), Servicio de Comunicación (UMH), Proyecto Interreg WaVE, Parc Natural de la Serra de Mariola y Ajuntament de Banyeres de Mariola.



AJUNTAMENT DE  
BANYERES DE MARIOLA



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Vicerectorat de Cultura, Esports i Política Lingüística  
Vicerrectorado de Cultura, Deportes y Política Lingüística



UNIVERSITAT D'ALACANT

Facultat de Ciències  
Facultad de Ciencias



INSTITUTO UNIVERSITARIO DEL AGUA  
Y DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Departament de Ciències de la Terra i del Medi Ambient  
Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente



GOBIERNO  
PROVINCIAL  
ALICANTE  
CICLO HÍDRICO

La Dipu de los Pueblos



DIPUTACIÓN DE ALICANTE  
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

CAMPUSHABITAT5U



Dpto. Agroquímica  
y Medio Ambiente



GENERALITAT  
VALENCIANA

parc natural  
de la serra  
de mariola



European Union  
European Regional  
Development Fund

## LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA ALICANTE 2023

José Miguel Andreu Rodes (UA)  
Ernesto García Sánchez (UMH)  
Miguel Fernández Mejuto (DPA/UA)  
Pedro Alfaro García (UA)  
Josefa Antón Botella (UA)  
Victoria Arcenegui Baldó (UMH)  
María Candela Ruiz (UA)  
Juan Antonio Hernández Bravo (DPA)  
Héctor Fernández Rodríguez (DPA)  
Noé García Martínez (UA)  
Sara Gil Oncina (UA)  
Iván Martín Martín (UA)  
Iván Medina Cascales (UA)  
José Navarro Pedreño (UMH)  
Rebeca Palencia Rocamora (DPA)  
Conchi Pla Bru (UA)  
Agustina Pozzo  
Juanjo Rodes Martínez (DPA)  
Iván Rojas Martín (UA)  
Julio Ramón Pascual (IES Carrús)  
Francisco José Royuela Amorós  
Sergio Rosa Cintas (UA)  
Víctor Sala Sala (UMH)  
Rodrigo Sánchez Martínez (UA)  
Fernando Sánchez Santos (UA)  
Francisco Sansano López (IES Mare Nostrum)  
Eva Santamaría Pérez (UA)  
Javier Valdés Abellán (UA)  
Alicia Vela Mayorga (IES Mare Nostrum)

## PARA SABER MÁS

DPA (2003). *Los manantiales provinciales: primera parte*. Serv. Publ. Dip. Alicante. 247 p.

DPA (2007). *Mapa del Agua de Alicante*. Serv. Publ. Dip. Alicante. Escala 1:50.000. Memoria y mapas, 78 p.

DPA (2015). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Alicante*. 284 p.

IGME-DPA (2009). Alternativas de gestión en el sistema de explotación Vinalopó-L'Alacantí. Serv. Publ. Diputación de Alicante, 126 p.

IGME-DPA (2011). *Rutas azules por la provincia de Alicante*. Serv. Publ. Diputación de Alicante, 270 p.

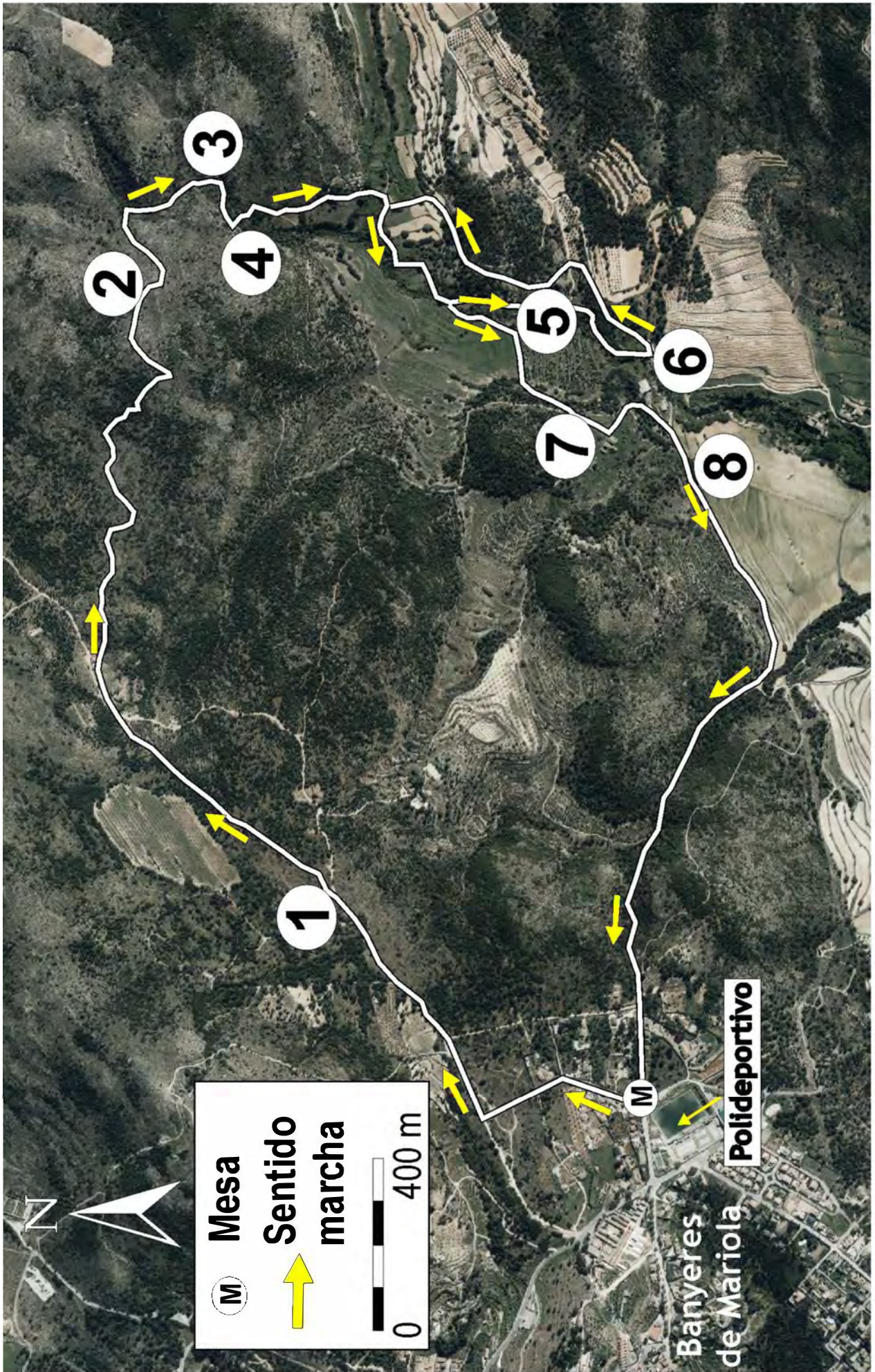
## RECURSOS WEB

<https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-serra-de-mariola/publicaciones>

<http://www.banyeresdemariolaturisme.com/es/>

<https://rutasazulesalicante.es/>







**HIDROGEODÍA**  
**2023** ASTURIAS



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

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

# Oviedo ahorra agua... derrocha vida

**DÍA MUNDIAL DEL AGUA**

22 de marzo del 2023

**Sábado 18 de marzo / 10:00 h**

**Hidrogeodía.**

Itinerario para descubrir el camino que recorre el agua que bebemos. Del Aramo a nuestra mesa. El Hidrogeodía es una actividad divulgativa sobre la importancia de la hidrogeología y las aguas subterráneas para el medio ambiente y la sociedad. Excursión didáctica gratuita, abierta a todo tipo de público y guiada por expertos.

**¿Qué veremos?**

El manantial de CODE, el embalse de Alfilorios y ETAP de Cabornio.

Salida en la Calle Trece rosas, en la parada de bus, junto a la Facultad de Geología, Oviedo.

**Plazas limitadas, reserva tu plaza en [escuelasostenibleoviedo@gmail.com](mailto:escuelasostenibleoviedo@gmail.com) y los teléfonos 985744647 y 684 690 242**



escuela municipal de  
sostenibilidad



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español

Información detallada y folleto de la excursión:  
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023/>



## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo, con motivo de la celebración del Día Mundial del Agua, promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por profesionales de la hidrogeología y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Asturias, el **Hidrogeodía 2023**, se celebrará en los concejos de Riosa, Ribera de Arriba y Morcín donde, se visitarán el manantial de Code, el embalse de Los Alfilorios y la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) de Cabornio. El manantial de Code es uno de los manantiales más importantes del acuífero de la Sierra del Aramo, un macizo calcáreo situado a unos 20 km al suroeste de Oviedo cuyas cumbres más altas alcanzan los 1700 m (Figura 1). Este manantial es una surgencia kárstica captada para el abastecimiento de agua a la ciudad de Oviedo. Forma parte del denominado Canal del Aramo, que transporta, a lo largo de unos 63 km, el agua procedente de los manantiales de Quirós (Peña Rueda) y de la Sierra del Aramo, y termina en el sifón del Nalón previa descarga, si hay sobrantes, en el embalse de Los Alfilorios.



Figura 1: Vista de la Sierra del Aramo desde el norte. Al noroeste aparece el embalse de Los Alfilorios, que abastece a Oviedo, y al noreste el pico Monsacro

## ¿QUÉ VEREMOS?

Los elementos más destacables que veremos en el transcurso de la visita serán los mostrados en la Figura 2.



Figura 2: Mapa de ubicación

## ¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La Hidrogeología es la ciencia que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres presentes en la zona saturada de las formaciones geológicas, es decir, las **aguas subterráneas**, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones con el medio físico y biológico, sin olvidar las reacciones a la acción humana.

Las aguas subterráneas representan la reserva de agua dulce aprovechable más importante de la

Tierra, se almacenan en rocas porosas y permeables denominadas **acuíferos** y proceden, mayoritariamente, de la infiltración de las precipitaciones en el terreno. El agua que se infiltra alcanza la zona saturada del acuífero a través de las zonas de recarga, que son aquellas zonas en las cuales las rocas que constituyen el acuífero afloran en superficie o están ocultas bajo una cubierta de suelo permeable. En la zona saturada de los acuíferos el agua se almacena en sus poros, grietas y fracturas y, si existe conexión entre estos huecos, el agua puede circular a su través (esta propiedad se conoce como permeabilidad) hasta llegar a los puntos de descarga. Las salidas naturales de las aguas subterráneas a superficie (descargas) tienen lugar a través de manantiales, a los cauces de ríos y a zonas de drenaje difuso (*llamargas*, en Asturias). Los manantiales son, por tanto, un rebosadero natural de los acuíferos y, normalmente, aparecen en el contacto entre materiales permeables e impermeables o en la intersección de la superficie topográfica con la superficie freática. Sin embargo, no siempre son visibles puesto que en numerosas ocasiones los acuíferos descargan sus aguas directamente a los ríos o al mar (manantiales submarinos). Es importante reseñar que la descarga de los acuíferos constituye la esorrentía básica de los ríos, que es, junto con el agua procedente del deshielo, lagos y embalses, la que alimenta a los cauces superficiales durante los períodos sin precipitación. Sin la aportación de las aguas subterráneas todos los ríos llegarían a secarse tras un período de tiempo sin lluvia.

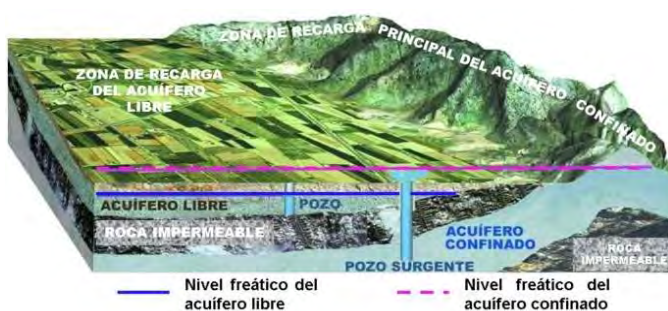


Figura 3: Tipos de acuíferos (López-Geta, et al., 2009)

**En los acuíferos libres** el límite superior de la zona saturada, es decir, el nivel que alcanza el agua

dentro del acuífero se denomina **nivel freático o nivel piezométrico**.

**En los acuíferos confinados y semiconfinados**, la formación que contiene el agua está bajo materiales **impermeables (acuicludos) o semipermeables (acuitardos)**, por lo que la presión a la que está sometida el agua dentro del acuífero es mayor que la atmosférica. Al nivel que alcanza el agua cuando se hace un pozo en un acuífero confinado o semiconfinado se le denomina **nivel piezométrico**, el cual podría llegar a alcanzar cotas superiores a las de la boca del pozo, hablándose en este caso de pozo artesiano surgente (Figura 3).

## ENTORNO GEOLÓGICO

Aunque las rocas que forman la mayor parte del sustrato de la Sierra del Aramo tienen edades comprendidas entre 419 (Devónico) y 307 (Carbonífero) millones de años (m.a.), la formación de su relieve es más joven, pues tiene su origen en la denominada Orogenia Alpina (66 m.a.). Las orogenias son los procesos de formación de las montañas debido al choque entre las placas tectónicas que deforman y levantan las rocas. Las rocas del Aramo sufrieron una primera orogenia, la Varisca o Hercínica (358-307 m.a.) como consecuencia del choque entre las placas de Laurasia y Gondwana, las cuales a su vez dieron lugar al supercontinente Pangea. Fue esta orogenia la responsable de buena parte de la deformación que presentan las rocas del Aramo y que se observa en la verticalidad de los estratos, así como en la presencia de numerosos pliegues y fallas. Sin embargo, el gran relieve formado durante la orogenia varisca fue totalmente erosionado y el que puede observarse hoy, no solo en el Aramo sino en toda la Cordillera Cantábrica, Pirineos, Alpes e Himalaya, es el resultado de la colisión entre las placas Ibérica y Euroasiática acaecida durante la ya mencionada orogenia Alpina. Las rocas que, en la Península Ibérica fueron



deformadas por la orogenia Varisca se encuentran dentro del denominado Macizo Ibérico, el cual fue dividido en varios sectores (Julivert et al., 1972); uno de ellos es la Zona Cantábrica que, a su vez, ha sido dividida en varias unidades con características geológicas distintas (Figura 4).

En los lugares a visitar los materiales aflorantes, mayoritariamente del Carbonífero, están muy inclinados, plegados y afectados por diferentes fallas. La zona se encuentra muy cercana al contacto entre la Unidad del Aramo y la Cuenca Carbonífera Central (C. C. Central). Dicho contacto se produce mediante una estructura tectónica, el **Cabalgamiento del Aramo**, que superpone la Unidad del Aramo sobre la C. C. Central.

Un cabalgamiento consiste en una fractura que se produce en el terreno como consecuencia del empuje de las placas tectónicas y provoca un desplazamiento de los dos bloques en que quedan divididas las rocas afectadas. De este modo, se produce un acortamiento de la superficie original y las rocas más antiguas quedan situadas sobre las más modernas (Figura 5).

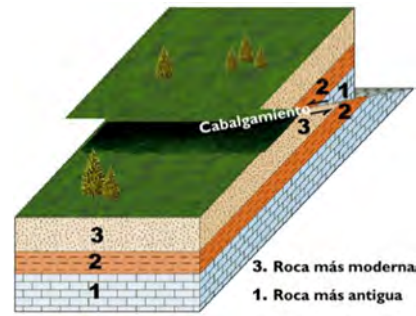


Figura 5: Bloque diagrama explicativo de un cabalgamiento (modificado de Monroe et al., 2006)

El cabalgamiento del Aramo superpone la Caliza de Montaña (rocas más antiguas) sobre el Grupo Lena (rocas más modernas).

En las rocas carbonatadas se ha desarrollado una importante karstificación, que se manifiesta en un peculiar paisaje visible tanto en el exterior (lapiaz, dolinas, etc.) como en el interior del macizo (cuevas, galerías, simas, etc.), y que, además, ha condicionado la hidrogeología de la zona. El cabalgamiento del Aramo (Figura 6) tiene una especial relevancia ya que, por una parte, sobre su trazado se ubican varias surgencias kársticas y, por otra, a él se asocian las mineralizaciones de cobre

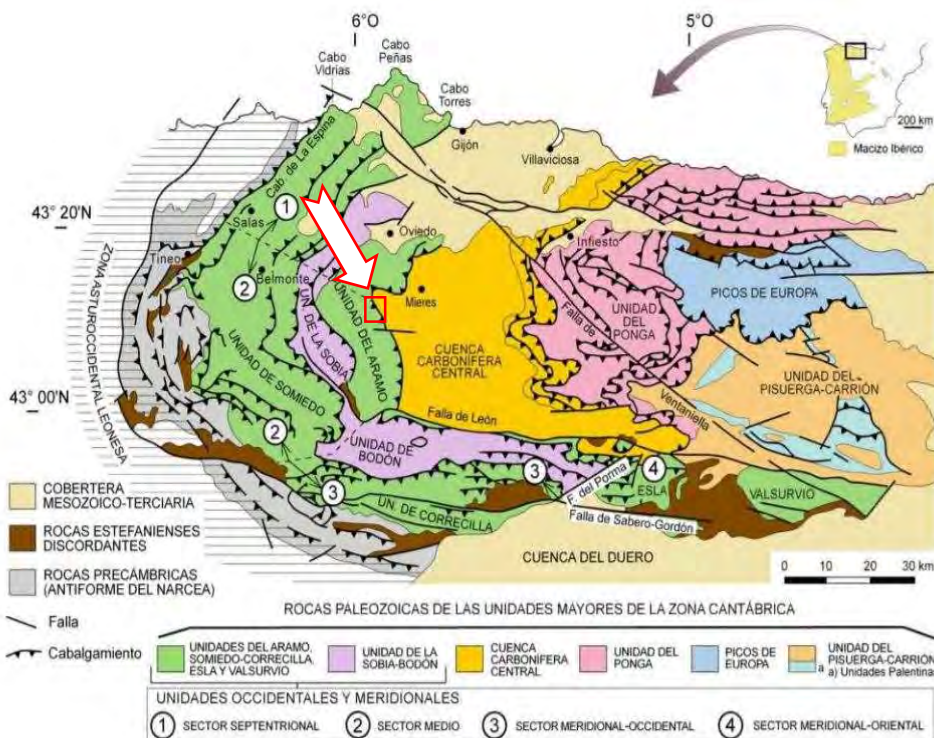


Figura 4: Unidades en que está dividida la Zona Cantábrica. La flecha y el recuadro indican la situación de la zona visitada (Bastida, F. (coord.), 2004)

y cobalto que fueron explotadas desde tiempos milenarios y cuyos vestigios aún se pueden observar (minas de Texeu).

## TIPOS DE ROCAS Y ACUÍFEROS

Las rocas que afloran en la Sierra del Aramo y su entorno (Figura 7) son mayoritariamente de naturaleza carbonatada (calizas y dolomías) aunque también aparecen formaciones detríticas (pizarras, limolitas y areniscas). Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas carbonatadas (Caliza de Montaña: formaciones Barcaliente y Valdeteja) constituyen el acuífero principal, un acuífero kárstico de gran importancia en toda la región. Los acuíferos kársticos son aquellos que están formados por rocas que pueden llegar a ser disueltas al entrar en contacto con el agua, como son las calizas, dolomías, yesos y sales. En ellos el agua circula inicialmente a través de fracturas y grietas, que con el tiempo, van creciendo por disolución, erosión y otros procesos externos,



Figura 6: Mapa geológico de la Sierra del Aramo (Merino Tomé et al., 2014)

pudiendo llegar a alcanzar tamaños considerables. El resultado es un complejo entramado conectado de simas, conductos, galerías y cavidades.

Las areniscas de la Formación Furada y las del Devónico Superior, así como las incluidas en el Grupo Lena constituyen acuíferos detríticos, aunque en este caso, de menor interés, por su baja permeabilidad. En este tipo de acuíferos el agua se almacena en los huecos (poros y fisuras) y circula a través de aquellos que están conectados entre sí.

Las pizarras, lutitas y limolitas integradas dentro del Grupo Lena presentan una permeabilidad muy baja o son prácticamente impermeables, mientras que los niveles calcáreos, de poco espesor, funcionan como acuíferos y dan lugar a pequeños manantiales.

El acuífero principal, la Caliza de Montaña, recibe su recarga por la infiltración de las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. El agua, una vez alcanzada la zona saturada, circula a través de los huecos del macizo calcáreo y sale al exterior a través de manantiales o directamente a los cauces de ríos. Los manantiales de Llamu y Code son dos de los principales drenajes de este acuífero (IGME, 1982). Su ubicación, como se mencionó en el apartado anterior, está asociada al cabalgamiento del Aramo: la superposición de la Caliza de Montaña (acuífero) sobre las rocas del Grupo Lena (semipermeables o impermeables), propicia el

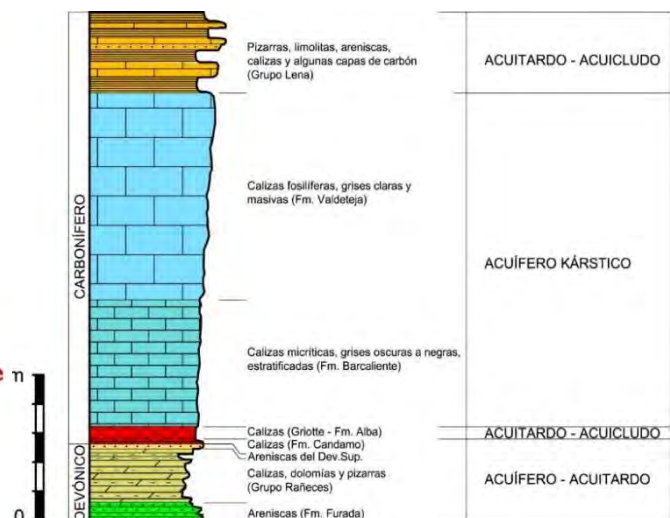


Figura 7: Columna hidroestratigráfica de la Sierra del Aramo (modificada de Aller, 1993)



contacto materiales permeables con materiales impermeables, condicionando que en dicho contacto tenga lugar el drenaje del macizo calcáreo (Figura 8).

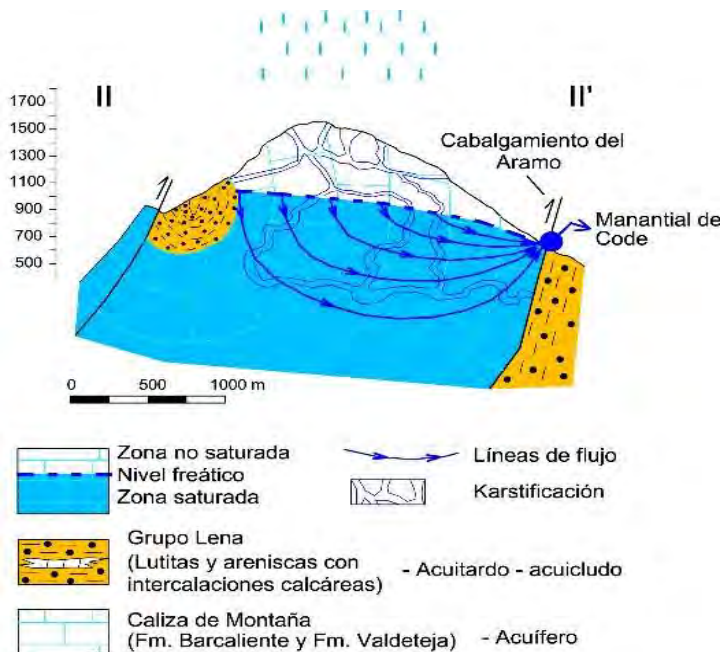


Figura 8: Esquema de funcionamiento del acuífero kárstico del Aramo y sus principales manantiales.

## TIPOS DE AGUAS

El agua que circula a través del acuífero principal, Caliza de Montaña, es de composición bicarbonatada cálcica, con valores del orden de 150 mg/l de  $\text{CO}_3\text{H}^-$  (bicarbonato cálcico) en primavera y, como ya se ha mencionado, son captadas en varios de sus puntos de descarga (manantiales de Llamo, Code, Fuentes Sordes, etc.) para el abastecimiento doméstico a la ciudad de Oviedo. Son aguas, en general, de buena calidad química y bacteriológica aunque localmente puedan estar afectadas por la actividad ganadera de la zona.

Asociados a las intercalaciones calcáreas presentes en el Grupo Lena, existen numerosos manantiales de poco caudal y con menores concentraciones de iones disueltos (120 mg/l de  $\text{CO}_3\text{H}^-$  en primavera).

## EMBALSE DE ALFILORIOS

El embalse de Alfilorios fue inaugurado en el año 1990 y tiene una capacidad de 8,16 hm<sup>3</sup>. Se construyó para abastecer de agua potable a las poblaciones de la zona central de Asturias, especialmente a la ciudad de Oviedo.

Este embalse está situado sobre el cauce del río Barrea, en el concejo de Ribera de Arriba, aunque casi la totalidad de su superficie se encuentra en el concejo de Morcín.

## ETAP

La estación de tratamiento de agua potable de Oviedo en Cabornio, (ETAP de Cabornio), está diseñada para tratar una caudal máximo de 1.500 l/s y convierte a Oviedo en un municipio con una de las mejores aguas destinadas al consumo humano gracias a los modernos sistemas de los que se ha dotado.

La ETAP recibe sus aportes de agua de los manantiales de la Sierra del Aramo, la del embalse de Alfilorios y la de los pozos de Palomar, para introducirse en la planta y comenzar su tratamiento, el cual dura aproximadamente tres horas y media y se encuentra totalmente automatizado.

Además, en sus instalaciones cuenta con un laboratorio propio en el que se analiza la calidad y estado del agua a lo largo del proceso de tratamiento al que es sometida.

El primer paso del tratamiento en la ETAP es el denominado desbaste, mediante el que se retira principalmente materia vegetal (hojas, ramas...) que suele arrastrar el agua.

A continuación, se procede a una primera desinfección mediante ozonización. Este tratamiento convierte a la ETAP de Oviedo en una



las más avanzadas del país, dado que el ozono tiene un alto poder desinfectante y es altamente eficaz en la eliminación de olores, sabores, metales y pequeños materiales orgánicos como las microalgas.

Posteriormente, el líquido es remitido a las cámaras de floculación y coagulación, una decantación, a continuación, para eliminar los sólidos en suspensión que contiene el agua, generándose un residuo en esta etapa, los lodos.

Continuando con la línea de tratamiento se filtra el agua para retirar la turbidez que aún pueda contener, haciéndola pasar por unos lechos de arena.

Finalmente, se dosifica cloro al agua tratada antes de salir de la instalación hacia los depósitos cabecera. De este modo se asegura que en todo el proceso de distribución hasta los usuarios el agua mantiene la ausencia de microorganismos.

Los lodos anteriormente citados son tratados en la línea de fangos, donde son espesados y centrifugados, para reducir su concentración y poder enviarlos al vertedero como fango deshidratado.

## AGUA Y SOCIEDAD

Desde la antigüedad, las aguas subterráneas son captadas para diversos usos, siendo el principal, el abastecimiento humano, mediante la captación de los manantiales más caudalosos. Si bien, por otra parte, también se aprovechan pequeñas surgencias para dar servicio a otras actividades como la ganadería y la agricultura.

### Historia de los aprovechamientos

La historia del aprovechamiento de los manantiales de la vertiente este de la Sierra del Aramo va unida al desarrollo y crecimiento de la ciudad de Oviedo, capital del Principado de Asturias.

En sus inicios como capital del reino de Asturias, la ciudad de Oviedo se abastecía de los manantiales

de la zona de Los Arenales, al sur de Oviedo mediante la traída de La Granda del Anillo, construida en el siglo IX bajo el reinado de Alfonso II el Casto. En el siglo XVI se completó con el aprovechamiento de los manantiales de Boo y Fitoria, en la ladera Sur del Monte Naranco (Abril, 2005).

Ya en el siglo XIX, y con el crecimiento continuado de su población y actividades industriales, la ciudad añadió las captaciones de los manantiales de Ules y Lillo en el Naranco, pero aun así los recursos disponibles eran insuficientes, especialmente, en verano y épocas de sequía. Es entonces cuando se plantea el aprovechamiento de los manantiales de la vertiente oriental de la Sierra del Aramo, sobre todo los del concejo de Riosa, donde se dan las mayores surgencias (Suárez, 1895 y 1896).

Los primeros manantiales en ser aprovechados fueron el de Arroixines, en la cabecera del valle del río Code (Figura 9), por concesión al Ayuntamiento de Oviedo de 125 l/s y del manantial de Fuentes Sordes con 25 l/s, en la cabecera del valle del río Grandiella. Las obras del canal, realizadas entre 1900 y 1911, conllevaron la construcción de cuatro túneles: Los Coruyones, El Cabornín, Lavayos y Viapará (Abril, 2005).



Figura 9. Represa de la captación en cabecera del valle del río Code (Riosa).

En 1926 el Ayuntamiento de Oviedo obtiene una nueva concesión para la captación del manantial principal en la cabecera del valle del río Llamo, por un total de 77 l/s. El canal de esta traída, concluido en 1931, discurre entre las cercanías del pueblo de Llamo y la captación de Code (Abril, 2005).

Con el aumento de la demanda, en 1950 Oviedo obtuvo la concesión de captación de varios manantiales ubicados en la cabecera de los valles de Cortes y Lindes en el concejo de Quirós, y en el valle de Tuiza, en el concejo de Lena (esta última nunca se llegó a ejecutar). El tramo desde Cortes y Fuentes Calientes hasta la represa del manantial de Code, el agua discurre en dos canales (Figura 10) e incluye tres grandes túneles: La Cobertoria (Figura 11), La Armada y Las Mestas. Desde la represa de Code se amplió la conducción hasta Viapara, y desde ese punto la conducción se desdobra hasta Oviedo.



Figura 10. Canales de Llamo (inferior, en piedra) y de Cortes-Lindes (superior en hormigón) en las cercanías del pueblo de San Adriano (Riosa).



Figura 11. Últimas obras de reparación en el túnel de la Cobertoria (2015), en el tramo Cortes-Llamo del "Canal del Aramo"

Las infraestructuras del Canal del Aramo se ampliaron con la construcción del Embalse de los Alfilorios, en el concejo de Morcín, entre los años 1976 y 1983, con una capacidad de 9 hm<sup>3</sup>, y del "Túnel del Aramo", con capacidad para conducir hasta 2.000 l/s (Abril, 2005). La entrada en servicio en 1995 de este túnel, supuso que la parte del canal entre Code y Viaparà quedara prácticamente abandonada.

El túnel, de 3 m de diámetro, fue objeto de diez años de litigios (1981 a 1990) entre Oviedo y Riosa.

Los recursos hídricos que llegan a Oviedo desde Peña Rueda, en Quirós, y Riosa, por el Canal del Aramo (Figura 12) son de vital importancia para la ciudad, ya que constituyen el 80% de los 27 hm<sup>3</sup>/año de agua consumidos. El 20% restante proviene la conexión con el Consorcio de Aguas de Asturias (CADASA) en el depósito de Cuyences, con uso en caso de extrema necesidad de los pozos de bombeo del río Nalón en Palomares (Ribera de Arriba), y el caudal menor proveniente de los manantiales del Monte Naranco.

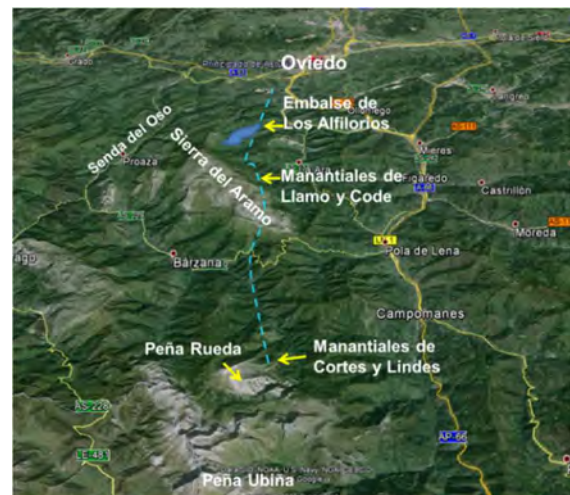


Figura 12. Trazado del Canal del Aramo (línea azul discontinua) entre los concejos de Quirós y Ribera de Arriba. (Modificada de Google Earth).

## AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

Las aguas subterráneas se pueden utilizar para abastecer a la población, a la industria, para el regadío, etc., pero también cumplen importantes funciones ambientales como es el mantenimiento del caudal base de los ríos y humedales. Un importante problema ambiental asociado al aprovechamiento de las aguas subterráneas es la sobreexplotación de los acuíferos, es decir la extracción de agua de estos en una cantidad

superior al volumen medio interanual de recarga, de modo que se pone en riesgo la sostenibilidad, a largo plazo, tanto de los ecosistemas asociados a ellas como de los propios aprovechamientos.

Pero también se puede provocar un daño ambiental importante mediante la captación excesiva de los manantiales, impidiendo que los ríos puedan mantener su caudal ecológico. En algunos ríos del concejo de Riosa, en determinadas épocas del año, se observan cauces secos debido a que las surgencias están totalmente captadas mediante el Canal del Aramo.

En la línea de los objetivos del Día Mundial del Agua y del Hidrogeodía se podría considerar la denominada *Nueva Cultura del Agua*, en la que se entendería que este río “es más valioso como río que como agua” (Arrojo, 2003), e introducir gestión en la captación de estos recursos y desarrollar otras alternativas más sostenibles.

## PARA SABER MÁS

- Abril, G., 2005. *Historia del abastecimiento de agua a Oviedo*. Corondel, Oviedo. 144 pp.
- Aller, J., 1993. *La estructura geológica de la Sierra del Aramo (Zona Cantábrica, NO de España)*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 19, 3-13.
- Arrojo, Pedro, 2003. *El Plan Hidrológico Nacional. Una cita frustrada con la historia*. Integral, Barcelona. 208 pp.
- Bastida, F. (coord.), 2004. «Zona Cantábrica». En Vera Torres, J. A. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. pp. 25-49.
- Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. & Conde, L. N., 1972. *Memoria del Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares a escala 1:1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 113 pp.
- IGME, 1982. *Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Norte (Asturias). Volumen 6, Informe Técnico N°4, Sistema Acuífero N°3, Caliza de Montaña Cantabro-Astur*. Madrid. 361 pp.

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, 2004. - 4ª ed.- Instituto Geológico y Minero de España. 99 pp.

Merino-Tomé, O., Suárez Rodríguez, A. y Alonso Alonso J., 2014. *Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50.000, Zona Cantábrica*.

Monroe, J.S., Wicander, R. y Pozo Rodríguez, M. (2006). *Geología: Dinámica y evolución de la Tierra*. Ed. Paraninfo, Madrid. 726 pp.

Suárez, José, 1895. *Manantiales de la vertiente oriental del Aramo: solución al problema del abastecimiento de aguas a Oviedo*. Memoria. Oviedo. 40 pp.

Suárez, José, 1896. *El problema de las aguas en Oviedo*. Oviedo. 59 pp.

## AGRADECIMIENTOS



**Universidad de Oviedo**  
Escuela de Ingeniería de Minas,  
Energía y Materiales



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACION

CSIC

IGME  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



**OVIEDO**.es  
MEDIO AMBIENTE





# HIDROGEODÍA

## 2023



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español

### Los recursos hídricos de Barcelona y las infraestructuras urbanas

25 de Marzo de 2023

#### EXCURSIÓN GRATUITA

Visita guiada con dos paradas:

Estació de la Sagrera

Plaça de les Glòries

HORA DE ENCUENTRO: 9:30 h; Sábado 25 de Marzo

Lugar: C/ Baixada de la Sagrera, s/n

Inscripciones: [mt.hidrogeologia.modelitzacio@ub.edu](mailto:mt.hidrogeologia.modelitzacio@ub.edu)

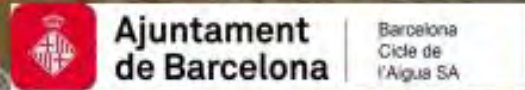



#### ORGANIZA:

##### MÁSTER EN HIDROGEOLOGÍA Y MODELACIÓN



#### COLABORAN:





**DÍA MUNDIAL DEL AGUA**


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



22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua

¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?


**Concurso del Agua Subterránea, 2023**

¡PARTICIPA!





II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023



Autores : Enric Vázquez- Suñé, Joan Botey i Bassols, Marc Teixidó i Planes



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las ciudades va íntimamente acompañado del desarrollo de la red de infraestructuras que permiten su funcionamiento. Así pues, así como las ciudades van densificándose con el tiempo, también la concentración de infraestructuras va aumentando, y ante la progresivamente mayor escasez de espacio en superficie, la red de infraestructuras va creciendo en profundidad. En consecuencia, es cada vez más frecuente que las infraestructuras subterráneas urbanas lleguen a interactuar con las aguas subterráneas. La construcción de estas infraestructuras requiere el rebaje del nivel de las aguas subterráneas —llamado nivel freático— con tal de poder trabajar en seco.

El rebaje del nivel freático conlleva todo un conjunto de impactos en el entorno de la obra. Por ello, es necesario prever en cada caso cuáles serán estos impactos, diseñar medidas preventivas para minimizarlos, estimar la magnitud de los impactos esperados, diseñar una red de control que permita un adecuado monitoreo de estos impactos, ejecutar dicho monitoreo para verificar que las previsiones se están cumpliendo y tener previstos protocolos de actuación en caso de detectar desviaciones respecto las previsiones. La construcción de la Estación de la Sagrera y los túneles viarios de la Plaça de les Glòries Catalanes en Barcelona son un buen ejemplo de todo ello y nos ofrecen, además, algunas particularidades que los hacen casos especialmente interesantes y en los que el IDAEA-CSIC ha participado muy activamente.

Así pues, la jornada del **HIDROGEODÍA 2023** se ha estructurado de la siguiente forma:

**1.- Visita y presentación: La Sagrera estación central - centro urbano.** (A cargo de Joan Baltà, director general de BSAV); y explicación de los aspectos hidrogeológicos en relación de los Trabajos de drenaje para la construcción de la estación de la Sagrera (a cargo de Enric Vázquez-Suñé).

**2.- Visita del proyecto de soterramiento viario de la Gran Via – Glòries** (Plaça de les Glòries) y explicación de los aspectos hidrogeológicos en relación de los Trabajos de drenaje de los túneles de Glòries (a cargo de Joan Botey i Bassols) y explicación la reurbanització y naturalització del entorno de la Plaça de les Glòries (a cargo de Marc Teixidó). Seguidamente se resumen algunos de los aspectos destacados de la jornada.

## PARADA 1. ESTACIÓN DE SAGRERA

La estación de La Sagrera (**Fig. I**) se encuentra en el área metropolitana de Barcelona (España) y tiene como objetivo convertirse en el principal centro de tránsito intermodal de la ciudad. Se espera que la estación reciba más de 100 millones de pasajeros al año, combinando trenes de alta velocidad, trenes de corta y media distancia, cuatro líneas de metro y autobuses (ADIF, 2015). La construcción de la estación de tren comenzó en 2010 y está previsto que se complete en 2028.

Desde el punto de vista geológico (**Fig. I**), estación de La Sagrera se sitúa en el Llano de Barcelona, que es una llanura costera de piedemonte delimitada por dos formaciones deltaicas cuaternarias (correspondientes a los ríos Besòs y Llobregat) y un área elevada, las Cordilleras Costeras Catalanas (principalmente rocas paleozoicas compuestas de materiales granodioríticos) (Sanz, 1988). Más concretamente, la estación se encuentra a caballo de la llanura costera y la formaciones fluviales y deltaicas del Río Besòs, de edad cuaternaria, que cubren un sustrato principalmente formado por series paleozoicas y pliocenas. La formación cuaternaria presenta un patrón muy heterogéneo y se puede dividir en cuaternario inferior (pleistoceno) y cuaternario superior (holoceno). El pleistoceno está compuesto por varios ciclos de secuencias aluviales. El cuaternario superior está compuesto principalmente por depósitos torrenciales, aluviales y de ladera, donde se encuentran gravas y arenas con una alta proporción de matriz arcillosa. Todos estos depósitos cuaternarios tienen un espesor de 30 m. El

sustrato pre-cuaternario está formado por las series pliocenas, principalmente compuestas por margas azules marinas y margas arenosas, y granito paleozoico. Toda el área de estudio está atravesada por muchas fracturas que compartimentan el sustrato pre-cuaternario; específicamente, el área de construcción está cruzada por una fractura (orientada NNW-SSE) que separa las dos series pliocenas: margas pliocenas (sur) y margas arenosas pliocenas (norte). Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales cuaternarios y pre-cuaternarios se pueden considerar como un acuífero multicapa estratificado con una alta heterogeneidad vertical, con una transmitividad horizontal efectiva de 100-200 m<sup>2</sup>/d. Estos valores se derivaron de numerosas pruebas hidráulicas realizadas en el área de estudio y de modelos numéricos desarrollados para la gestión de los recursos hídricos urbanos (BCASA, 2017). Las oscilaciones del nivel freático durante el siglo XX, debido a extracciones de agua extensivas a principios del siglo (descensos de aproximadamente 10-15 m) y la recuperación del nivel freático después de la década de 1970 (Vázquez-Suñe et al., 2005), resultaron en una sobreconsolidación del suelo, cambiando la deformación del suelo de plástica a elástica, lo cual es importante para entender y cuantificar las posibles deformaciones del terreno debido al drenaje de las obras.

La estación de La Sagrera ocupa un área de aproximadamente 70,000 m<sup>2</sup> y ha requerido una excavación de 20 metros de profundidad. La elevación inicial del suelo se encuentra entre +14 y +16 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), y la posición natural del nivel freático se encuentra entre +2 y +4 m.s.n.m. El proceso de drenaje (dewatering) se lleva a cabo dentro de un recinto apantallado por pantallas de hormigón armado que llegan a una profundidad de -20 m.s.n.m. con el fin de cumplir con los requisitos estructurales y

reducir la extracción de agua y la subsidencia en el exterior de la obra. Las pantallas (**Fig.2**) están ancladas para soportar las vías férreas (que han sido desviadas y están activas durante todo el proceso). El fondo de la excavación se encuentra a -8 m.s.n.m., lo que requiere un descenso del nivel freático de aproximadamente de 12 m. La primera fase de excavación implicó la extracción del suelo no saturado (cuyo fondo se encuentra a +2 m.s.n.m.). La segunda fase se excavó el suelo saturado, desde +2 m.s.n.m. hasta -8 m.s.n.m. Hay 26 pozos (que llegan hasta -20 m.s.n.m.) y una red de 48 piezómetros (20 dentro y 28 fuera del área de excavación) con diferentes profundidades para ejecutar y controlar el proceso de drenaje de la excavación.

En el proceso de construcción de la estación, se llevaron a cabo una serie de actividades fundamentales que se resumen a continuación:

- Revisión y estudios geológicos e hidrogeológicos detallados del entorno de la estación: Se realizaron investigaciones exhaustivas para comprender en profundidad la geología y la hidrogeología de la zona circundante a la estación. (Vazquez-Suñé et al., 2016)
- Diseño y realización de numerosos ensayos hidráulicos para la parametrización hidráulica del terreno y para determinar el grado de estanqueidad de las pantallas construidas: Se ejecutaron ensayos hidráulicos específicos para caracterizar las propiedades hidráulicas del suelo y verificar la eficacia de las pantallas de contención. (Pujades et al., 2016)
- Diseño y seguimiento del drenaje (dewatering) de la estación: Esta fase implicó varios aspectos importantes, como el diseño detallado de la red de pozos de drenaje, la realización de ensayos para evaluar su eficiencia, el monitoreo

constante de los caudales de drenaje y un seguimiento riguroso (Pujades et al., 2014).

- Cuantificación de los impactos hidrogeológicos producidos por el drenaje: Se llevaron a cabo evaluaciones precisas de los efectos hidrogeológicos en diferentes etapas del proyecto. Esto incluyó la consideración de diversos efectos como: (1) efecto del drenaje (**Fig. 2**) durante la fase de excavación; (2) efecto barrera al flujo de las aguas subterráneas producido por las pantallas construidas (Pujades et al., 2012); y (3) la evaluación de las deformaciones y subsidencias en la obra y su entorno. La cuantificación de estos efectos se basó en la creación y uso de modelos hidrogeológicos y cálculos hidrogeomecánicos detallados (Pujades et al., 2014).
- Seguimiento (GB-SAR; In-SAR) de las deformaciones producidas por el dewatering: Se implementaron tecnologías de monitoreo avanzadas, como GB-SAR (**Fig .2**) e In-SAR, para registrar y analizar las deformaciones generadas por el proceso de drenaje. (Serrano-Juan et al., 2016 y 2017)
- Diseño de los elementos de mitigación de los impactos previstos (By-pass; losa de fondo drenante; etc.): Se desarrolló un diseño específico para los elementos destinados a mitigar los impactos previstos, incluyendo soluciones como sistemas de derivación (By-pass) y estructuras de losa de fondo drenante, entre otras. (Serrano-Juan et al., 2018)

Estas actividades formaron parte integral del proceso de construcción de la estación y fueron cruciales para garantizar la seguridad y la eficiencia de la obra, así como para minimizar los impactos en el entorno circundante.

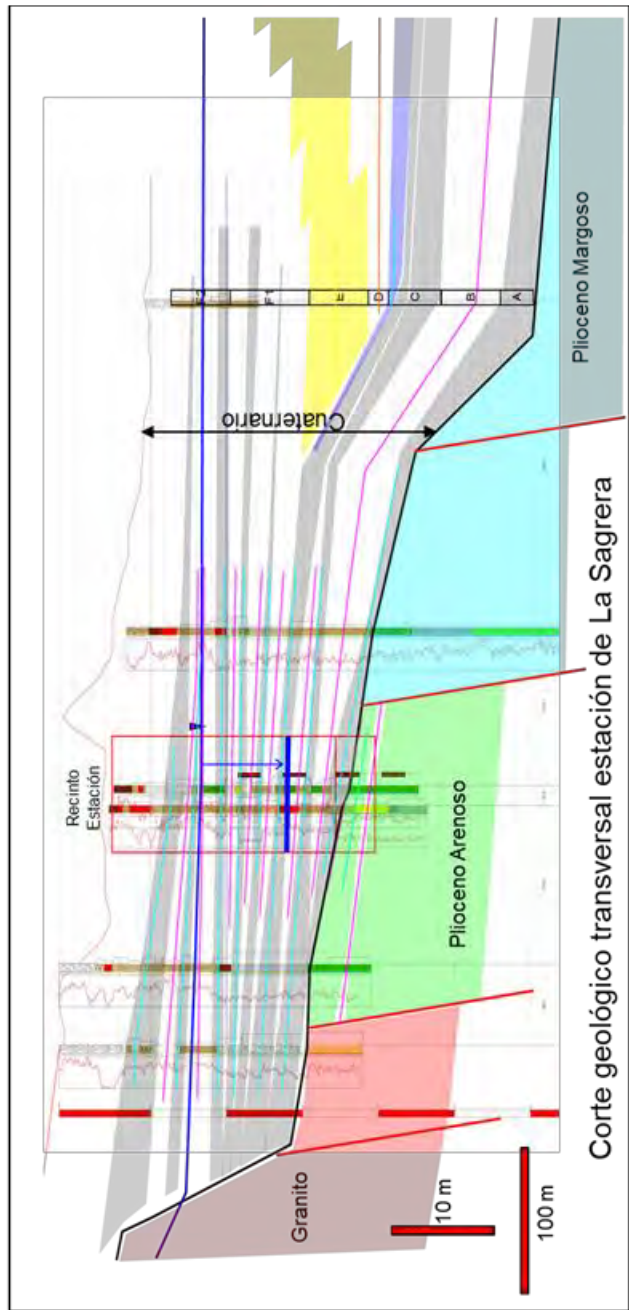
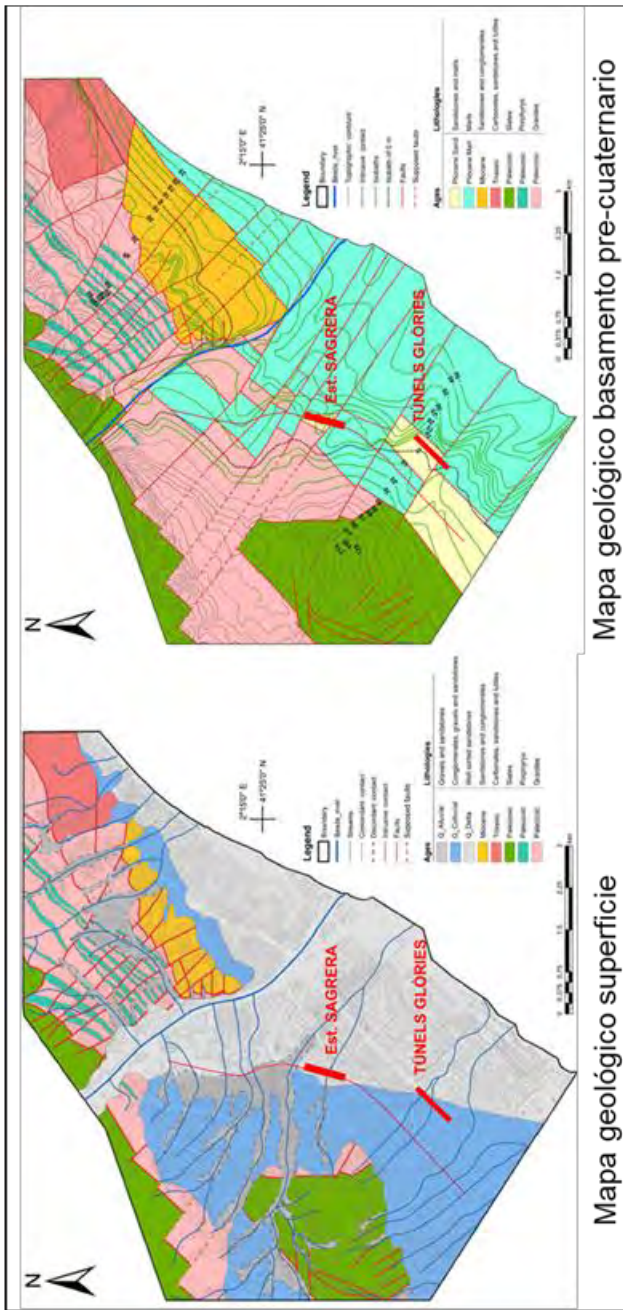
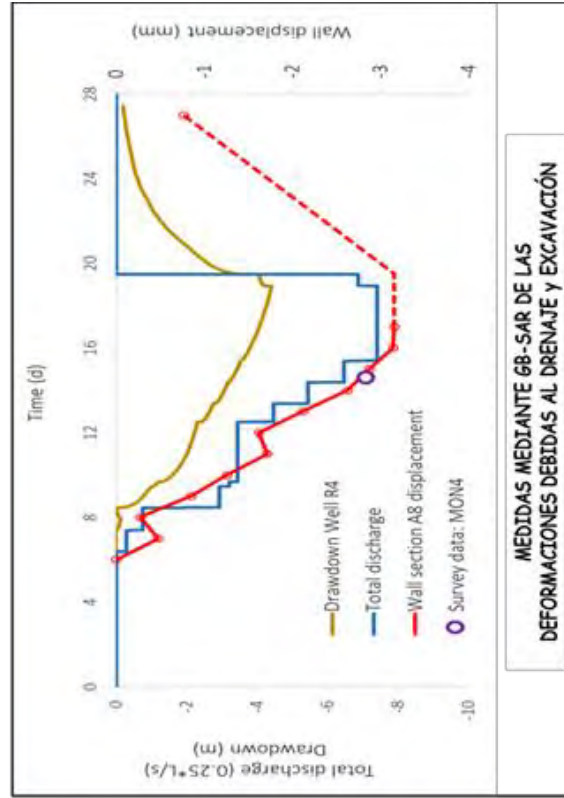
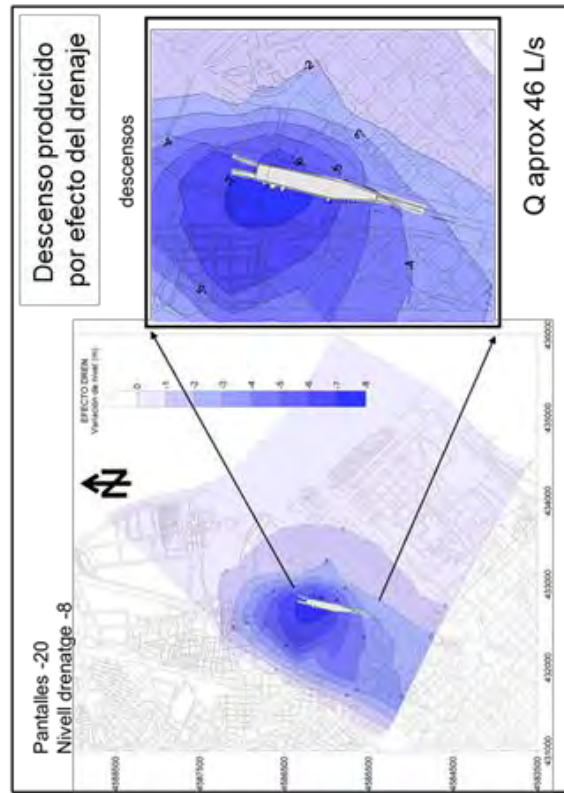


Figura 1. Mapas y cortes geológicos del entorno de la Estación de la Sagrera y de Plaça les Glòries.





MEDIDAS MEDIANTE GB-SAR DE LAS DEFORMACIONES DEBIDAS AL DRENAJE Y EXCAVACIÓN

Figura 2. Imágenes de la excavación de la Estación de la Sagrera y resultados de algunos de los trabajos de caracterización hidrogeológicos realizados.

## PARADA 2. PLAÇA DE LES GLÒRIES

La **primera particularidad** de Glòries (**Fig. 3**) es que se trata de un **nudo infraestructural** de primer orden en el que convergen, limitándonos a las principales infraestructuras subterráneas, tres túneles ferroviarios, un túnel de metro, una galería de servicios que incluye una línea eléctrica de media tensión y un colector principal de la red de alcantarillado. La existencia de estas infraestructuras requirió que los túneles viarios se construyeran por debajo de ellas (**Fig. 4**), a una **profundidad de hasta 30 metros** (la altura de un edificio de 10 plantas, aproximadamente). La ejecución de la obra requirió un rebaje del nivel freático de hasta 16 metros.

Con el objetivo de minimizar los impactos de una obra en su entorno, típicamente se intenta encerrar el recinto de obras entre muros subterráneos, llamados pantallas. Pues bien, una **segunda particularidad** de Glòries es

que la existencia de los túneles ferroviarios y de metro que cruzan los túneles viarios por encima, impidió poder cerrar el recinto de obras con pantallas y dejó **grandes aperturas** por las que el agua subterránea podía entrar sin obstáculos. Ambas particularidades hicieron que Glòries requiriera un **drenaje de gran magnitud**: unos 150 L/s en estacionario, equivalentes al consumo de 118.000 habitantes de la conurbación de Barcelona, aproximadamente toda la población de Santa Coloma de Gramenet, por ejemplo. En consecuencia, con la magnitud del drenaje, también la red de control fue particularmente extensa: 68 piezómetros perforados por las obras para el monitoreo del nivel freático en ellas y sus inmediaciones, que se complementaron con 58 piezómetros más de la red de control del ayuntamiento de Barcelona en el distrito del Poblenou.



Figura 3. Construcción de los túneles viarios de la Plaça de les Glòries Catalanes en Barcelona, a lo largo de la Gran Via de les Corts Catalanes entre las calles Castillejos y Sant Joan de Malta. Mayo de 2019. Créditos: BIMSA, Ajuntament de Barcelona



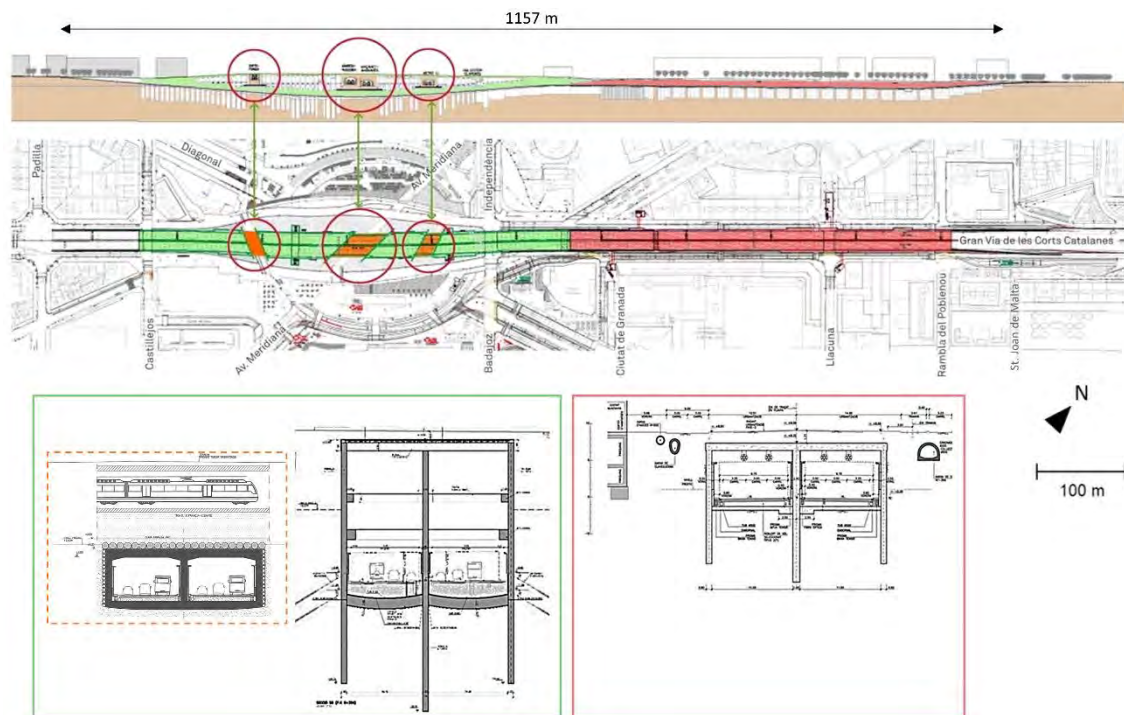


Figura 4. Planos de los túneles viarios de Glòries. Planta y secciones tipo. Créditos: BIMSA, Ajuntament de Barcelona; IDAEA-CSIC.

Uno de los impactos asociados al rebaje del nivel freático es la compactación del terreno, que conlleva asientos en superficie. Dichos asientos serán tan mayores como mayor sea el rebaje. Si estos asientos son uniformes en el espacio, es decir, si “todo baja por igual”, probablemente no causarán ningún daño en las estructuras situadas encima. Sin embargo, si los asientos no son uniformes, el drenaje podría causar daños estructurales, por ejemplo, en edificios de viviendas del entorno. Pues bien, ésta es la **tercera particularidad** de Glòries: la obra se sitúa al límite entre el delta del río Besòs y el llano de Barcelona. Puesto que el primero contiene capas geológicas de grano fino más deformables que los coluviones parcialmente cementados del segundo, **la deformabilidad del terreno cambia** de una zona a otra, lo que causaría

que los **asientos no fueran uniformes**. Y a ello se le suma una **cuarta particularidad** del caso de Glòries: la **gran debilidad estructural de los túneles** ferroviarios debida a su antigüedad y su historia constructiva (**Fig. 5**). Esta debilidad estructural **redujo la magnitud de los asientos máximos admisibles**, aún más de la ya baja tolerancia de las infraestructuras ferroviarias. En este sentido, la adecuada previsión de los impactos que causarían las obras y su correcto monitoreo permitió detectar que las deformaciones de los túneles ferroviarios se estaban acercando a los límites admisibles, lo que permitió realizar tareas extras de refuerzo de estos túneles y proseguir las obras sin problemas, y todo ello sin interrumpir la circulación de trenes por los túneles.



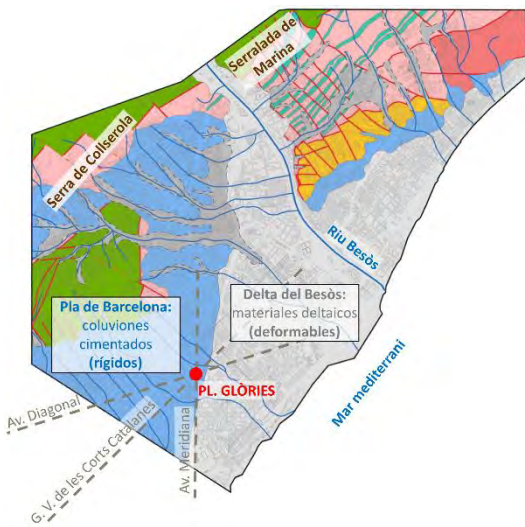


Figura 5. Izquierda: mapa geológico del cuaternario en la zona norte de Barcelona. Créditos: IDAEA-CSIC. Derecha: obras de refuerzo del túnel de la L1 de metro. Créditos: IDAEA-CSIC.

Justamente, también en el monitoreo de los asentamientos, Glòries presenta una **quinta particularidad**: como cualquier otra obra civil, Glòries monitoreó los asentamientos del terreno en el entorno de las obras mediante nivelación topográfica, pero además fue quizás la primera obra civil que incluyó en su plan de auscultación el monitoreo de los asentamientos mediante interferometría diferencial con radar de apertura sintética (**D-InSAR**), una tecnología que permite medir desde satélite y con una precisión sub-centimétrica los desplazamientos de la superficie observada (Botey i Bassols et al, 2021), bien sea el terreno o cualquier estructura existente sobre él (**Fig. 6**).

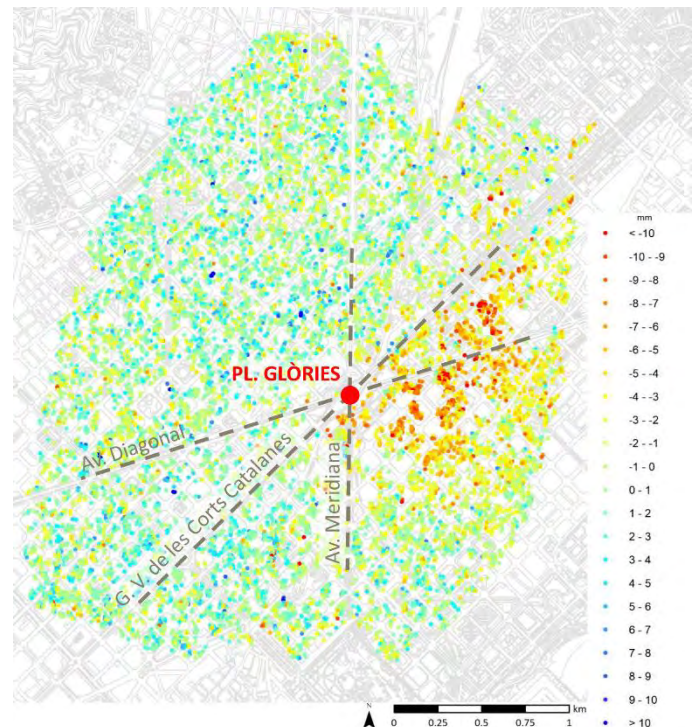


Figura 6. Asentamientos de la superficie medidos entre el 02/04/2018 y el 23/08/2018 mediante D-InSAR. Unidades: milímetros (mm). Créditos: IDAEA-CSIC; CTTC.

Finalmente, otro impacto del drenaje de aguas subterráneas en caso de realizarse cerca del mar es la intrusión marina, es decir, la captación de agua salina del mar, que penetra en el acuífero y lo saliniza. Ésta es una **sexta particularidad** de Glòries: se sitúa a **unos dos kilómetros de la costa**, en un entorno en el que los acuíferos han sufrido históricamente una gran presión por su intensa explotación. Estos antecedentes ya habían provocado una **intrusión marina** significativa en el Poblenou (**Fig. 7**), preexistente a las obras de Glòries, pero la gran magnitud del drenaje de éstas hizo prever un avance de la cuña salina tierra adentro. En efecto, el frente salino llegó a avanzar unos 300 metros. Afortunadamente, en su debido tiempo se habían hecho los deberes y se había previsto la instalación de un colector hasta mar para poder verter el agua drenada, que por su salinidad no se hubiera podido verter a

la alcantarilla.

Afortunadamente, **las previsiones** realizadas por el IDAEA-CSIC **se cumplieron** con gran exactitud, tanto respecto a los caudales de drenaje, como a la duración de los periodos de transitorio, al radio afectado por el rebaje del nivel freático o a la progresión de la intrusión marina. Pocos meses después de la finalización de las obras, el nivel freático había recuperado la cota previa al drenaje de las obras, los asientos se habían revertido por completo y el frente de intrusión marina empezaba a retroceder. Pese a su gran complejidad, **las obras pudieron completarse sin causar daños** relevantes a su entorno, y la puesta en servicio de los túneles viarios ha liberado una extensión de ni más ni menos que 15 hectáreas en las que se está construyendo un **gran parque urbano**, llamado la Canòpia.

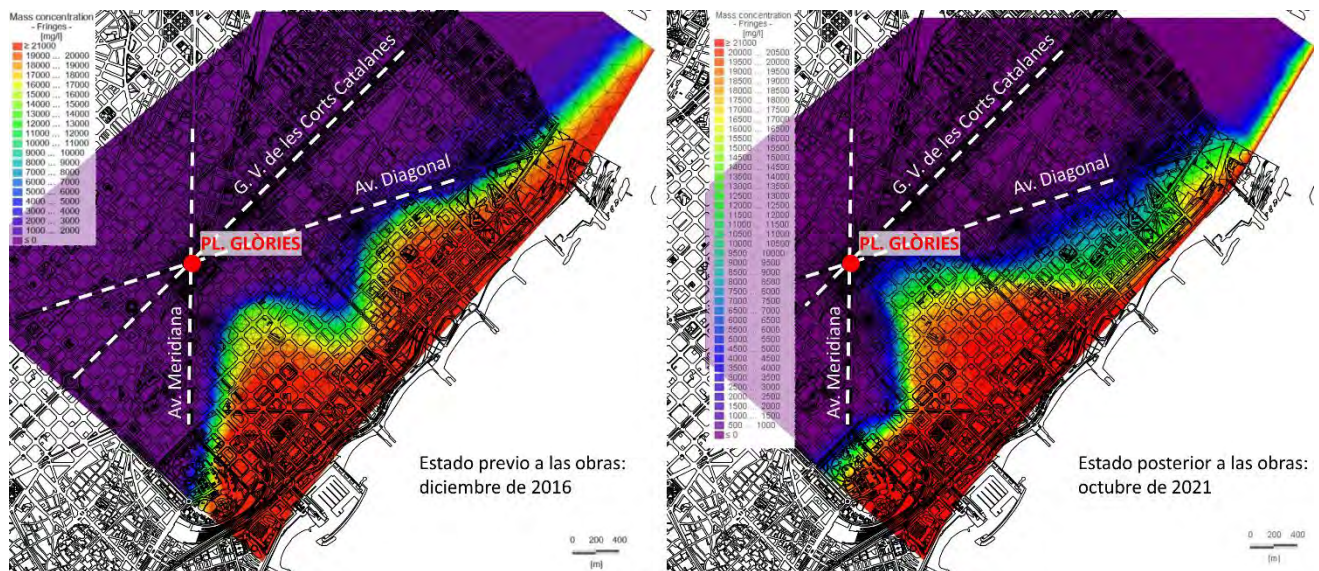


Figura 7. Mapas de salinidad del acuífero superior del delta del río Besòs. Modelo numérico. Unidades: miligramos de cloruros por litro (mg/L). Créditos: IDAEA-CSIC.



El parque de la Canòpia Urbana (**Fig. 8**) está concebido como un **proyecto multicapa** que persigue varios objetivos que se superponen:

- **Recoser la trama urbana:** corregir la interrupción que habían causado las grandes infraestructuras viarias en superficie, dando continuidad a los principales itinerarios e integrando un gran intercambiador modal del transporte público:
  - > Itinerarios: corredor de la Sagrera, avenidas de la Meridiana y la Diagonal, y Gran Via de les Corts Catalanes.
  - > Medios de transporte: metro, tranvía, autobús y servicio municipal de bicicletas compartidas (Bicing).

- **Combatir la falta de grandes parques y espacios de socialización,** mediante la creación de los llamados “macro-nodos” e itinerarios de deambulación que los unan. Se trata de nodos de actividad tales como zonas de deporte, juegos o descanso, o espacios polivalentes para la organización de eventos.
- **Combatir la fragmentación de espacios verdes y naturales,** en el marco de una estrategia más amplia incluida ya en los planes urbanísticos del Área Metropolitana de Barcelona, dando continuidad a los corredores ecológicos mediante los llamados “micro-nodos” o “perlas”. Se trata de pequeños espacios disseminados por todo el parque, inaccesibles al público y pensados para convertirse en refugios que refuercen la biodiversidad, creando ambientes secos, semi-secos y húmedos.

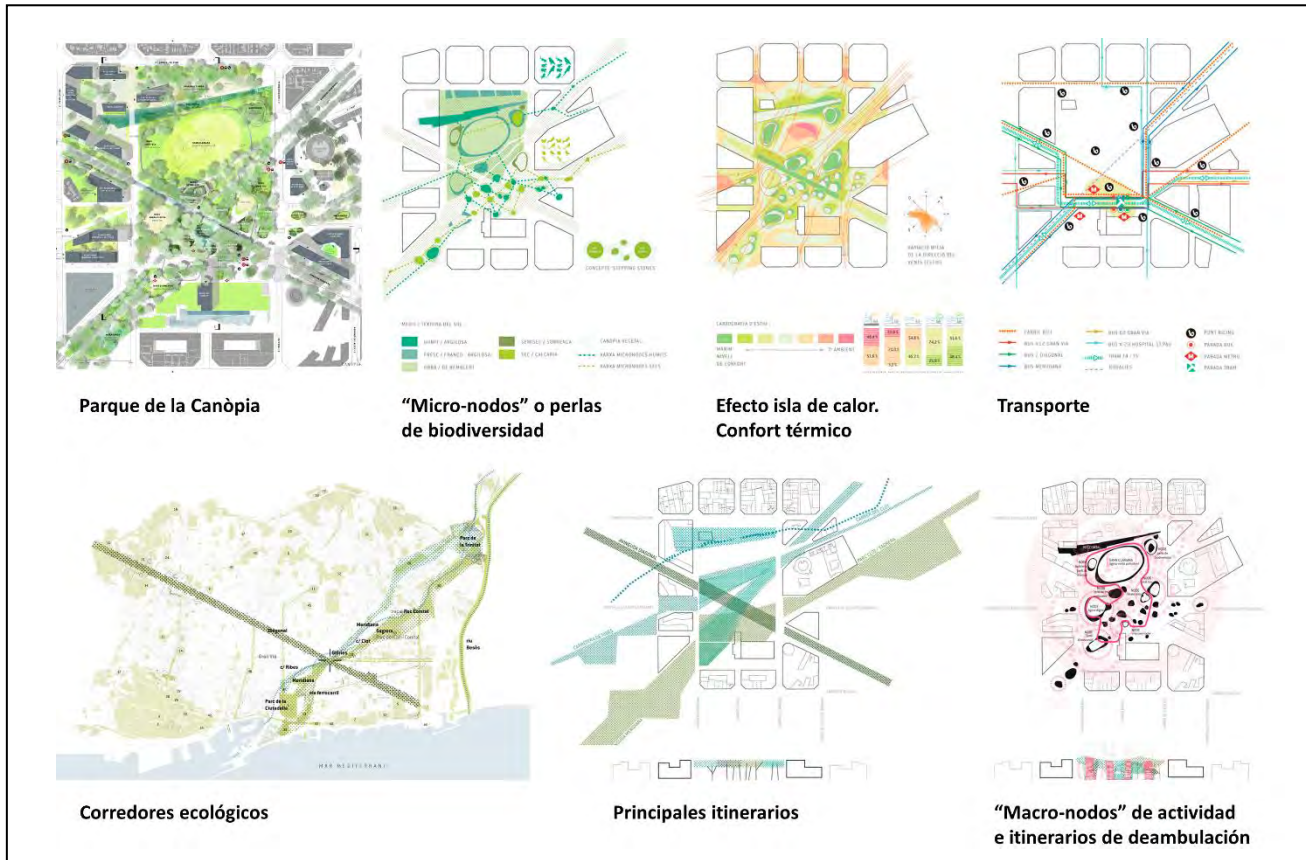


Figura 8. Concepto multicapa del parque de la Canòpia. Créditos: UTE Agence Ter & Ana Coello de Llobet.



- > Corredor ecológico Collserola — mar: conexión de la sierra de Collserola desde Trinitat hasta el mar en el parque de la Ciutadella a través de la carretera de Ribes, el Rec Comtal y el corredor de la Sagrera.
- > Corredor ecológico Llobregat — Besòs: conexión del parque agrario del delta del río Llobregat con el parque fluvial del río Besòs a través de la avenida Diagonal.
- **Combatir el efecto isla de calor**, mediante la cobertura de gran parte del parque con vegetación.
- **Mejora de la eficiencia en la gestión del agua** mediante el uso de infraestructuras azul-verdes, construidas ligeramente por debajo del nivel del suelo, vegetadas (soluciones basadas en la naturaleza, *Nature based solutions*), y rellenas de sustrato drenante (en su mayoría formado por arenas y gravas). Estas permiten una óptima captura, tratamiento, y posterior recarga de las aguas pluviales (p.ej., escorrentía). Favoreciendo la recuperación del ciclo natural del agua en entornos urbanos, altamente alterado debido a procesos de urbanización (superficies impermeables).

Los sistemas de drenaje sostenible (también llamados *best management practices*, BMP; *low-impact development*, LID; *water-sensitive urban design*, WSUD) en la plaça de les Glòries Catalanes consisten un conjunto de técnicas y prácticas diseñadas para gestionar y controlar el drenaje de aguas superficiales en áreas urbanas de una manera sostenible (**Fig. 9**). Su principal misión es la laminación del agua superficial (escorrentía) en episodios de lluvia, minimizando los riesgos de inundaciones. Aunque en general son términos que se usan indistintamente, la infraestructura azul-verde tiene un alcance más amplio que las técnicas de SUDS, puesto que abarca una red

estratégicamente planificada de áreas naturales y seminaturales con otras características ambientales, diseñada y gestionada para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos, al tiempo que mejora la biodiversidad.



Figura 9. Jardín de lluvia de la Plaça de les Glòries Catalanes en Barcelona. Créditos: IDAEA-CSIC

Por lo tanto, la infraestructura azul-verde está diseñada para gestionar el agua de escorrentía, pero presenta co-beneficios muy interesantes como mejora de la calidad del aire y del agua, reducción del efecto isla de calor urbano, valorización del terreno, aumento de la biodiversidad y provisión de espacios recreativos para las personas en entornos urbanos. Finalmente, la infraestructura azul-verde se alinea con múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas debido a su impacto positivo en diversos aspectos ambientales y socioeconómicos. Los SUDS permiten avanzar hacia el logro de el ODS6 (Agua limpia y saneamiento), OSD11 (Ciudades y comunidades seguras, resilientes, y sostenibles), ODS 13 (Acción por el Clima).

## PARA SABER MÁS....

Sanz, P., 1988. El pla de Barcelona: Constitució i característiques físiques (Coneguem Catalunya) (Catalan Edition).

Vázquez-Suñé, E., X. Sánchez Vila y J. Carrera (2005). Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. *HYDROGEOLOGY JOURNAL* 13:522-533. doi:10.1007/s10040-004-0360-2

Pujades, E.; A. López; J. Carrera; E. Vázquez-Suñé; A. Jurado (2012). Barrier effect of underground structures on aquifers. *ENGINEERING GEOLOGY* 145-146 (2012) 41–49. Doi:10.1016/j.enggeo.2012.07.004

Pujades, E., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Jurado, A., (2014). Dewatering of a deep excavation undertaken in a layered soil. *ENGINEERING GEOLOGY* 178 (2014) 15–27, doi: 10.1016/j.enggeo.2014.06.007 ç

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), 2015. Barcelona Sagrera Alta Velocitat. Informe técnico.

Pujades, E.; A. Jurado, J. Carrera, E. Vázquez-Suñé, A. Dassargues (2016). Hydrogeological assessment of non-linear underground enclosures. *ENGINEERING GEOLOGY* 207 (2016) 91–102. Doi: 10.1016/j.enggeo.2016.04.012.

Vázquez-Suñé, E.; M.A. Marazuela, V. Velasco, M. Diviu, A. Pérez-Estaún, J. Álvarez-Marrón (2016). A geological model for the management of subsurface data in the urban environment of Barcelona and surrounding

area. *SOLID EARTH*, 7, 1317-1329, doi:10.5194/se-7-1317-2016, 2016.

Serrano-Juan, A., Vázquez-Suñé, E., Monserrat, O., Crosetto, M., Hoffmann, C., Ledesma, A., Criollo, R., Pujades, E., Velasco, V., Garcia-Gil, A., Garcia-Alcaraz, M. (2016) GB-SAR interferometry displacement measurements during dewatering in construction works. Case of la sagrera railway station in Barcelona, Spain. *ENGINEERING GEOLOGY* 205 (2016) 104–115, doi: 10.1016/j.enggeo.2016.02.014

Serrano-Juan, A., Pujades, E., Vázquez-Suñé, E., Crosetto, M. and M. Cuevas-González (2017) Levelling vs. InSAR in urban underground construction monitoring: pros and cons. Case of La Sagrera railway station (Barcelona, Spain). *ENGINEERING GEOLOGY* 218 (2017) 1–11 doi:10.1016/j.enggeo.2016.12.016

BCASA (2017). Elaboración nuevo modelo hidrogeológico y Plan de Gestión de Recursos Hídricos Alternativos de Barcelona (PLARHAB) (BCASA). Ayuntamiento de Barcelona.

Serrano-Juan, E. Pujades, E. Vázquez-Suñé, V. Velasco, R. Criollo, A. Jurado. (2018) Integration of groundwater by-pass facilities in the bottom slab design for large underground structures. *TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY* 71 (2018) 231–243, doi: 10.1016/j.tust.2017.07.020

Botey-Bassols, J.; E. Vázquez-Suñé, M. Crosetto, A. Barra, P. Gerard (2021) D-InSAR monitoring of ground deformation related to the dewatering of construction sites. A case study of Glòries Square, Barcelona, *ENGINEERING GEOLOGY* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106041>

# AGRADECIMIENTOS



**Ajuntament  
de Barcelona**  
BIMSA, Barcelona  
d'Infraestructures Municipals



**Ajuntament  
de Barcelona** | Barcelona  
Cicle de  
l'Aigua SA



barcelona  
**sagrera**  
alta velocitat

## MÁSTER EN HIDROGEOLOGÍA Y MODELACIÓN



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Facultat de Ciències  
de la Terra



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

idaea

EXCELENCIA  
SÉVERO  
OCHOA



## NOTAS

## NOTAS

# HIDROGEODÍA 2023





SÁBADO 25 DE  
MARZO DE 2023

PARA MÁS  
INFORMACIÓN  
CONSULTE  
[UBU.ES/UBUVERDE](http://UBU.ES/UBUVERDE)

EXCURSIÓN AMBIENTAL: AGUAS  
SUBTERRÁNEAS, ACUÍFEROS Y  
MEDIO AMBIENTE EN LA  
PROVINCIA DE BURGOS

  El Congreso de Tetragéona  
Hidrogeológica A&E: Hidrogeología 2023 

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



# HIDROGE<sup>5</sup>DÍA 2023 CÁCERES



## El agua en Aldeanueva de la Vera: recorrido por sus fuentes y exposición de su red de acequias

**Excursión guiada en Aldeanueva de la Vera (Cáceres)**

**Sábado, 25 de marzo 2023, 11 am**

**Encuentro: Piscina natural (Aldeanueva de la Vera)**

**No es necesario realizar inscripción**

**+ info: [agextremadura@gmail.com](mailto:agextremadura@gmail.com) / +34 644 181 653**

**Organizan**



II Concurso de Fotografía  
Hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023



**DÍA  
MUNDIAL  
DEL AGUA**

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



¡PARTICIPA!

## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Cáceres, el **Hidrogeodía 2023** se celebra el **25 de marzo** en el municipio de **Aldeanueva de la Vera**. Se llevará a cabo una visita guiada por las fuentes de agua el municipio y, posteriormente se realizará una charla-coloquio para presentar las técnicas tradicionales de regadío, su relación con el manejo de las acequias de alta montaña que se distribuyen a lo largo de la orografía de la Comarca de la Vera, y también se pretende poner en valor el beneficio hidrogeológico que suponen.

## CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro es la piscina natural de San Gregorio, en el municipio de Aldeanueva de la Vera (**Ilustración I**).



*Ilustración I: Punto de encuentro: Piscina natural de San Gregorio.*

La excursión parte desde el punto de encuentro y se realiza una ruta a diferentes fuentes de agua distribuidas en el pueblo. Esta parte de la jornada se apoya con las explicaciones de vecinos locales.

La siguiente parte de la excursión se lleva a cabo en el salón de actos de la biblioteca municipal, dónde se lleva a cabo una charla-coloquio por parte de miembros de la Comunidad de Regantes “Ocho Caños” y de la Asociación Geológica de Extremadura.

La duración aproximada de la jornada es de 3h, y no plantea ninguna dificultad para su seguimiento.

## ALDEANUEVA DE LA VERA Y SUS FUENTES

Históricamente las fuentes de agua han determinado el emplazamiento de los asentamientos humanos sobre el territorio. En Aldeanueva de la Vera el mejor ejemplo es la Fuente de los ocho caños (**Ilustración 2**). El origen ganadero del municipio en torno a dicha fuente, debido a su notable abundancia, lo avala.

En otros casos, como la Fuente de San Miguel o Fuente del boticario, su nacimiento se ubica muy cerca del casco urbano y han sido canalizadas para su uso hasta el lugar en que ahora se localizan.

Con la instalación del abastecimiento de agua a las viviendas a finales de los años 60, el uso de las fuentes lógicamente ha perdido importancia, no así su valor como testimonio histórico del municipio.

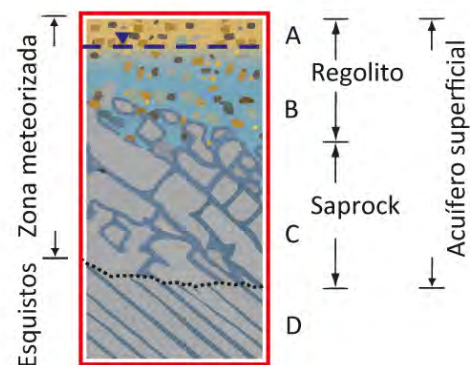


*Ilustración 2. Fuente de los ocho caños.*

## PRINCIPALES RASGOS HIDROGEOLÓGICOS DE LA SIERRA DE GREDOS

La Comarca de la Vera se enmarca dentro de los [relieves graníticos de la Sierra de Gredos](#). Desde el punto de vista hidrogeológico, a los granitos se les conoce como materiales con una muy baja porosidad, lo que les confiere una muy reducida capacidad para permitir la circulación de agua en su interior y la posibilidad de su almacenamiento.

No obstante, debido a la influencia de determinadas condiciones ambientales que favorecen la meteorización, los granitos que afloran en superficie son capaces de desarrollar cierto grado de alteración, lo cual les dota de un incremento de sus propiedades hidráulicas: aumento de porosidad y permeabilidad y, por tanto, pueden llegar a constituir acuíferos superficiales de grandes extensiones (**Ilustración 3**).



- A = Cubierta edáfica con limos y arcillas
- B = Saprolito
- C = Saprock
- D = Roca madre
- ↕ Nivel freático

*Ilustración 3. Esquema conceptual de un acuífero superficial (Ejemplo de Sierra Nevada).*

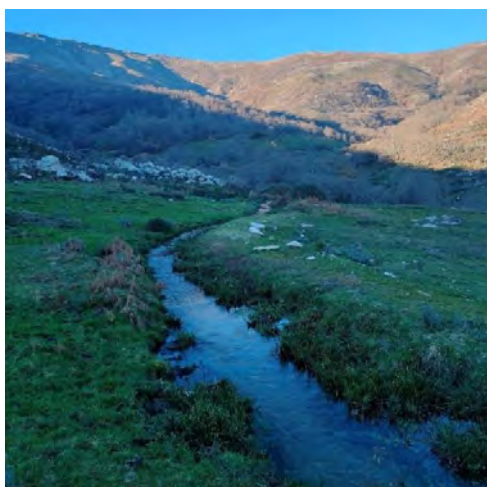


## BREVE INTRODUCCIÓN A LOS REGADÍOS HISTÓRICOS

Las técnicas de regadío utilizadas en la Comarca de la Vera existen desde época medieval, mucho antes de la existencia de cualquier tipo de sistemas de almacenamiento artificial de agua, o de la implantación de algún tipo de plan de regadío estatal.

El regadío posee valiosos valores agropecuarios, culturales, sociales y ambientales. Sin embargo, corre el riesgo de desaparecer debido a diversos factores como el éxodo rural, la fuerte competencia de sus productos en el mercado o del desinterés por parte de las administraciones.

En la Vera se han utilizado históricamente las acequias (localmente denominadas pesqueras) como excavaciones en el terreno a través de las cuales se conduce el agua desde el curso natural del río hacia las explotaciones agrícolas y ganaderas. Este hacer, indirectamente ha favorecido la recarga natural de agua en el medio subterráneo de las cuencas hidrográficas, potenciando así la disponibilidad de agua (**Ilustración 4**).



*Ilustración 4. Reguera de Las Lanchas.*

## ¿SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA?

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza ([SBN](#)) consisten en acciones que toman como referencia los principios de la naturaleza para afrontar cuestiones relevantes para la sociedad, tan diversas como la gestión territorial o la adaptación al cambio climático.

En esta jornada queremos mostrar desde un punto de vista científico, pero a su vez divulgativo, a las técnicas de Siembras y Cosecha del Agua, actualmente bien caracterizadas y estudiadas tanto en la región andina como en el Parque Nacional de Sierra Nevada, pero que se encuentran en un estado inicial de investigación en la región de Extremadura.

## ¿SIEMBRA Y COSECHA DEL AGUA?

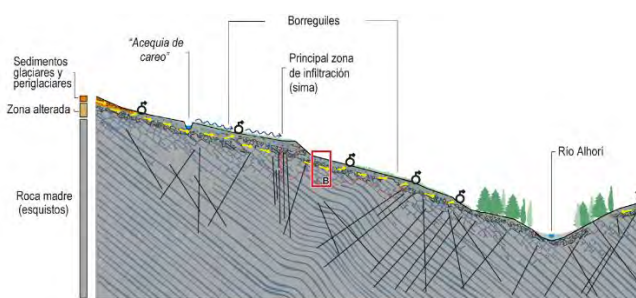
La [siembra y cosecha del agua](#) hace referencia a ciertas técnicas realizadas en relieves montañosos a lo largo de la historia para el aprovechamiento del agua.

Las [acequias de careo](#) consisten en canales sin revestir excavados en el terreno de relieves montañosos, con el propósito de recoger el agua que se genera en los episodios de lluvia y durante el deshielo. La circulación del agua por estos canales favorece que esta se infiltre en el terreno debido a que aumenta su tiempo de permanencia en la cuenca (**Ilustración 5**).



**Ilustración 5. Regueras en el área de Aldeanueva de la Vera.**

El desfase de tiempo entre la “siembra” y la “cosecha”, meses después, se debe a la lenta velocidad de circulación que experimenta el agua cuando circula por el subsuelo. Esto permite que los manantiales y los cursos fluviales situados aguas debajo de los tramos de acequias mantengan un caudal prácticamente constante a lo largo de todo el año, algo especialmente importante durante la época de estiaje (**Ilustración 6**).



**Ilustración 6. Esquema conceptual del funcionamiento de la siembra y cosecha del agua en Sierra Nevada.**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Comunidad de Regantes “Ocho Caños” por su gran implicación con la planificación de la jornada, a Faustino Martín por su disposición para hacer de guía por las fuentes del municipio, y al Ayuntamiento de Aldeanueva de la Vera por ceder los espacios municipales para la realización de la charla-coloquio.

## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE CÁCERES

La realización de la actividad no lleva asociada ninguna dificultad en cuanto a movilidad.

Cabe indicar que la Organización no se hace responsable de posibles percances que puedan surgir durante la jornada.

## COLABORADORES HIDROGEODÍA CÁCERES 2023

Noemí Huertas Nogales

Edison Steven Morales Sotaminga

José Antonio Jiménez Macías

Jesús Valleros Vergara

Francisco Fernández de la Llave

Juan José Tejado Ramos

Eduardo Rebollada Casado

## PARA SABER MÁS

Esta guía ha sido especialmente diseñada para su lectura mediante dispositivos electrónicos, ya que a lo largo del texto hay diversas referencias que se enlazan directamente con recursos web.

A continuación, se presenta bibliografía que ha servido de apoyo para realizar esta guía y que es útil para profundizar en los temas expuestos durante la jornada.

De Pedraza, J., López Martínez, J., 1980. Gredos: Geología y Glaciarismo. Trazo Editorial.

Martos Rosillo, S., Durán, J.J. (Eds.) 2022. Siembra y Cosecha de Agua en Iberoamérica. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

Martos Rosillo S., Durán, A., Castro, M., Vélez J.J., Herrera, G., Marín-Civantos, J.M., Materos, L., Durán, J.J., González-Ramón, A., Ruiz Constán, A., Jódar, J., Marín-Lechado, C., Gutiérrez, C., Hermoza, R.M., Bardales, J.D., Peña, F., 2020. La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica: un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza. ICOG.

Martos Rosillo, S., González Ramón, A., Ruiz Constán, A., Marín Lechado, C., Guardiola Albert, C., Moral Martos, F., Jódar, J., Pedrera Parias, A., 2019. El manejo del agua en las cuencas de alta montaña del Parque Nacional de Sierra Nevada (sur de España). Un ejemplo ancestral de Gestión Integral del Agua. Boletín Geológico y Minero.





**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Instituto Geológico  
y Minero de España



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español

**HIDROGE 5 DÍA**  
**2023 CASTELLÓN**

# Las aguas subterráneas en "Els Estanys d'Almenara"

25 de marzo de 2023

**EXCURSIÓN GRATUITA** (plazas limitadas)

**INSCRIPCIÓN:** [ja.dominguez@igme.es](mailto:ja.dominguez@igme.es)

**MÁS INFORMACIÓN:** [www.aih-ge.org](http://www.aih-ge.org)

**PUNTO DE ENCUENTRO:** parking frente al bar "Els Estanys"

**HORA DE INICIO:** 10.00 h

**HORA ESTIMADA FINALIZACIÓN:** 13.00 h





## 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 hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Castelló, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en el entorno del **Paraje Natural de “Els Estanys d’Almenara”** (Foto 1).



Foto 1: vista de una de las láminas de agua del humedal.

El hilo argumental de la visita lo constituyen las aguas subterráneas de esta zona, y concretamente varios de los “ullals” que originan “Els Estanys” (los estanques), así como la infraestructura vinculada (canales de drenaje y sus compuertas, sondeos, etc.).

## CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro se sitúa en el **aparcamiento del Paraje Natural, frente al bar “Els Estanys”**.

Se accede desde la **CV-2310** que une Almenara con el casco urbano de Barrio Mar en la playa. A la altura del **p.k. 1,7** se sitúa, a mano derecha en sentido la costa, la entrada a la zona de estacionamiento para los visitantes de este espacio natural (Foto 2 y Figura 1).



Foto 2: Punto de acceso al estacionamiento del Paraje Natural.

Se ruega **puntualidad**.

La **hora de inicio será a las 10.00 de la mañana** del día 25 de marzo de 2023, siendo la duración aproximada de la visita de unas **3 horas**.



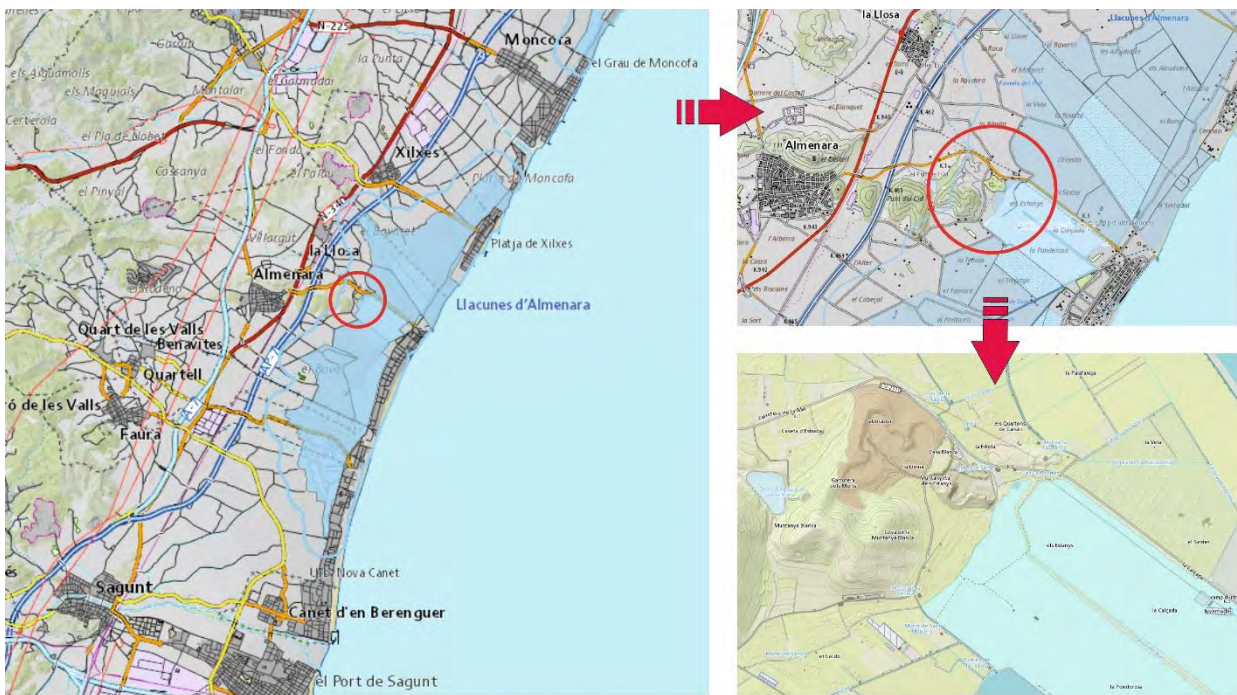


Figura 1: Accesos al paraje natural y ubicación del punto de encuentro



## 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](mailto: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, que es circular**, (el mapa del recorrido se adjunta en la última página de esta guía), consta de **6 paradas** y presenta **baja dificultad**, ya que es prácticamente llano y tiene una longitud total de apenas 2 km.



Foto 3: imagen de la zona húmeda.

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, gorra y calzado apropiados**. De igual forma, al estar en un entorno agrícola y una zona de humedal donde existen numerosos canales, zanjas de riego, manantiales y láminas de agua (Fotos 3 y 4), es frecuente la presencia de insectos (mosquitos especialmente), por lo que se recomienda usar algún tipo de protección o repelente.



Foto 4: Vista de una de las acequias de riego de la zona.

Aunque el recorrido no es excesivamente largo y existen fuentes en el entorno, además de un bar, conviene **llevar algo de comida y bebida**.

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

## ¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

Es aquella parte de la hidrología 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

Se recibe a los visitantes en la explanada frente al bar “Els Estanys”, donde se realiza una introducción al HIDROGEOLOGÍA y se explica brevemente el recorrido y los objetivos de esta jornada divulgativa.

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

### Parada 1: Morfologías kársticas en rocas carbonatadas

- Concepto de acuífero
- Formaciones permeables e impermeables
- Encuadre hidrogeológico
- Mapa geológico
- Morfologías kársticas

### Parada 2: Sedimentación y estratificación

- Formación de rocas sedimentarias

- Estratificación

### Parada 3: Pozos y sondeos

- La explotación de las aguas subterráneas
- Nivel freático

### Parada 4: Las aguas subterráneas

- La importancia de las aguas subterráneas
- Ejemplos de su uso: agricultura, industria, abastecimiento urbano, etc.

### Parada 5: “Ullal de Cavanilles”

- Manantial
- Nivel freático (medida)
- Muestreo de agua subterránea
- Caracterización físico-química de las aguas
- Las aguas embotelladas

### Parada 6: El marjal de Almenara

- La formación del marjal
- Hidrodinámica de las zonas húmedas costeras

Se adjunta plano del recorrido al final de esta guía



Foto 5: imagen de la zona húmeda.



## PARADA 1: ACUÍFERO MORFOLOGÍAS KÁRSTICAS

En primer lugar, hemos de comprender de forma sencilla el concepto de **acuífero**, que no es más que un recipiente, depósito, recinto o almacén de agua bajo tierra, constituido por materiales (rocas) permeables y delimitado, al menos en su base, por otros materiales de naturaleza impermeable.

**Los acuíferos son depósitos subterráneos donde se almacena agua (agua subterránea).**

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 o que aporta gran parte de las aguas de los “Estans” es el denominado acuífero del Salto del Caballo, incluido en el Recinto Hidrogeológico de Azuébar-Vall d’Uixó, al sureste de la sierra de Espadán.



Figura 2: Ámbito geográfico y geológico del Recinto Hidrogeológico de Azuébar-Vall d’Uixó.



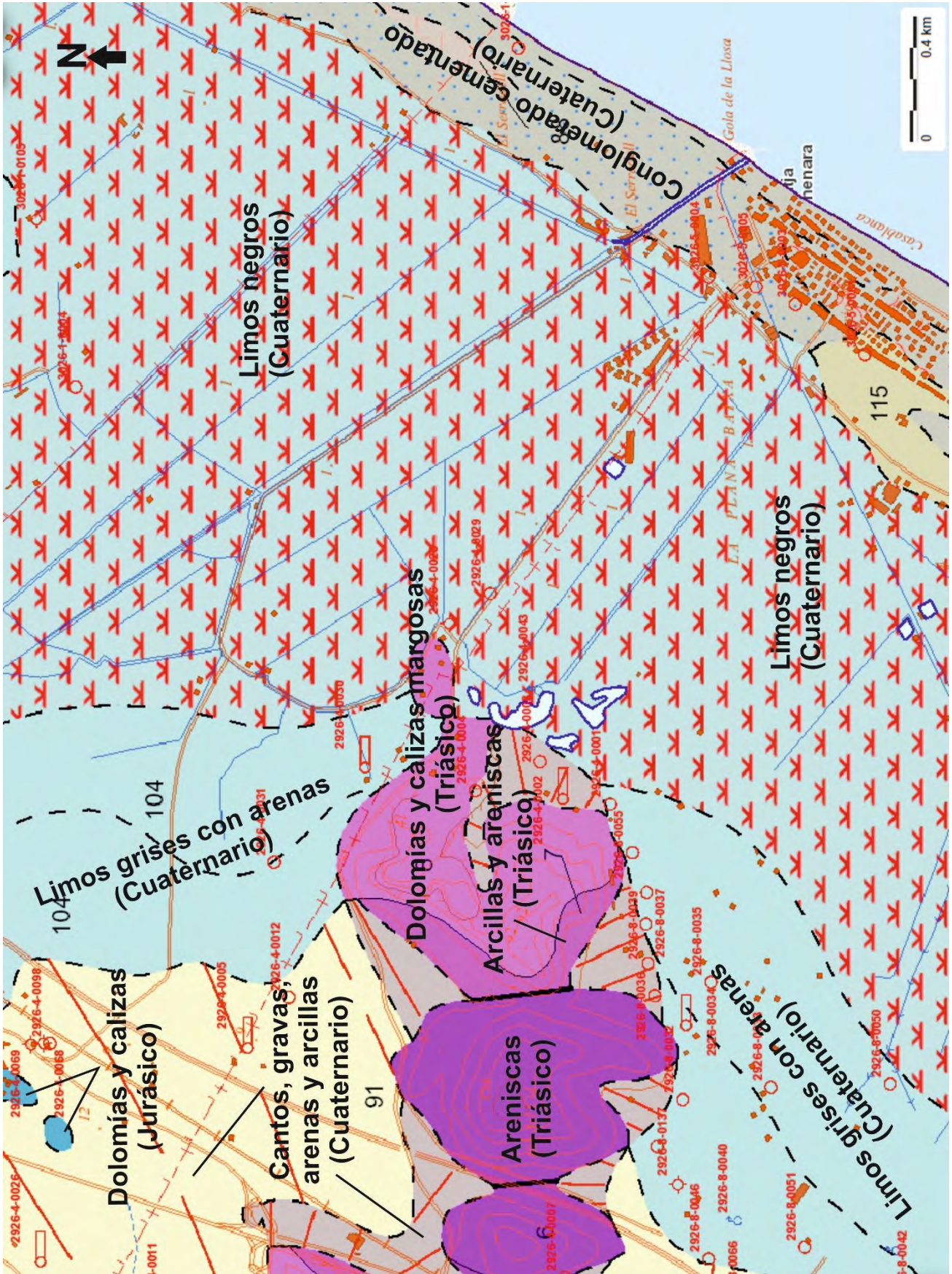


Figura 3: Mapa geológico de la zona de los "Estany d'Almenara".



En esta primera parada (Fotos 6 y 7) nos situamos en la cara norte de la “Muntanyeta dels Estanys”, donde podemos observar un afloramiento de rocas carbonatadas (dolomías y calizas) de edad triásica (formadas hace entre 247 y 237 Ma.)

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 y 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.

Foto 6: afloramiento de rocas carbonatadas en la cara norte de la Muntanyeta dels Estanys.



Fotomontaje 7: formaciones kársticas en la Muntanyeta dels Estanys



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 lapiazes (Figura 4).

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... (Figura 5).



Figura 4: Modelado kárstico.

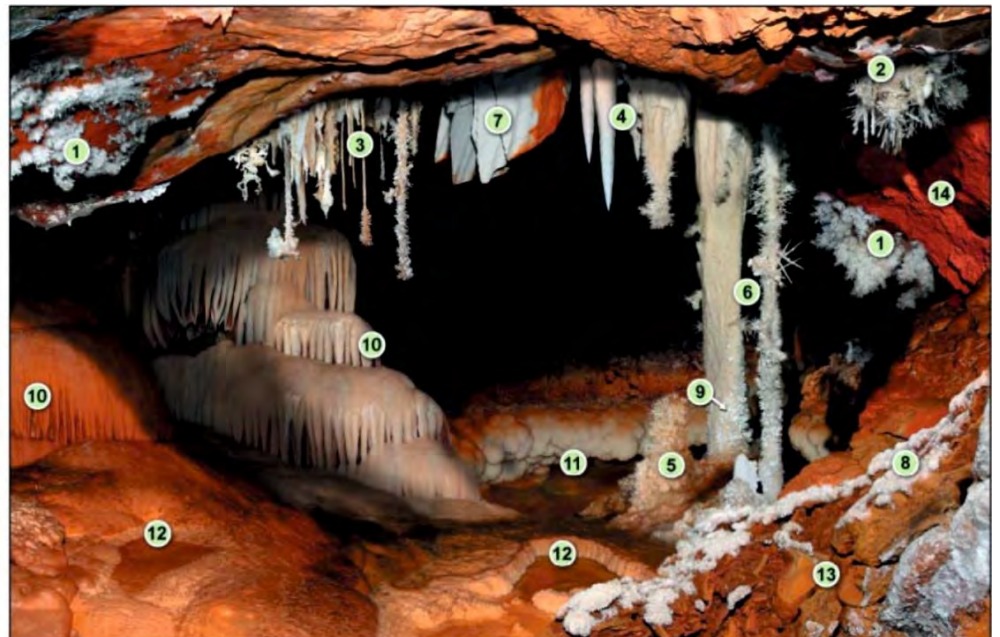


Figura 5: Espeleotemas

- |   |                |                         |            |                       |
|---|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| 1 Fibrosos radiados 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

## PARADA 2: SEDIMENTACIÓN Y ESTRATIFICACIÓN

Abandonamos la zona de merendero para dirigirnos a la parada 2, situada a unos 300m al noreste. Borearemos el extremo septentrional del humedal, hasta alcanzar la carretera CV-2310. Cruzaremos esta vía con sumo cuidado, para tomar, en su lado contrario, un camino de tierra que llega a esta parada 2.

En torno a las paradas 2 y 3, además de elementos hidrogeológicos de gran interés, también se pueden observar viejos búnkers de la guerra civil que formaban parte de la línea de defensa republicana que se extendía desde Santa Cruz de Moya (Cuenca) hasta Almenara, con más de 150 km de longitud, y que se denominó Línea XYZ (Foto 8).



Foto 8: búnker de la Muntanyeta de Mauriciol perteneciente a la Línea de defensa XYZ.

Aparte de estas singulares construcciones, también podemos observar, de nuevo, materiales carbonatados triásicos dispuestos en delgadas capas (como tablas), es decir, con una **estratificación** tabular y algunas oquedades y/o excavaciones ejecutadas en los

mismos para su uso como refugio o almacén (Foto 9).



Foto 9: Oquedad excavada en materiales carbonatados utilizada como refugio y almacén durante la guerra civil.

La formación de este tipo de **rocas (sedimentarias)** obedece a un proceso denominado **sedimentación** consistente 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**.



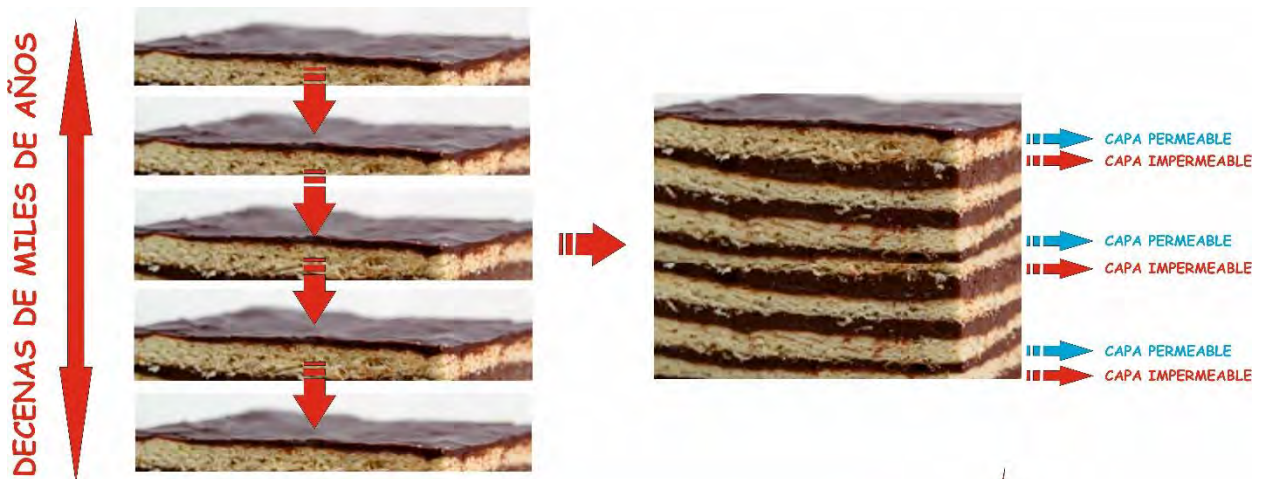


Figura 6: Afloramiento de capas de caliza estratificada en forma tabula, es decir, en pequeños estratos centimétricos separados por niveles de margas.

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 las capas o niveles de bizcocho como **estratos permeables**, se corresponderían con los estratos de caliza (niveles capaces de almacenar líquido o gas en sus orificios) y los niveles de chocolate como **capas impermeables**, asimilables a tramos de arcilla (Figura 6).



## PARADA 3: POZOS Y SONDEOS

Apenas a 100 m de la parada anterior se encuentra el pozo “Ullal de Quartons” (Fotos 10 y 13) que sirve de ejemplo para explicar la evolución histórica de las técnicas de captación y explotación de aguas subterráneas.



Foto 10: captación de agua subterránea.

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 o **nivel freático** ( $\approx$  **nivel piezométrico**), o profundidad a la que se encuentra el agua, es decir, el nivel por debajo del cual un acuífero libre 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, 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 7):

- **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 (Foto 11). Los “detritus” (material fracturado que se genera con la perforación) se extraen mediante la inyección de aire comprimido.



Foto 11: perforación de un sondeo a rotopercusión

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**, 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.

Tras la finalización del sondeo se realiza una **prueba de bombeo (aforo)** que permite

saber cuál es el caudal óptimo de explotación (Foto 12).

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 12: Ensayo de bombeo o prueba de aforo.



Foto 13: Equipo de bombeo del pozo Ullal de Quartons..



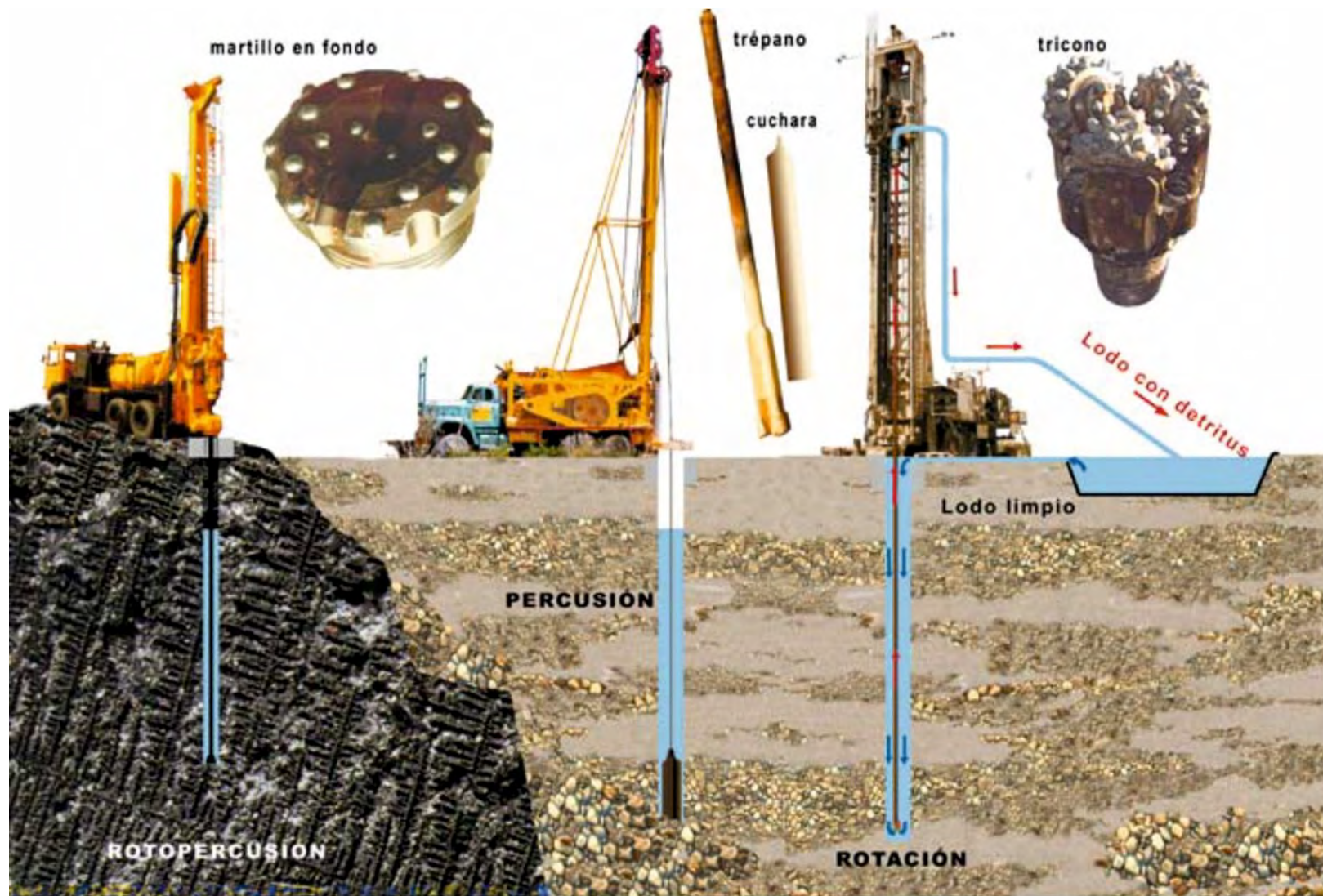


Figura 7: Sistemas de perforación de sondeos (López Geta, J.A et al. 2009)



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 8).

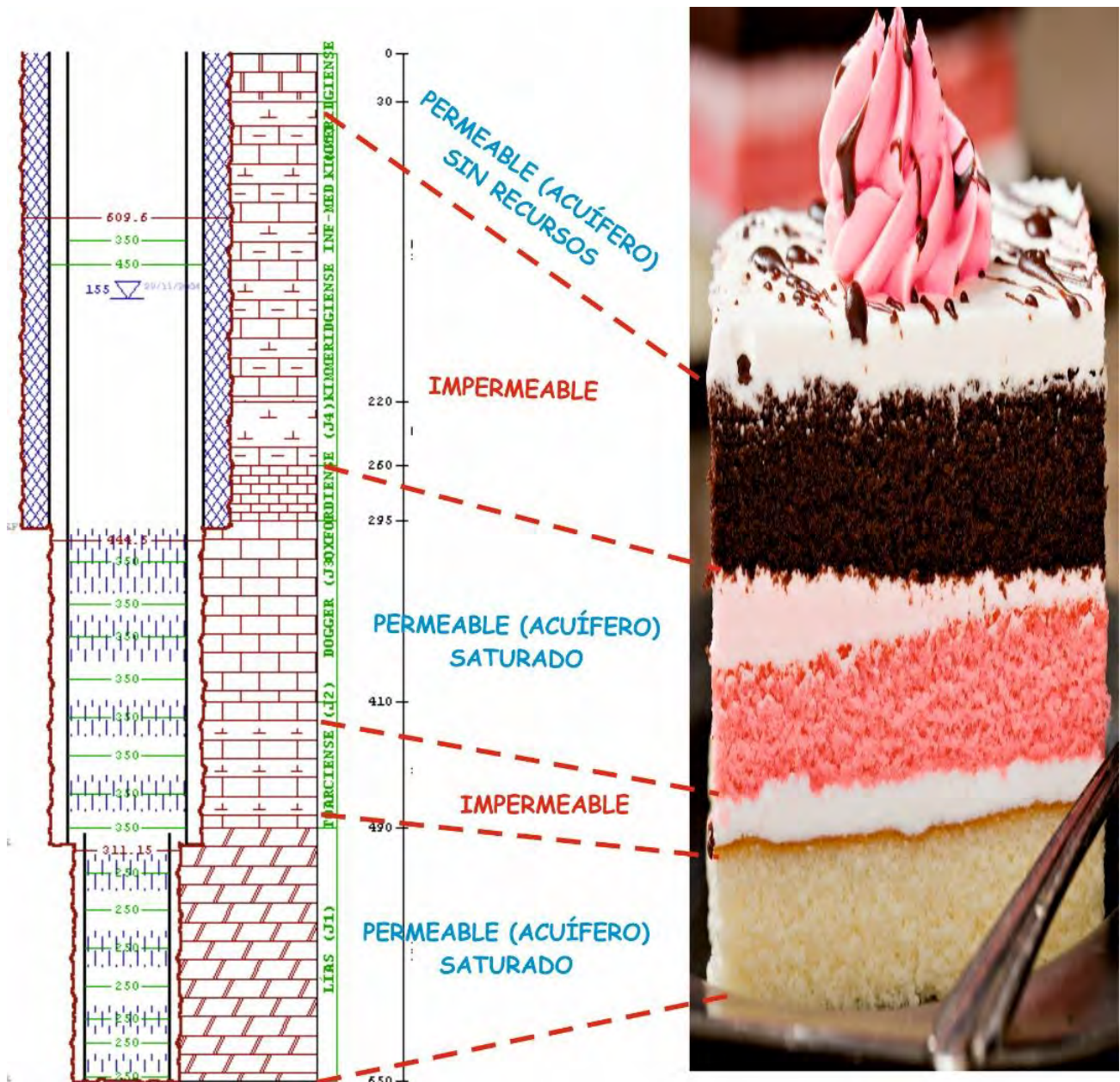


Figura 8: Acondicionamiento de un sondeo. Nivel freático. Capas permeables (acuíferos) e impermeables (acuicludos).



De camino a la parada 4 pasaremos junto al “Ullal de Quartons”, situado en la partida de la Palafanga (Fotos 14 y 15).



Fotos 14 y 15: “Ullal de Quartons”.



## PARADA 4: LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

De regreso hacia la laguna de los Estanys, rodeamos el humedal por su margen oriental y nos dirigimos hasta el observatorio de aves de “La Taiola” (Foto 16).



Foto 16: Cartel indicador del mirador de avifauna La Taiola.



Foto 17: Canal de riego.

Durante este recorrido podemos observar algunas de las infraestructuras que se han realizado a lo largo del tiempo para regular,

controlar y aprovechar convenientemente las aguas de esos “ullals”, como es la acequia de riego proveniente de la casa del Inglés (Foto 17) o las compuertas de cierre del humedal (Foto 18).



Foto 18: Compuerta de regulación de las aguas dels Estanys.

La parada 4 se centra en explicar la función del hidrogeólogo o hidrogeóloga y la importancia de las aguas subterráneas.

**La labor esencial de una hidrogeóloga 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.

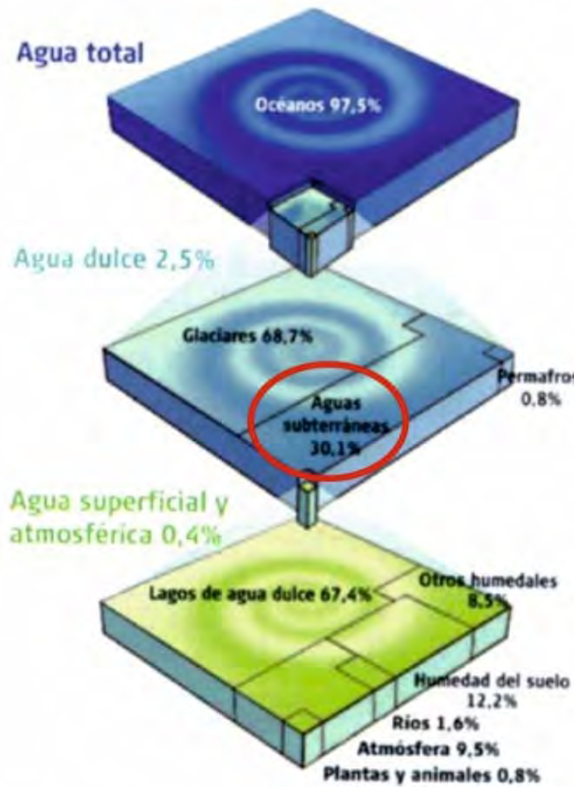
Del total de agua existente en la tierra, tan solo un 2,5% es agua dulce, el resto ocupa los océanos y mares salados.

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 (Figura 9).



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.



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 km<sup>3</sup>

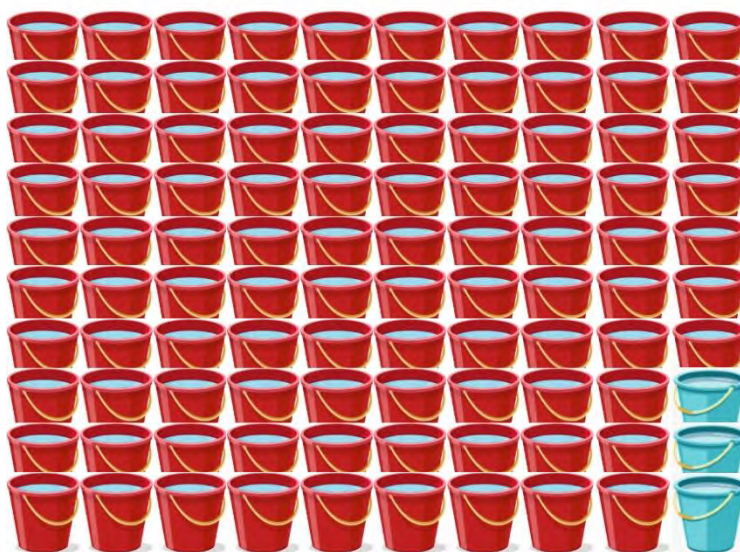
### AGUA DULCE EN LA TIERRA

(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



Figuras 9 y 10: 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 m<sup>3</sup>/ha/año (Figura 11), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m<sup>3</sup>/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 aun 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.

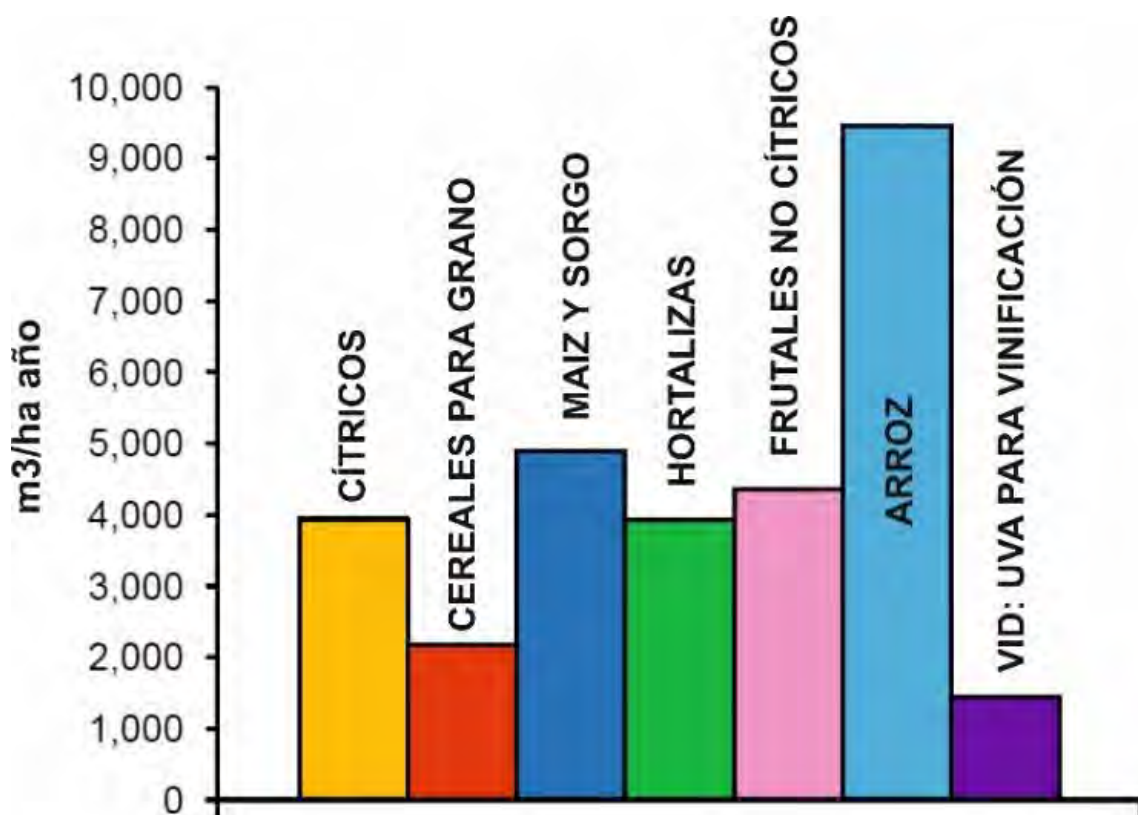
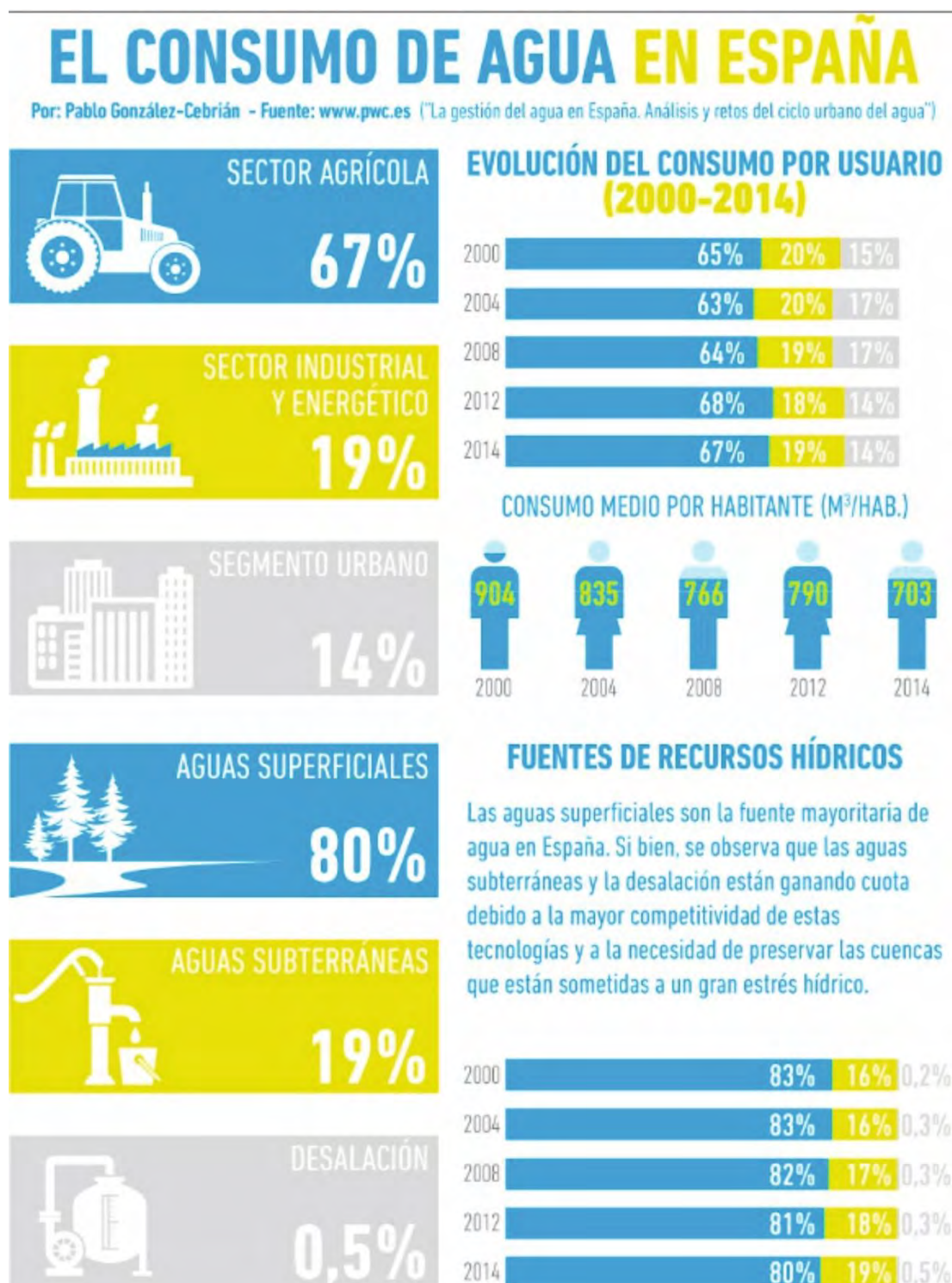


Figura 11: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)



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 12).





## PARADA 5: EL “ULLAL DE CAVANILLES”

Continuando por la senda que circunvala el humedal llegamos al conocido como “Ullal de Cavanilles” O “Ullal de la Peña de l’Estany” (Fotos 19 a 21).

Un “**ullal**” es una surgencia de agua subterránea (**manantial**) que se produce normalmente en un terreno llano y da lugar a una pequeña depresión u oquedad con forma más o menos circular.



Fotos 19 a 21: “Ullal de Cavanilles”



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 13). Estas descargas pueden producirse en tramos de ríos que ganan caudal, constituir manantiales y grandes surgencias (Figura 14) 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.



Figura 13: Periodos de tránsito de las aguas subterráneas.

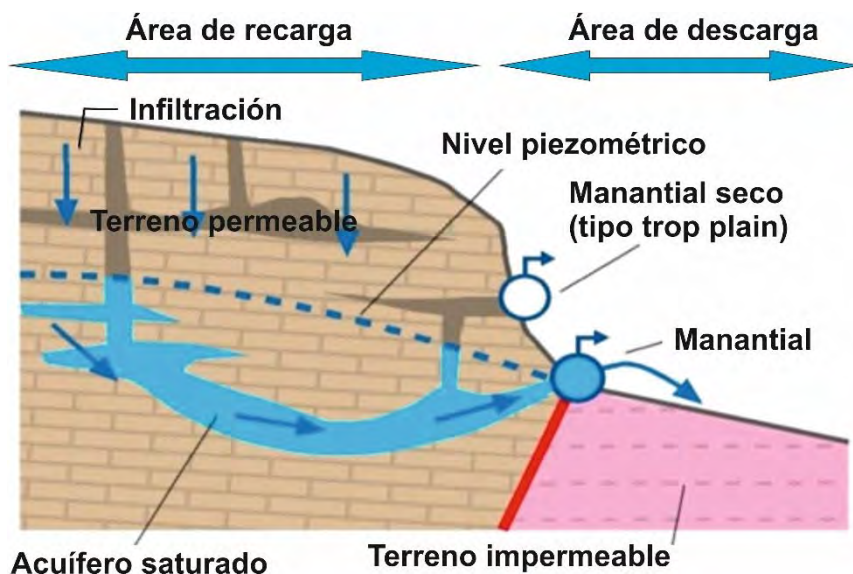


Figura 14: Esquema de funcionamiento de un acuífero kárstico y sus puntos de descarga (manantiales)

La **toma de muestras de agua** (Foto 22) 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 a un laboratorio especializado para su análisis.

En el momento de la “toma”, es habitual medir “in situ” algunos parámetros como la **temperatura (T°)**, el **pH** o la **conductividad eléctrica (C.E.)** (Foto 23).

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).

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

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

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

La **conductividad eléctrica** 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 conductividad eléctrica 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 conductividad (agua de lluvia) o salmueras con concentraciones elevadísimas en sales y, consiguientemente, conductividades eléctricas muy altas.

Tabla 2: valores característicos de conductividad eléctrica y salinidad de diferentes tipos de aguas subterráneas.





Foto 22: Toma de una muestra de agua subterránea en un piezómetro mediante tubo tomamuestras.



Foto 23: Toma de muestra de agua en la Albufera de Valencia (embarcadero de la gola de Pujol) y medida de parámetros "in situ" (temperatura, pH y conductividad eléctrica).





Foto 24: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.

La medida del nivel piezométrico (Foto 24) se realiza mediante un dispositivo denominado **sonda piezométrica o hidronivel** (Foto 25), 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.

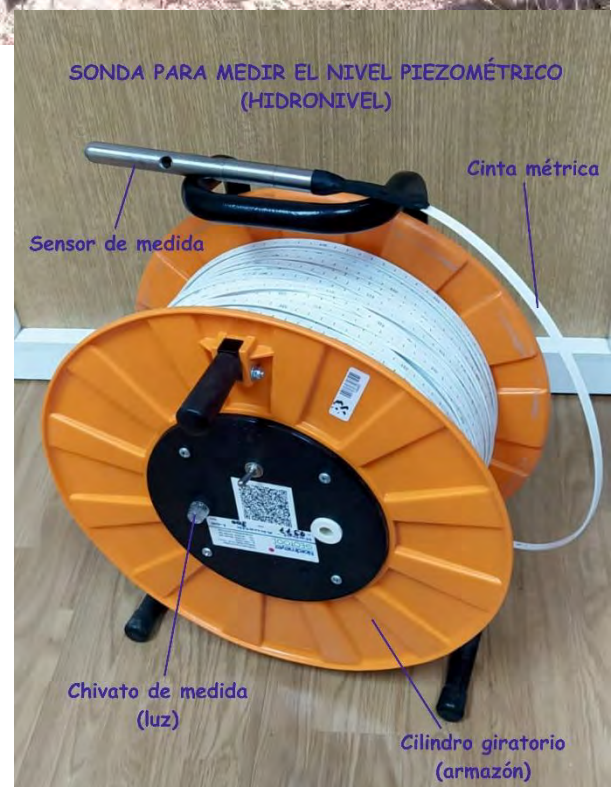


Foto 25: Sonda para medir el nivel piezométrico.



Nutritionele informatie (mg/l) :	
Analyse / Typical Analysis (mg/l) :	
Ca <sup>2+</sup>	104 mg/l
Mg <sup>2+</sup>	3,7 mg/l
Na <sup>+</sup>	3,7 mg/l
K <sup>+</sup>	1,8 mg/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	280 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	52 mg/l
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<2 mg/l
Cl <sup>-</sup>	4 mg/l
Droogrest bij / Extrait sec à / Dry extract at 180°C	274 mg/l
pH : 7,3	

**BEZOYA**

ANÁLISIS **muy débil**

**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

Análisis (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<sup>-1</sup>

Foto 26: Ejemplos de etiquetas con los principales parámetros químicos de varias aguas embotelladas.

La calidad que debe tener un agua de consumo humano está establecida 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 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 del manantial, empresa embotelladora o laboratorio que realiza el análisis (Foto 26).

## PARADA 6: EL MARJAL DE ALMENARA

El marjal de Almenara se localiza en el extremo sur de la costa castellonense y ocupa una superficie de 1488,72 ha, siendo el segundo humedal en cuanto a dimensiones e interés natural de la provincia de Castelló.

Sus límites naturales son: al norte el río Belcaire, al sur el río Palancia, por el oeste la sierra de Espadán y por el este el mar Mediterráneo.

Se trata de una laguna litoral, una albufera, situada en una cota baja, separada del mar por una lengua o cordón de arena. Recibe aguas dulces procedentes de tierra adentro que emergen a través de manantiales o “ullals” y también aguas salobres por mezcla con las aguas de intrusión marina (Fotos 27 a 29).

“La Marjal i Estanys d’Almenara” es una zona húmeda protegida incluida de forma definitiva el 10 de septiembre de 2002 dentro del **Catálogo de Zonas Húmedas** de la Comunidad Valenciana, definidas en el artículo 15 de la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana.

También está dentro de la **Red Natura 2000**, siendo además un **Lugar de Importancia Comunitaria (LIC)** y habiendo sido declarado, más recientemente, gracias al Decreto 132/2021, de 1 de octubre, del Consell, como **Zona Especial de Conservación (ZEC)** y **Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA)**.

Cuenta además con **dos microrreservas de flora: Estanys d’Almenara (01/02/2001) y Toberes d’Almenara (02/12/2002)**



Foto 27: Panorámica del marjal de Almenara.



Las albuferas, marjales o lagunas costeras son ecosistemas de gran valor y complejidad que cumplen una serie de funciones muy importantes, entre las que destacan:

- **Son áreas de descarga de acuíferos**, es decir, ricas en agua lo que favorece, especialmente, el desarrollo de la agricultura. En el marjal, el 70 % del terreno se dedica a cultivos hortícolas y arrozal. Además, el aporte de agua dulce subterránea evita el incremento de la salinidad en el humedal y actúa como barrera frente a la intrusión marina.
- **Control de avenidas**, ya que actúan como embalses donde se detiene, retiene y disminuye la velocidad del flujo, amortiguando y ralentizando el pico de crecida de la inundación.
- **Estabilización de la línea costera y control de la erosión**. La vegetación del humedal estabiliza la línea costera gracias a la reducción de la energía de las olas y corrientes, al mismo tiempo que las raíces de las plantas fijan los sedimentos del fondo.
- **Retención de sedimentos**.
- **Retención de sustancias tóxicas**. Los sedimentos de los humedales pueden funcionar como sumideros de numerosos contaminantes.
- **Retención de nutrientes**. El fósforo y el nitrógeno son retenidos por las plantas y los sedimentos de los humedales, mejorando la calidad del agua y evitando la eutrofización. También retienen CO<sub>2</sub>, tanto en la abundante vegetación como en los depósitos orgánicos turbosos asociados.
- **Protección contra tormentas**. Los humedales costeros ayudan a disipar la fuerza del viento y las olas, reduciendo así los daños que pueden provocar las

tormentas en las zonas de tierra adentro.

- **Generan zonas con microclimas más húmedos** en contraste con el clima seco predominante en las regiones meridionales mediterráneas.
- **Hábitat para la flora y fauna**. La presencia casi permanente de láminas de agua permite el desarrollo de variadas comunidades de flora y fauna, constituyendo reservorios de alta biodiversidad
- **Lugares de reproducción y cría**.
- **Actividades recreativas y turismo** (senderismo, fotografía de naturaleza, observación de aves, pesca y caza controladas, ecoturismo, etc).
- **Lugares para la investigación científica, pedagógica y cultural**. Los humedales constituyen laboratorios, aulas y museos al aire libre.
- **Entornos de alto valor paisajístico**.

**Los humedales costeros tienen gran importancia por su riqueza biótica, su función reguladora de los regímenes hidrológicos y por su alto potencial económico, cultural, científico y/o recreativo.**



Foto 28: Estanque en el marjal de Almenara

La formación de este humedal, así como la del resto de marjales o albuferas de la costa levantina se debe a la dinámica de las corrientes costeras.

Los ríos y ramblas que desembocan al Mediterráneo por el margen oriental de la península Ibérica arrastran sedimentos que al llegar mar son transportados hacia el sur por las corrientes predominantes.

Se empieza a generar así una flecha arenosa o cordón de arena (restinga), que aprovecha la presencia de islotes, como en su día lo fue la montaña de Cullera para generar la Albufera de Valencia (Figura 15), fondos someros, cabos o salientes deltaicos para terminar cerrando un espacio húmedo separado del mar.

En el caso del marjal de Almenara esta barra se desarrolla entre los ríos Belcaire, al norte, y Palancia, al sur.

Se generan así zonas húmedas junto a la costa, más o menos grandes y más o menos profundas que intentan ser utilizadas por los pobladores de alrededor, ya bien sea como lugares de pesca, caza, cultivo o de pastoreo.

Para realizar estas últimas opciones es necesario desecar los terrenos y desde antiguo se realizan zanjas de drenaje y acequias hacia el mar y se instalan sistemas de control de las aguas como compuertas o balsas.

En el área del marjal de Almenara, el historiador Josep Torró documenta ya la existencia de un primer sistema de drenaje del marjal basado en la Acequia Mayor de Morvedre finalizada en el año 1298; en el escurridor del Rey de 1312, cuyo trazado era paralelo al cordón dunar existente entre Canet y Almenara o en la acequia de Pere Folquet, junto a la hacienda de dicho vecino de Morvedre. Estas acequias drenaban al mar por la Gola de Quartell.



Foto 29: Pescadores en el marjal de Almenara.



No obstante, estos primeros sistemas de drenaje fueron difíciles de mantener. Las intensas precipitaciones y el continuo cierre de la desembocadura inundaban con frecuencia el terreno que se pretendía desecar. Durante la guerra de la Independencia se abandonan los campos y las zonas de humedal y aguas estancadas aumentan, la triste consecuencia es que hacia 1814 una epidemia de paludismo ocasiona centenares de muertos.

Las labores realizadas entre 1818 y 1820 para bonificar el marjal se fundamentan en la reapertura de la Gola de Quartell, la construcción de nuevas acequias y de la mota que limita los actuales estanques y que sirve para restringir la zona de emergencia de aguas subterráneas, además de facilitar la canalización y drenaje de las aguas hacia el mar.

Los trabajos y obras para sanear el marjal y anegar parte del humedal se sucedieron a partir de entonces tanto por pequeños propietarios como por corporaciones municipales o grandes empresas capitalistas. Las obras más recientes y que han permitido recuperar para el disfrute público este entorno en el que nos encontramos han corrido a cargo de **Acció Ecologista Agró**.



Fotos 30 a 32: imágenes del marjal de Almenara.



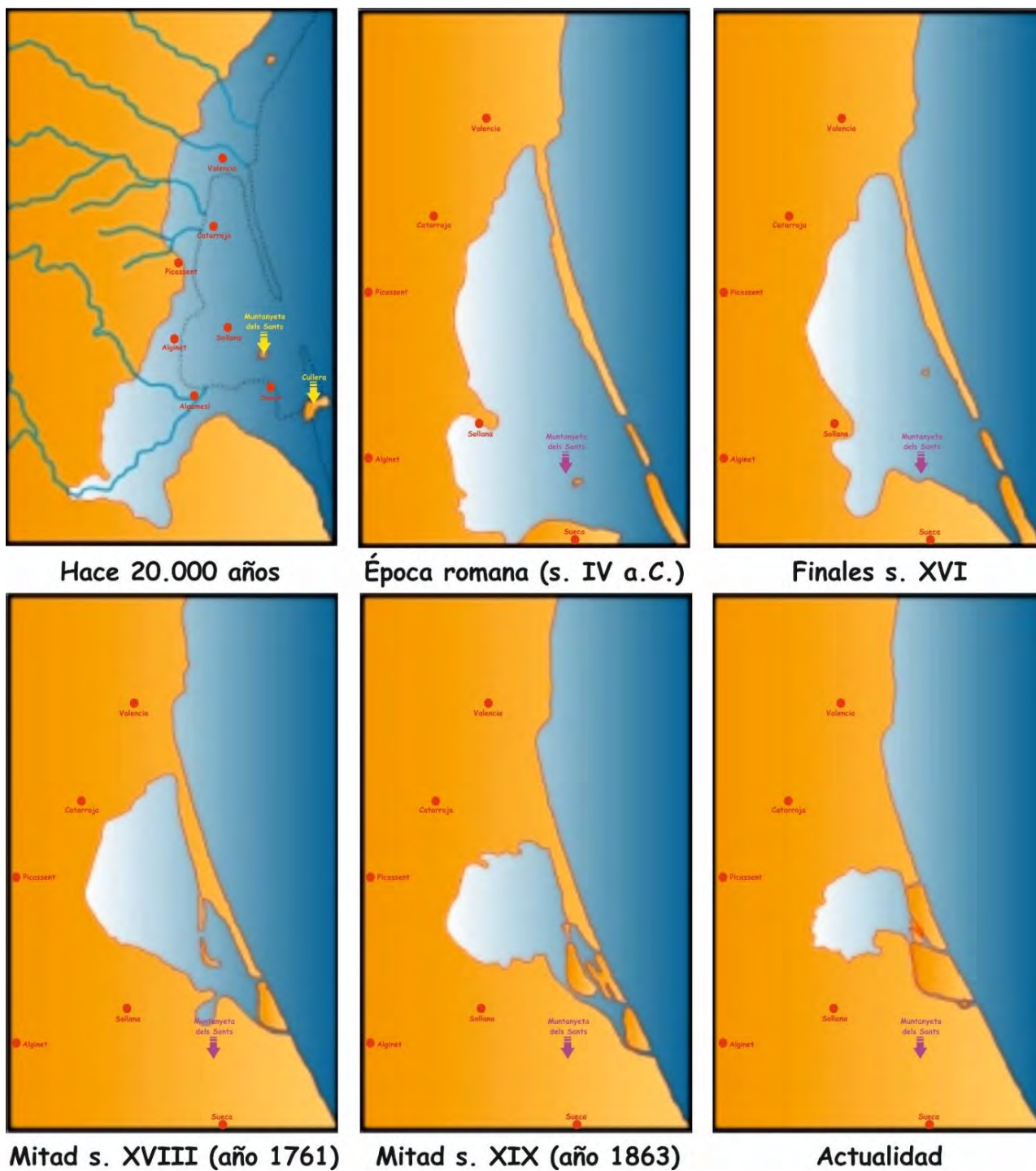


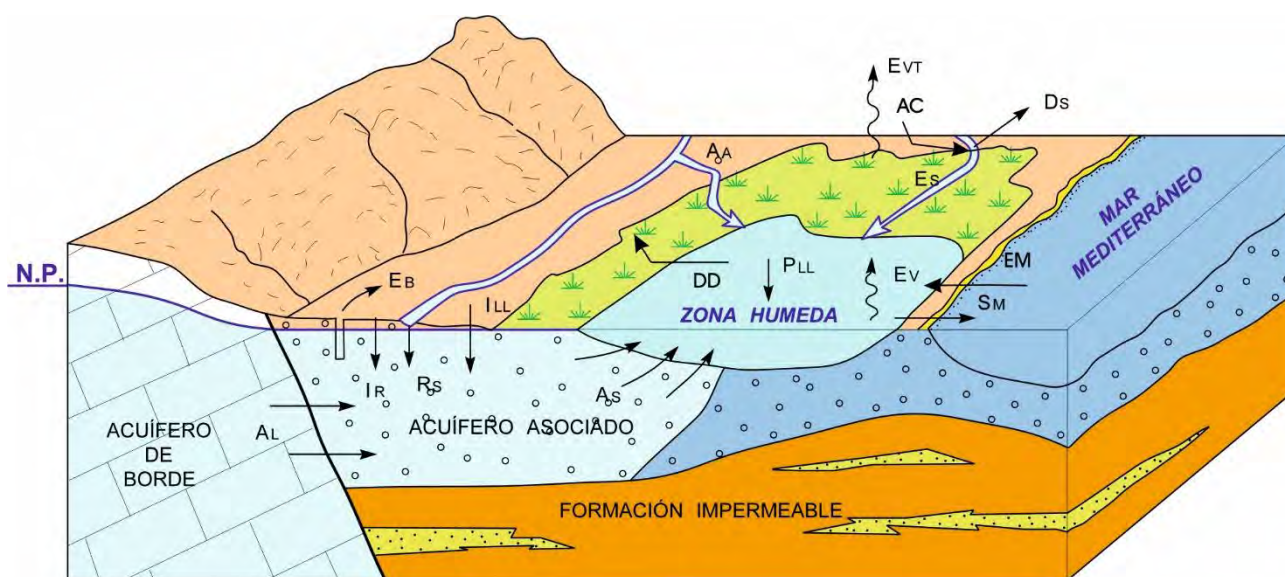
Figura 15: Evolución geomorfológica de la Albufera de Valencia (modificado de Miguel Mondría García en: Estudio para el desarrollo sostenible de la Albufera de Valencia – CHJ 2003)



Las **zonas húmedas costeras**, como las existentes en el Levante español, presentan una gran complejidad hidrodinámica e hidroquímica debido a las múltiples interacciones entre los diferentes elementos que configuran estos sistemas.

Se trata de medios con una especial sensibilidad a cualquier tipo de cambio (natural o antrópico) lo que los convierte en **laboratorios** ideales donde estudiar infinidad de procesos de gran interés (**cambio climático; sequías e inundaciones; procesos contaminantes; recuperación de acuíferos; intrusión marina; uso conjunto; reutilización; recarga; etc**).

Para el estudio en profundidad de estos humedales es necesario conocer su **contexto hidrogeológico**. Es decir, es preciso estimar lo más ajustadamente posible su **balance hídrico**, o lo que es lo mismo, conocer los recursos hídricos que entran o recargan el sistema y los que salen de él, así como **determinar la calidad de las distintas aguas presentes** (Figura 16).



#### APORTES AL SISTEMA

Directos	PLL = Precipitación directa Es = Escorrentía superficial As = Aportes subterráneos AA = Aportes de acequias y canales
Indirectos	ILL = Infiltración por agua de lluvia IR = Infiltración regadío AL = Aportes de acuíferos de borde Rs = Recarga de cauces superficiales

#### SALIDAS DEL SISTEMA

Directas	Ev = Evaporación directa EVT = Evapotranspiración SM = Salidas al mar a través de golgas
Indirectas	EB = Extracciones por bombeos Ds = Detracciones de cauces

Figura 16: Parámetros a tener en cuenta a la hora de estimar el balance hídrico de un humedal. (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 2023 a todos los miembros de **Acció Ecologista AGRÓ** y al **Excelentísimo Ayuntamiento de Almenara**.

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 2023

Coordinación y redacción:

Jose Antonio Domínguez Sánchez  
(Hidrogeólogo - IGME)

Monitoras y monitores:

Arianna Renau Pruñonosa  
(Hidrogeóloga – UV-UJI)

Belén Sánchez (Hidrogeóloga - FACSA)

Remedios Pérez Zuriaga (Periodista)

Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez  
(Hidrogeólogo)

José Oriol Navarro Odriozola  
(Hidrogeólogo)



Foto 33: Estanque del marjal de Almenara



## ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

- Amer Blanch, E. Buenas prácticas significativas en el uso del agua del marjal de Pego-Oliva, la Albufera de Valencia y el marjal de Almenara. (Acció Ecologista-AGRÓ)
- Acció Ecologista Agró – Ajuntament de Sagunt. La Marjal d’Almenara (folleto divulgativo)
- Ballesteros Navarro, B.J. (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: litoral mediterráneo. Comentario a “Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas”. Ed.: J.M. Fornés y M.R. Llamas. Fundación Marcelino Botín. ISBN: 84-95516-62-4. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-097-9. Madrid 2003
- Decreto 132/2021, de 1 de octubre, del Consell.
- Direcció General de Medi Natural i d’Avaluació Ambiental. Generalitat Valenciana (2019). Norma de gestión de los espacios Red Natura 2000: Marjal d’Almenara, Platja Moncofa y Marjal i Estanys d’Almenara. – Estudio Ambiental y Territorial Estratégico.
- Fullana Montoro, J. (2001) Plan de protección de recursos hídricos de la zona húmeda de Almenara. TT.MM. varios (Castellón).
- Guía del Geolodía 14 (Castellón) (2014). Geología y Paleontología de “Els Estanys” (Almenara)
- Ley 11/1994, de 27 de Diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana.
- López Geta, J.A; Fornés Azcoiti, J.M.; Ramos González, G. y Villarroya Gil, F. (2009): Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo (Instituto Geológico y Minero de España)
- Miguel Mondría García (2003): Estudio para el desarrollo sostenible de la Albufera de Valencia (Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- 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

[Acció Ecologista-AGRÓ | Associació no governamental ecologista \(accioecologista-agro.org\)](http://www.accioecologista-agro.org)

[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 \(gva.es\)](#)





## RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2023









**TRAS LAS HUELLAS DE  
EDUARDO HERNÁNDEZ-PACHECO  
EN LA LANURA DE SAN JUAN**

**HIDROGE 5 DÍA**  
**2023 CIUDAD REAL**

Eduardo  
Hernández-  
Pacheco y  
Estevan

Pozo del caserío de  
El Duqueso en la zona  
occidental de la llanura  
de San Juan

Un ensayo con  
fluoresceína, en el  
taladro de un sondeo  
profundo en la Alameda  
de Cervera.

Noria de tipo antiguo  
en la zona de regadío  
de Torralba de  
Calatrava.

El canal del Gran Prior,  
con parte de las aguas  
del Guadiana alto, a su  
paso por la Alameda  
Cervera, camino del  
Záncara.

Instalación de maquinaria  
para un sondeo profundo  
en la llanura de San Juan,  
a unos cinco kilómetros al  
Sur de Argamasilla  
de Alba

Alberca llenándose con  
el agua elevada mediante  
potente bomba, del  
manto acuífero  
subterráneo de la llanura  
de Daimiel.

Monitores del Hidrogeodía 2023 de Ciudad Real:

- Castaño Castaño, Silvino
- Celis Pozuelo, Alberto
- Martínez Santos, Pedro
- Pichaco García, Pablo



## EL HIDROGEODÍA

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

## ¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

Se puede definir la **hidrogeología** (o hidrología subterránea) como la ciencia que estudia la aparición, distribución y movimiento del agua por debajo de la superficie del terreno.

¿Todas las aguas subterráneas son objeto de estudio de la hidrogeología? No, solo aquellas almacenadas o que se mueven por rocas o terrenos sueltos naturales o naturalizados. Quedan excluidas pues las aguas contenidas en aljibes o depósitos subterráneos artificiales y las tuberías enterradas para conducción de agua, salvo que interactúen con el medio rocoso que los rodea.

Dentro del ámbito de la hidrogeología se encuentran el estudio del flujo y almacenamiento del agua en las rocas, la interacción del agua con estas y con otros componentes del ciclo hidrológico, la explotación y gestión de los recursos hídricos subterráneos, y los cambios físicos y químicos que sufren las aguas durante su permanencia en el subsuelo.

## EL HIDROGEODÍA 2023 EN CIUDAD REAL

En la provincia de Ciudad Real, el Hidrogeodía 2023 se celebra en la **Llanura de San Juan**, nombre dado con anterioridad a la Llanura manchega, especialmente al sector comprendido entre Villarrobledo y Torralba de Calatrava, en dirección Este-Oeste, y entre Alcázar de San Juan y Membrilla, en dirección Norte-Sur. Este nombre recuerda a la antigua orden militar de San Juan de Jerusalén (Foto 1), que repobló y tuvo jurisdicción sobre amplias zonas del territorio descrito, aunque también lo compartió con las órdenes de Calatrava y Santiago.



Foto 1. Escudo de Alcázar de San Juan en la azulejería del pozo de Las Perdigueras, donde se puede apreciar la cruz de ocho puntas de la orden militar de San Juan de Jerusalén.

En el Hidrogeodía 2023 Ciudad Real se pretende realizar un pequeño homenaje a uno de los pioneros en los estudios del acuífero manchego de la Llanura de San Juan: Eduardo Hernández-Pacheco y Estevan (1872-1965; Foto 2), uno de los padres de la geología española, y del que en 2022 se celebró el 150 aniversario de su nacimiento.



Foto 2. Eduardo Hernández-Pacheco y Estevan

*“Con las bellezas de la Naturaleza se trata de hacer lo que en todos los países cultos se ha hecho con los monumentos importantes del arte con los monumentos arqueológicos de gran relieve: evitar su destrucción y protegerlos por el Estado.”* Estas palabras resumen el pensamiento de Eduardo Hernández-Pacheco como un naturalista conservacionista, para el cual la protección se debe basar en la ciencia y la gestión. Fueron pronunciadas ya tras una larga trayectoria como geógrafo, geólogo, paleontólogo, arqueólogo y fotógrafo. Sus conocimientos se basaron tanto en los estudios de gabinete o laboratorio como en su intensa labor en campo, siendo el primer geólogo que obtuvo su Tesis con ayuda de trabajos de campo. Fue también un docente entregado y divulgador incansable.

Él estuvo en La Mancha a finales de la década de 1920 y principios de la de 1930 investigando primero la geología del futuro embalse de Peñarroya, y la de otros emplazamientos de presas, y después el funcionamiento de las aguas subterráneas y el porqué del misterioso comportamiento del río que aparece y desaparece: el Guadiana. Todos estos trabajos tenían como fin obtener y gestionar nuevos recursos hídricos.

**Tras las huellas de Eduardo Hernández-Pacheco en la Llanura de San Juan** es el título del Hidrogeodía 2023 en la provincia de Ciudad Real. En él se pretende visitar lugares donde estuvo investigando este geólogo. Se observará la situación actual frente a la de su época, y se comentarán algunas de sus experiencias y experimentos.

Se usará como base para la guía del viaje la ***Síntesis fisiográfica y geológica de España***, de 1932-1934, publicado por la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, siendo el número 38 de la Serie Geológica de los Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales.

## CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro para la actividad se debe localizar sin problemas por estar en zona despejada y a las afueras de Daimiel en dirección a Madrid. Se trata del aparcamiento del restaurante Las Brujas de Daimiel (Paseo del Río, s/n; Figura 1, Coordenadas 39.076706,-3.595891).

En este punto se tomará un autobús en el que se llegará a todos los puntos planificados para esta excursión.

El recorrido de dicha excursión aparece en la información adicional de esta guía.





Figura 1. Fotografía y plano de situación del restaurante Las Brujas, de Daimiel, punto de salida de la actividad del Hidrogeodía 2023 de Ciudad Real.

## QUÉ VEREMOS

*“En toda la llanura el régimen de las aguas corrientes es de tal tipo que, de contar únicamente en tan extenso país con las aguas superficiales únicamente, su próspera agricultura y ganadería actual sería en extremo difícil y pobre; pero un abundante manto acuífero subterráneo permite que la apertura de un pozo, en cualquier paraje, produzca agua abundante y, contra lo que pudiera suponerse, dada la constitución preponderantemente caliza del terreno, de potabilidad aceptable por su grado hidrotimétrico”* (por su dureza).

La actividad pretende mostrar una visión general del gran sistema acuífero en el que se sitúa la llanura más extensa de La Mancha, el conocido popularmente como Acuífero 23, especialmente en su zona central, donde es más potente y donde se encuentran todas las formaciones geológicas que lo componen. Además, en esta zona, a norte y sur, el sistema se encuentra limitado por otros sistemas acuíferos de enorme interés en los recursos de agua del Alto Guadiana.

Al mismo tiempo, se destacarán otros aspectos hidrológicos, humanos e históricos que

Hernández-Pacheco recogió durante sus estudios en la Llanura de San Juan

## 1. Trayecto Daimiel - Alameda de Cervera

Durante el trayecto entre Daimiel y Alameda de Cervera se viajará, de oeste a este, por parte de la gran llanura manchega, donde se sitúa un sistema acuífero de más de 5000 km<sup>2</sup> (Figura 2).

Esta llanura es consecuencia del relleno de una depresión formada por los empujes de la Península Ibérica y África, en la que intervino también la reactivación de fallas más antiguas.

Se ven en superficie sedimentos relativamente recientes de edad miocena a cuaternaria (ver tabla cronoestratigráfica incluida al final de la guía), superpuestos sobre un sustrato paleozoico y mesozoico. El sustrato paleozoico cierra la llanura por el norte (Montes de Toledo), oeste (Campo de Calatrava) y sur (Sierra Morena), mientras que los de edad mesozoica se observan al norte (Sierra de Altomira) y al sur (Campo de Montiel). Por el este, la llanura continúa hacia los Llanos de Albacete.

Desde el punto de vista de las aguas subterráneas, en la vertical, y a grandes rasgos, se puede distinguir en superficie un acuífero del Terciario superior, libre, compuesto por calizas, arenas y arcillas, situado sobre unos materiales poco permeables constituidos principalmente por margas y calizas margosas del Cretácico. Debajo se encuentra un acuífero semiconfinado de naturaleza calizo-dolomítica y de edad jurásica. La base impermeable del sistema hidrogeológico son los materiales del Triásico, constituidos por areniscas, arcillas y yesos, que se apoyan sobre otros del Paleozoico (cuarcitas y pizarras), también impermeables a efectos prácticos (Figura 3). El conjunto de tramos permeables y su separación cretácica menos permeable puede alcanzar un espesor de unos 500 m.

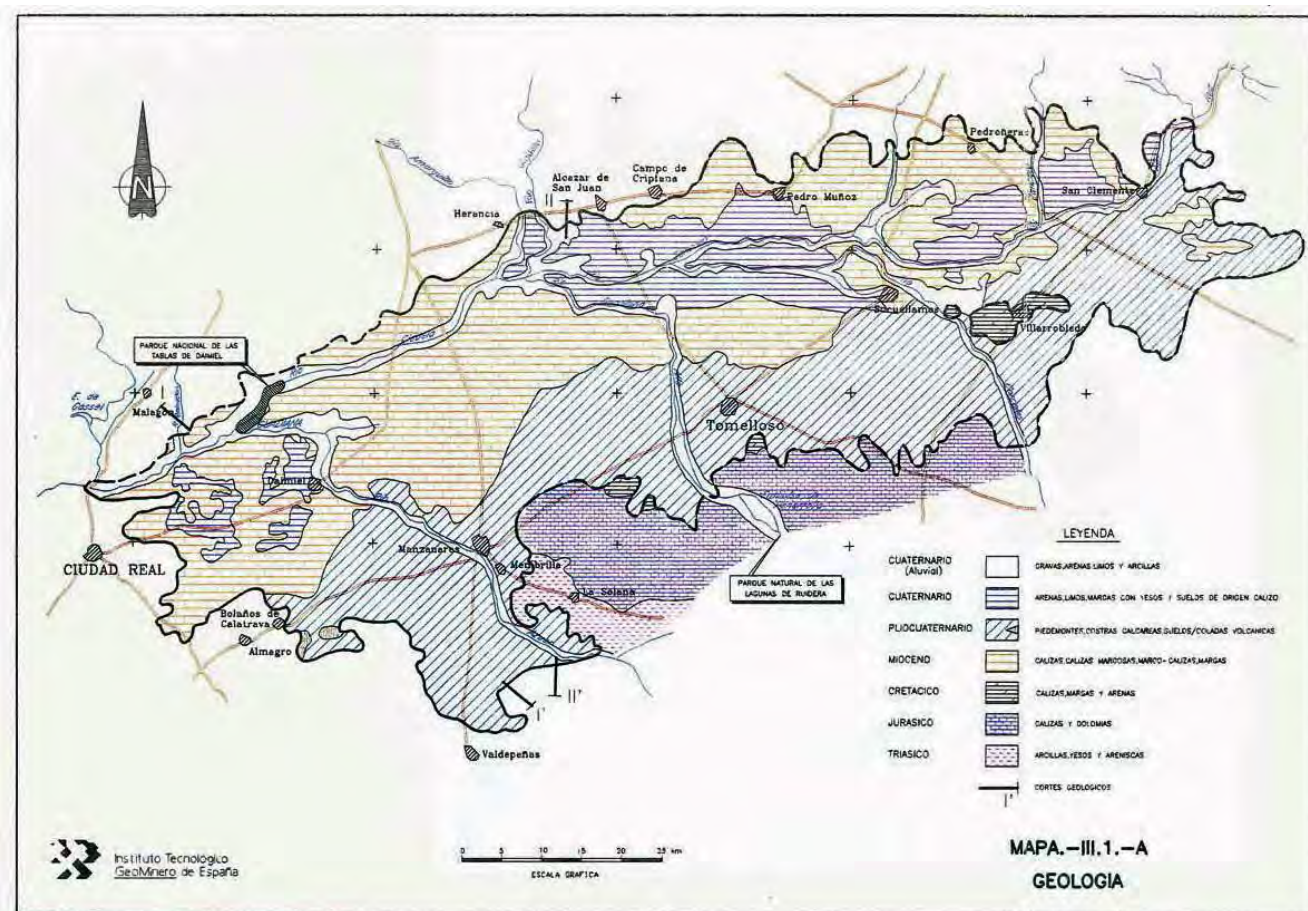


Figura 2. Caracterización geológica en superficie de los acuíferos de la Mancha Occidental (ITGE, 1989).

El acuífero terciario-cuaternario superficial ocupa la práctica totalidad de la llanura manchega, y alcanza sus máximos espesores en la zona situada entre Alcázar de San Juan, Villarta de San Juan y Manzanares.

Los materiales permeables jurásicos fueron parcialmente erosionados previamente a la deposición de los materiales superficiales y no aparecen al oeste de la autovía A-4. En cambio, aparecen en superficie en el Campo de Montiel, desde la cerrada del embalse de Peñarroya hacia el sur. Cabe mencionar que los materiales del acuífero más profundo tienen una edad muy temprana en ese período y anteriormente se les atribuía edad triásica, y así aparecen en trabajos de Eduardo Hernández-Pacheco.

Estos recursos hídricos subterráneos han sido explotados tradicionalmente desde hace siglos, con técnicas que permitían extraer caudales

limitados, como las norias. Sin embargo, ya a principios del siglo XX la aparición de nuevas técnicas de perforación y la aparición de nuevos tipos de bombas permitieron una explotación algo más intensa del acuífero a profundidades cada vez mayores. Estos hechos los pone de manifiesto ya Hernández-Pacheco para la parte del sistema acuífero entre Argamasilla de Alba y sus límites occidentales. Destacamos el siguiente párrafo: “[En la llanura situada en la zona de Almagro y Daimiel] el número de norias accionadas por mecanismos de tipo antiguo y de pozos de los que se extrae el agua por potentes bombas de tipo moderno, es muy grande, contándose por centenares en un kilómetro cuadrado, que dan origen a amplios regadíos de verano; manifestándose una extensa comarca de verdor, que hace fuerte contraste con los amarillentos rastrojos y campos circundantes, de vegetación xerofita, común a los territorios manchegos.”



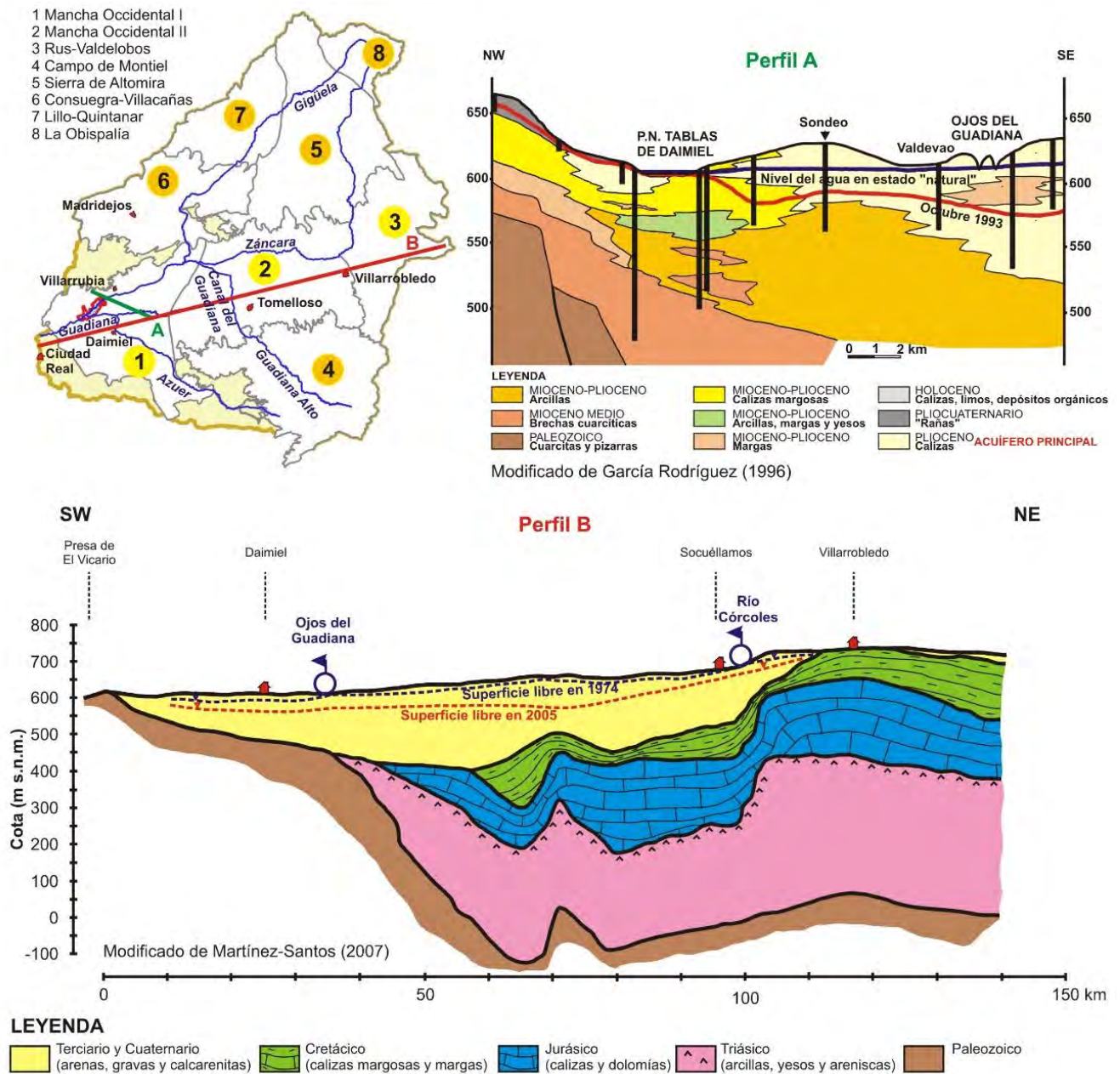


Figura 3. Esquema geológico de un perfil Oeste-Este de la llanura manchega (abajo) con un detalle del contacto entre los depósitos de esta y los Montes de Toledo en la zona de los Ojos del Guadiana y las Tablas de Daimiel.

Si la visibilidad acompaña, hacia el sur, a la derecha, se podrá observar, pasado Manzanares, el borde del Campo de Montiel. Hacia el norte, se observarán las estribaciones de los Montes de Toledo y el borde meridional de la Sierra de Altomira.

A la altura de Argamasilla de Alba, se atraviesa la zona regable del embalse de Peñarroya, cruzándose algún canal, el cauce (artificial) del río Guadiana y algún vestigio del canal del Gran Prior.

Toda esta zona ha sido tradicionalmente usuaria de las aguas del Guadiana Alto que salía del Campo de Montiel.

“[Desde las lagunas bajas de Ruidera] llega el manso Guadiana hasta el sitio denominado el Atajadero, donde está la presa de desviación que lleva las aguas a la ladera izquierda de la vallonada y se conducen, camino de la llanura de San Juan, por el canal denominado del Gran Prior, que data de la época del gran rey Carlos III. [...] El canal sigue por la

*ladera izquierda de la vallonada paralelo al cauce del río, y no recoge todo el caudal de éste.”*

Entre Argamasilla y el embalse de Peñarroya se situaba uno de los 4 sondeos en los que Hernández-Pacheco realizó la interpretación geológica (Foto 3). Situado a cinco kilómetros al Sur de Argamasilla de Alba y en plena llanura de San Juan, alcanzó la profundidad de 247.50 metros, con el mejor tramo entre los 118 y 242 metros de profundidad.

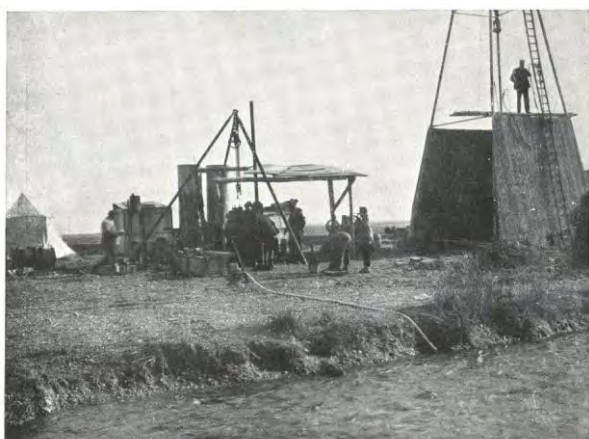


Foto 3. “*Instalación de maquinaria para un sondeo profundo en la llanura de San Juan, a unos cinco kilómetros al Sur de Argamasilla de Alba y junto al Guadiana*” (Eduardo Hernández-Pacheco).

En la escasa distancia que separa Argamasilla de Alba y Tomelloso también se aprecia la influencia del regadío, que ha tenido tradición de siglos en la zona aprovechando las aguas del Guadiana:

*“[La] desviación del río [Guadiana antes de llegar a Argamasilla] hacia el Noroeste, separándole de su cauce natural, que va hacia el NNE., es empresa facilísima, que todos los años realizan los vecinos de Argamasilla en el sitio denominado La Viga, sin más que atravesar unos troncos de los árboles que crecen en el soto inmediato, entre unos postes de piedra que hay clavados en el lecho del río, lo cual hace que la corriente se aparte de su cauce natural y, desviada, se desparrame por la llanura del Tomelloso, [...]”*

En Tomelloso, el autobús tomará dirección norte, hacia el centro de la llanura. Durante este trayecto es posible observar decenas de ejemplares de la

construcción más singular de la llanura manchega, el **bombo**. Eduardo Hernández-Pacheco hace mención a ellos explicando su origen como aprovechamiento de la roca que estorba en las labores agrícolas, un ejemplo útil para los tiempos actuales, y explicando también la formación edafológica de las costras calcáreas manchegas (Fotos 4 y 5).

*“La gran intensidad en el trabajo agrícola de los recios manchegos se pone en evidencia por el gran esfuerzo que supone preparar los campos para el cultivo, el levantar y reunir en grandes majanos los costrones y grandes cantos de caliza tobácea que se forman por capilaridad entre la tierra de labor. [...] Con dichas piedras forman los campesinos, sin mortero alguno, amplias cúpulas, que sirven de resguardo a hombres y caballerías. Por las cercanías de Tomelloso, estas singulares construcciones, a las que llaman bombos, son muy frecuentes, prestando excelentes servicios en los extensos campos manchegos [...].”*



Foto 4. “*Tipo de los abrigos denominados ‘bombos’, contruidos con los costrones de caliza tobácea que se recogen entre las tierras laborables en la llanura de San Juan para facilitar los cultivos. Vista tomada entre el Tomelloso y Criptana*” (Eduardo Hernández-Pacheco).





Foto 5. Bombo situado en las proximidades de Alameda de Cervera con detalles de una de sus cúpulas, de su entrada exterior y entrada a estancia interior.

## 2. PARADA 1. Alameda de Cervera y el enigma del Guadiana

*“Sale el canal [del Gran Prior] a la llanura de San Juan, cruza el pueblo de Argamasilla y sigue siempre por la margen izquierda junto al viejo cauce [...]; pasa por la alameda de Cervera, donde hay un puentecillo, y desde aquí se desvía del cauce viejo del Guadiana en ángulo agudo y va a terminar en el Gigüela, precisamente en el sitio de la confluencia de este río con el Záncara. Las aguas del canal no llegan al río, salvo en las invernadas, pues normalmente son consumidas en los regadíos.*

*Las aguas del Guadiana que no son recogidas por el canal del Gran Prior, en la época en que el río lleva caudal superior al que admite el citado canal, siguen hasta Argamasilla por el cauce natural del río, que es muy pando y muy poco acusado en la llanura. Pero estas aguas no corren tampoco por el cauce viejo del Guadiana, pues antes de llegar a Argamasilla el río es desviado de su cauce natural, desde época muy antigua, en dirección hacia la villa de Tomelloso, [...] agotándose la corriente poco a poco en la llanura en dirección al Córcoles, adonde suele llegar cuando, por circunstancias temporales, el caudal es mayor que de ordinario.*

*Pasada la mencionada localidad [Alameda del Cervera], por la que pasa el canal del Gran Prior, el antiguo cauce del Guadiana comienza a reunir un débil caudal en épocas de lluvias, pero apenas llega a correr cortas temporadas, sino que constituye una zona pantanosa que termina en el Záncara.”*

La localidad de Alameda de Cervera es uno de los puntos más interesantes entre las paradas de Hernández-Pacheco en la llanura de San Juan. Por una parte, en este sector el Guadiana Alto entra en su tramo final, incorporándose a una amplia depresión pantanosa donde se juntaba con los ríos Záncara y Gigüela. Sin embargo, como el autor ha expresado más arriba, el caudal que aportaba, y no siempre, era escaso. El cauce del Guadiana en esta zona ha sido modificado desde hace siglos, y su trazado actual puede que no coincida con el original, según se podría deducir del mapa de pendientes, que parece indicar un recorrido más corto hacia la Junta de los Ríos.

En esta localidad de Alameda de Cervera llegaba también el canal del Gran Prior (Fotos 6 y 7), obra de Juan de Villanueva, proyectado y ejecutado en el S.XVIII en el reinado de Carlos III, que llevaba el agua del Campo de Montiel para diversos usos, y podría servir también como desagüe del sector situado entre Alameda de Cervera y Alcázar de San Juan. Poco queda de esta gran infraestructura



Fotos 6 y 7. “El canal del Gran Prior, con parte de las aguas del Guadiana alto, a su paso por la Alameda de Cervera, camino del Zíncara” (Eduardo Hernández-Pacheco) y posible zona de paso del antiguo canal en la actualidad.

en este sector, salvo algunos puentes y restos de algún ingenio hidráulico (Foto 8).

Finalmente, en esta localidad, “junto al cauce viejo del Guadiana”, Eduardo Hernández-Pacheco realizó el estudio geológico de un sondeo que alcanzó los 104 metros de profundidad, con los mejores tramos entre los 20 y 71 metros.



Foto 8. “Puentecillo” que cruzaba el canal del Gran Prior.

Por otro lado, la pérdida progresiva de agua de un río que llegaba con gran caudal de la altiplanicie del Campo de Montiel, la existencia de una gran abundancia de aguas subterráneas y la aparición de otro río caudaloso en medio de la llanura originó el mito del flujo subterráneo de una corriente de agua, el río Guadiana, que desaparecía y volvía aparecer de nuevo.

A este mito se enfrentó Hernández-Pacheco desde el punto de vista del conocimiento científico de su época, con la observación del conjunto del sistema hidrológico, tanto el funcionamiento y morfología de los ríos, como estableciendo un primer modelo conceptual de funcionamiento de las aguas subterráneas.

Entre las herramientas para comprobar el funcionamiento de las aguas subterráneas en la zona final del río Guadiana Alto, Hernández-Pacheco realizó un ensayo de inyección de un colorante, fluoresceína, en el sondeo perforado en Alameda de Cervera (Foto 9), recogándose muestras de agua en los pozos más importantes de la zona en aquellos momentos, el de Las Perdigueras y el de Los Romeros, que abastecen, respectivamente, a Alcázar de San Juan y a Manzanares, “*pozos distantes del sondeo 10.5 kilómetros el primero y cerca de 20 el segundo hacia el Suroeste*”.



Foto 9. “Un ensayo con fluoresceína, en el taladro de un sondeo profundo en la Alameda de Cervera”. (Eduardo Hernández-Pacheco)



El resultado de esta experiencia indica que no existe conexión directa entre el sondeo de inyección y los de recogida de las muestras.

Paradójicamente, en esta localidad, en el cauce del Guadiana, se instaló una batería de sondeos de recarga (Foto 10) para incrementar los recursos subterráneos durante el período húmedo de finales de la década de 1990, que originó que por el cauce del Guadiana fluyese un significativo caudal durante muchos meses.



Foto 10. Uno de los sondeos de recarga del sencillo dispositivo construido a finales de la década de 1990 en Alameda de Cervera.

### 3. PARADA 2. Pozo de Las Perdigueras

*“El pozo que abastece de aguas potables a Alcázar de San Juan, situado junto a la vía férrea de Madrid a Córdoba y Sevilla y en las inmediaciones de la casa de La Perdiguera, presenta el manto acuífero a unos 18 metros de la superficie y es prácticamente inagotable, pues una potente bomba, que extrae un caudal de 97 metros cúbicos por hora, hace bajar en poco tiempo medio metro el nivel, el cual queda pronto estacionario actuando la bomba sin interrupción toda la noche”.*

Entre dos de los sondeos que estudió Hernández-Pacheco, el de Alameda de Cervera y el de Venta Quesada, se situaban en la zona dos pozos realizados poco tiempo antes de sus visitas a la Llanura de San Juan, que le sirvieron de referencia para el funcionamiento de las aguas subterráneas en esa parte del sistema. Se trata de los pozos de Las Perdigueras (Foto 11) y Los Romeros que, como se ha indicado anteriormente, abastecían de agua potable a grandes poblaciones, como Alcázar de San Juan y Manzanares. Estos pozos eran



Foto 11. Casa del pozo original de Las Perdigueras. En primer término, el edificio de acceso al pozo.

indicadores del potencial del acuífero para proveer de los caudales de agua necesarios para la población y el desarrollo económico de La Mancha.

En esta actividad se visita el pozo de Las Perdigueras, situado a unos 22 km al sur de la población que abastece, Alcázar, en plena llanura, y en uno de los sectores más productivos del sistema acuífero de La Mancha occidental.

La escasez de agua ha sido una constante en Alcázar de San Juan desde la llegada del Gran Priorato de San Juan. La presencia de dos fuentes públicas era insuficiente, por lo que el abastecimiento también dependía de los pozos del Concejo, que o bien no eran las más aptas para el consumo por su dureza o salinidad o por la distancia del núcleo urbano. La situación se agudizó con la llegada del ferrocarril (1854), cuando muchos vecinos tenían que surtirse de un pozo dedicado a surtir a las locomotoras. La visita de los cadetes de la Academia de Infantería de Toledo en 1906 y sus quejas por la falta de agua y la conveniencia de mantener su asentamiento en la ciudad, terminaron por espolear a los alcazareños a buscar una solución al suministro de agua.

El 17 de mayo de 1906 una numerosa reunión en el ayuntamiento creó las bases del proyecto de llevar agua corriente a Alcázar de San Juan

En un principio, se pensó traer agua desde “El Atajadero”, en Ruidera, lugar donde estaba la presa del Canal del Gran Prior, pero resultó de elevado coste y la calidad de sus aguas peor que las subterráneas del monte del Concejo de Alcázar. De estas se analizaron en Madrid muestras de varios pozos y el más adecuado resultó ser el de Perdigueras. El 15 de agosto de 1907 se decidió traer el agua y el 14 de diciembre de 1907 el pozo manó.

La primera Sociedad de Aguas de Alcázar terminó de constituirse con escritura otorgada el 7 de julio de 1908. Paulatinamente se integraron en dicha sociedad personalidades y empresarios que terminaron de construir la sala de máquinas del manantial en 1928 (Fotos 12 y 13). En 1992 la Empresa se convirtió en Empresa Pública.

El primer sondeo de 1907 se realizó manualmente, empleando ahoyadoras y pequeñas bombas que perforaban de manera rotativa. A mano también se excavó el acceso a la sala de máquinas que terminó de construirse en 1928. Estos sondeos comenzaron a agotarse a finales de la década de 1960, llegando a una situación



Fotos 12 y 13. Parte del Consejo de Administración de la Sociedad de Aguas de Alcázar de 1928 cuyos nombres han perdurado en la azulejería del pozo de Las Perdigueras.



dramática en agosto de 1973, razón por la cual se hizo un segundo sondeo que alcanzó los 100 metros, manando agua y asegurando el abastecimiento de la población (Foto 14).

En la actualidad hay 3 sondeos, alcanzando uno de ellos los 484 metros, aunque se trata de un sondeo con fines experimentales.



Foto 14. Extracción de agua de uno de los sondeos de Las Perdigueras.

Juan de Villanueva que había diseñado el Canal del Gran Prior. Durante el S.XIX, los gobiernos liberales siguieron promoviendo las colonizaciones, aunque fomentando la iniciativa privada. Como ejemplo, en 1868, se aprobó la “Ley para el fomento de la colonización del campo”.

En la base de estos proyectos estuvo la demandada reforma agraria que incrementase la producción agraria y el crecimiento demográfico. A partir, sobre todo, de comienzos del S.XX aumentaron las peticiones para que el Estado realizara obras hidráulicas de cara al fomento del regadío y las nuevas colonizaciones. Así, se sucedieron diferentes planes de obras hidráulicas en 1902, 1909, 1916 y 1933. Pero no fue hasta después de la Guerra Civil cuando estos planes se llevaron a cabo de una manera amplia.

Fue en este contexto en el que se enmarcó el Instituto Nacional de Colonización (I.N.C.) creado en 1939 por el gobierno franquista con objetivos reformistas, y para sustituir al Instituto de Reforma Agraria del gobierno republicano.

El fin primordial del I.N.C. fue instalar el mayor número de nuevos colonos por medio de la ejecución de obras hidráulicas y de transformación de la tierra que extendieron el regadío (Foto 15).

La obra hidráulica del I.N.C. en La Mancha se inició a partir de la declaración de zona de interés de colonización en 1951 y planeó una superficie útil de riego de 15.407 hectáreas. Una de las consecuencias más importantes fue la creación de nuevos pueblos en la provincia de Ciudad Real entre los que hay que destacar Llanos del Caudillo (Fotos 16 y 17) o Cinco Casas en los que se construyeron 218 y 240 casas respectivamente.

Esa Zona de La Mancha del I.N.C. se situaba en el entorno de la actual localidad de Llanos del Caudillo, sobre la base de los recursos hídricos subterráneos (Foto 18) que ya había explorado Eduardo Hernández-Pacheco durante los planes

## 4. PARADA 3. Llanos del Caudillo

Los proyectos de nuevos pueblos de colonización arrancaron en el S.XVIII durante el reformismo ilustrado. Ejemplos de aquello fueron el Nuevo Baztán (Madrid) o La Carolina (Jaén). Para el caso manchego durante ese siglo se fundaron Concepción de Almuradiel o La Magdalena en las cercanías de las Lagunas de Ruidera, proyecto de

de estudio de obras hidráulicas del reinado de Alfonso XIII y de la Segunda República, y que consideró inmensos, pero no infinitos



Foto 15. “Acequia de hormigón en la Zona de La Mancha. Las redes secundarias de acequias construidas “in situ” alcanzan un desarrollo de 125 Km., que dominan 4.880 Has. regables útiles”. (Fuente: Instituto Nacional de Colonización, 1964)



Foto 16. “Vista aérea de Llanos del Caudillo. Primer pueblo construido en la provincia por el I.N.C. en el Sector I de la zona de La Mancha, con 184 viviendas de colonos y 24 de obreros”. (Fuente: Instituto Nacional de Colonización, 1964)



Foto 17. Monumento a las familias que poblaron Llanos del Caudillo en 1955.

entre Argamasilla y la Alameda de Cervera, en la línea del alto Guadiana, espesor de la formación que aumenta hacia el Oeste [...]. Este terreno neogeno es de constitución caliza porosa, esponjosa y en extremo permeable [...]. Todo induce a suponer que la comarca, durante el Neogeno, tenía un régimen de llanura pantanosa”.

En Venta Quesada, Eduardo Hernández Pacheco, realiza el estudio geológico de un sondeo situado junto a la carretera Madrid-Cádiz, a 26 km del sondeo de Alameda de Cervera. La profundidad alcanzada fue de 77.50 m, estando el tramo más productivo entre los 58 y los 77.50 metros, formado por calizas neógenas en las cuales se encontraron numerosos huecos. El autor pone en evidencia que las calizas neógenas alcanzan mayor espesor en este sector y que son muy permeables. Este hecho fue demostrado en estudios posteriores, habiéndose definido un depocentro (zona de mayor espesor de sedimentos) de

## 5. PARADA 4. Venta Quesada

“Del resultado de estos sondeos se deduce, en confirmación de lo que se ha expuesto antes respecto a la constitución geológica del terreno, que la llanura de San Juan está formada por depósitos del Neogeno (Mioceno-Plioceno), con espesores de 40 a 50 metros





Foto 18. "Aforo simultáneo de una batería de sondeos en el Sector III de la Zona de La Mancha (Herrera de La Mancha). En esta batería se han obtenido 660 l/s, habiéndose realizado por los equipos del I.N.C. en este sector 22 sondeos con un caudal total de 2.080 l/s. En el Sector I (Llanos del Caudillo) se han construido 25 pozos ordinarios con los correspondientes sondeos laterales obteniéndose un caudal de 2.030 l/s. En el sector II (Cinco Casas) se han construido 27 pozos que dan un caudal de 2.735 l/s". (Fuente: Instituto Nacional de Colonización, 1964)

materiales neógenos entre Villarta de San Juan y Manzanares.

Como consecuencia de estas especiales características hidráulicas del sistema acuífero, tras los excelentes rendimientos obtenidos en la exploración y en los planes de regadíos oficiales, las mejoras en los medios de perforación y bombeo, el abaratamiento de costes, y algunas políticas de subvenciones, toda la zona se llenó de sondeos para la explotación de las aguas subterráneas, la mayoría de iniciativa privada (Fig. 4), que sustituyeron a los medios de explotación tradicionales de una agricultura prácticamente de subsistencia.

Por ello, desde el comienzo de la década de 1970, en el sistema acuífero de La Mancha occidental, el tan mencionado Acuífero 23, se ha producido un incremento paulatino de la superficie de regadío alimentado por aguas subterráneas y, por tanto, del incremento de las extracciones desde los acuíferos (Figura 5). Estas fueron máximas en la década de 1980, y provocaron un descenso generalizado de los niveles del agua subterránea en el sistema, reflejo de un consumo mayor de estas que la alimentación del sistema acuífero por recarga de lluvia, infiltración desde ríos o aportes de aguas subterráneas desde otros sistemas acuíferos como el Campo de Montiel.

Los cálculos para establecer el balance de agua de los acuíferos y poder así realizar una gestión



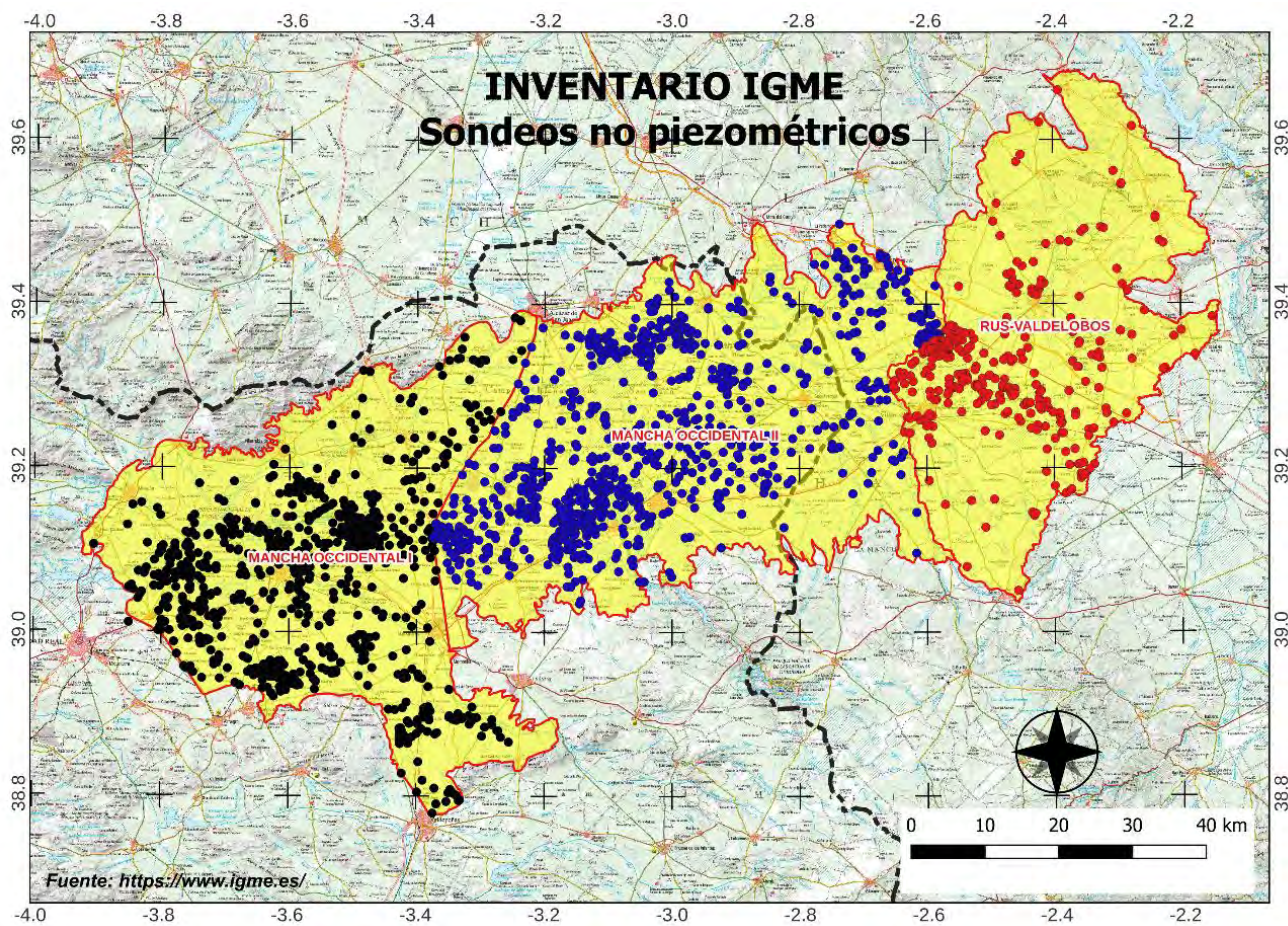


Figura 4. Puntos de agua, sin incluir los sondeos de control, de las tres masas de agua subterráneas en las que se ha dividido el sistema acuífero de La Mancha Occidental, obtenido del inventario (no actualizado) del Instituto Geológico y Minero de España (Fuente de los datos: [www.igme.es](https://www.igme.es/), consultado en enero de 2023).

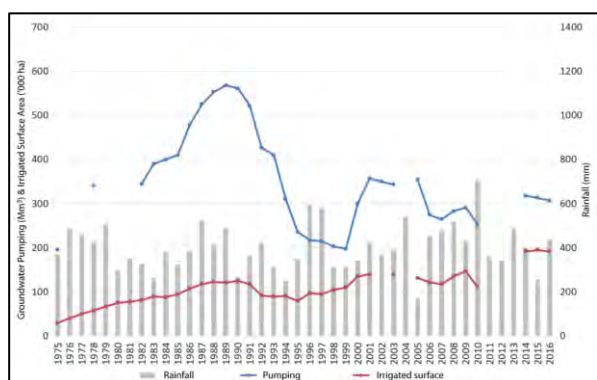


Figura 5. Extracciones de agua subterránea y superficie regada (período 1975-2016) en la llanura manchega (Fuente: Martínez-Santos et al., 2018).

racional del recurso para el desarrollo económico y social de la región sobre la base del regadío fue una preocupación para Eduardo Hernández-Pacheco, que aconsejó sobre cómo

mejorar su cuantificación con los conocimientos de la época.

*“En los regadíos alimentados con las aguas internas, o sea con las del manto acuífero de la llanura de San Juan, deben tenerse en cuenta varias cuestiones fundamentales: Es una, importante, la determinación de la cuantía o volumen del manto acuífero, para lo cual están expuestos en este trabajo todos los datos pertinentes, que son a saber: A) Extensión de las comarcas susceptibles de regadío [...]. B) Potencia de la zona de calizas acuíferas, deducida por el conjunto de los sondeos profundos antes detallados. C) Volumen medio de la reserva acuosa subterránea, teniendo presente, entre otros datos, una pluviosidad media en la región, que podemos calcular en 329,5 milímetros. [...]*



*Una serie de observaciones meteorológicas complementarias, tales como la evaporación y una red más tupida de estaciones termo-pluviométricas y de aforos de los ríos más en relación con el problema concreto de que se trata, permitiría calcular con mayor exactitud el caudal subterráneo disponible; evaluación que si actualmente se tratase de fijar estaría, por estas deficiencias, expuesta a error.*

*Es cuestión para estudiar por los técnicos la manera práctica de utilizar la gran masa de agua que supone el manto subterráneo existente a poca profundidad en el subsuelo de la por esta circunstancia privilegiada llanura de San Juan.”*

En la actualidad, el balance del sistema acuífero sigue siendo un problema totalmente sin resolver. Aunque el balance global está muy aproximado, los detalles no son perfectamente conocidos. Uno de los apartados más controvertidos es el volumen de agua extraída para riego. Esta se ha intentado obtener mediante encuestas, uso de satélites, cierres de balances, uso de contadores en sondeos, etc., sin que los resultados sean aceptados por todos. Sin embargo, la cuantificación del uso es determinante para la gestión del recurso hídrico (Foto 19). Es un hecho que en la actualidad los nuevos sistemas de regadío optimizan y reducen el consumo de agua, pero las superficies de riego parecen seguir aumentando y, en cualquier caso, los niveles del agua subterránea no se recuperan.

Por otro lado, en el sondeo de Venta Quesada que controló Eduardo Hernández-Pacheco, se realizó otro ensayo de trazado del agua subterránea con fluoresceína, los días 5, 6 y 7 de abril de 1931.

*“En el sondeo de Venta Quesada se echó también fluoresceína, tomándose las muestras en el manantial del Ojo de Mari López, distante hacia el Oeste unos 12 kilómetros. Se advirtió la presencia del colorante en los diversos manantiales de Los Ojos a las treinta horas, lo cual da a la corriente subterránea, entre ambos sitios, una velocidad de 400 metros por hora, o sea 0,11 metros por segundo.”*

Este sorprendente comportamiento, con una velocidad punta del flujo subterráneo muy elevada, muestra la alta permeabilidad del sistema acuífero en esta zona de descarga, debido quizá a una incipiente karstificación, como se ve en el mapa de pendientes que se muestra en la información adicional de la parte final de esta guía.

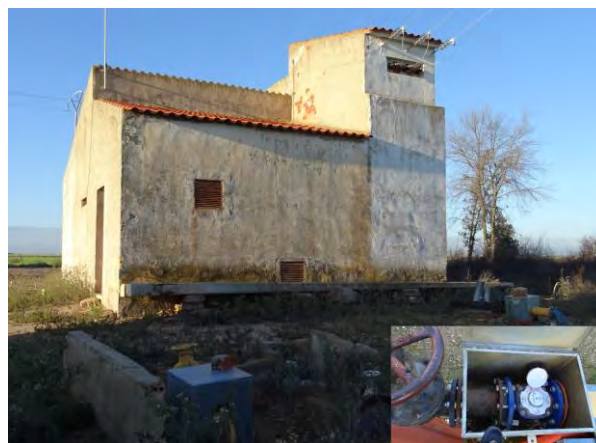


Foto 19. Pozo del Instituto Nacional de Colonización, con contadores de agua

## 6. PARADA 5. Ojos del Guadiana

*“Téngase en cuenta que lo que no debe hacerse es prodigar la apertura de pozos en un mismo lugar sin un plan racional y no autorizar extracciones de agua sino en la cantidad que por cada perforación aconseje la prudencia, porque pudiera acontecer que dejada tal cuestión importante al arbitrio de los intereses individuales y a la anarquía de los egoísmos, se llegase por intemperancia egoísta, por imprudencia o por ignorancia al fracaso de agotar la capa acuífera en la época del año más necesaria para los regadíos. [...]*

También es cuestión de estudiar previamente y con detenimiento las obras que pudieran acometerse de encauzamiento de los ríos que cruzan el territorio y la desecación de las zonas pantanosas del Guadiana, pues tales obras, aunque por una parte podrían permitir poner en cultivo extensiones de terreno hoy ocupadas por pantanos, pudiera ocurrir también que

*ocasionasen profunda modificación en el régimen hidrológico subterráneo de la comarca e introducir modificaciones en el manto acuífero”.*

Las advertencias dadas por Eduardo Hernández-Pacheco a principios de la década de 1930 no parecen haber sido tenidas en cuenta durante el resto del S.XX y lo que llevamos del S.XXI. Como se ha comentado, el sobrebombeo del sistema acuífero provocó el descenso generalizado de los niveles de agua subterráneas, muy evidente ya en década de 1980. Ese descenso solo fue detenido en dos períodos extremadamente lluviosos, a finales de la década de 1990 y a principios de la década de 2010.

Sin embargo, esa explotación intensiva tiene consecuencias que van más allá de las preocupaciones de Hernández-Pacheco, que parecen más ligadas al aspecto cuantitativo. Esa afección tiene que ver con lo que hoy llamaríamos medioambiente, destacándose en La Mancha en dos aspectos: el deterioro de la calidad química del agua subterránea y la pérdida de zonas húmedas (o “pantanosas”) no solo por encauzamiento, sino también por el desvío de volúmenes de descarga a manantiales hacia el regadío.

Un lugar emblemático de estas consecuencias son los Ojos del Guadiana, el lugar mítico donde el Guadiana, metido en tierra tras salir del Campo de Montiel, renacía en todo su esplendor. Estos manantiales fueron también estudiados por Eduardo Hernández-Pacheco.

En el entorno del Ojo de Mari López, el primero de todos, trabajó en el último de los sondeos que se perforaron durante una de sus estancias en La Mancha. Este sondeo estaba “situado junto al llamado Ojo de Mari López, importante manantial del grupo de los Ojos del Guadiana. [...] El sondeo efectuado junto al Ojo de Mari López alcanzó una profundidad de 123,20 metros”, de los que solo el tramo entre los 78 y 97 metros de profundidad es poco permeable. En el sondeo del Ojo de Mari López, el agua se situó en el “nivel en que brota el manantial”.

Esta zona también fue la de observación del ensayo con fluoresceína de la inyección realizada en Venta Quesada, como se vio anteriormente.

En la visita que se realizará al Ojo de Mari López en el Hidrogeodía, este manantial y todos los Ojos del Guadiana estarán secos y asediados por cultivos (Foto 20). Los manantiales se secaron en la década de 1980 como consecuencia de la gran explotación del sistema acuífero, aunque algunos próximos al de Mari López comenzaron a tener agua en 2013 y la mantuvieron algunos años, dentro del período lluvioso de comienzos de la década de 2010.



Foto 20. El Ojo de Mari López en marzo de 2023

Este hecho podría hacer pensar de nuevo en el mito del Guadiana, infiltrándose y apareciendo. Sin embargo, en el período extremadamente lluvioso de finales de 1990, el río Guadiana Alto estuvo circulando permanentemente durante meses, de tal modo que incluso se realizó el dispositivo de recarga artificial de Alameda de Cervera, y los Ojos del Guadiana no manaron.

Viendo el comportamiento del acuífero con los ascensos del nivel del agua subterránea en los primeros meses de ese período húmedo (Figura 6), se observa que los sectores cercanos a los ríos presentan grandes ascensos, mientras que amplias zonas en las que se concentraban los bombeos más intensos apenas había ascensos. No aparece





el río entra en los terrenos silúricos del Campo de Calatrava.

**Lo que no existe es un conducto o cauce subterráneo definido entre el alto Guadiana, salido de las lagunas de Ruidera, y los manantiales de los Ojos; en esto la leyenda quiebra y fracasa. El puente de las siete leguas donde pastaban los rebaños de los oretanos, queda tan sólo como poético mito engendrador de las bellas páginas creadas por el genio de nuestro inmortal Cervantes.”**

## AGRADECIMIENTOS



## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE CIUDAD REAL

Para la actividad se contará con un microbús con plazas limitadas, y, dado el recorrido que es necesario realizar, no se podrán utilizar vehículos particulares.

Se circulará por carreteras o caminos estrechos. Es necesario tener precaución, respetar normas de circulación, no bloquear las vías y despejar las zonas durante las paradas.

En la visita a las instalaciones del pozo de Las Perdigueras, se debe respetar todas las indicaciones del personal y las normas que aparecen en la información adicional.

El Hidrogeodía se realizará totalmente al aire libre. Es aconsejable llevar indumentaria y calzado adecuado, de acuerdo con los pronósticos meteorológicos. Se aconseja también que el asistente se procure comida tipo picnic.

## LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA 2023 DE CIUDAD REAL

**Silvino Castaño Castaño** es doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, especialista en hidrogeología, actualmente en el CEDEX. Aunque sus trabajos en el sistema acuífero de la Mancha occidental se han centrado en su sector occidental, en el entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, donde realizó su Tesis Doctoral, ha realizado distintos trabajos de hidrogeología por toda la llanura manchega y el Campo de Montiel.

**Alberto Celis Pozuelo** es doctor por la Universidad de Castilla-La Mancha, graduado en Geografía y Ordenación del Territorio y licenciado en Historia por la misma universidad. Mantiene una intensa labor de investigación en la influencia de las actuaciones humanas en el medio ambiente, sobre todo en las masas de agua, y la relación de la sociedad actual con los ecosistemas acuáticos de la Península Ibérica.

**Pedro Martínez Santos** es catedrático de Hidrogeología en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Ha trabajado en distintas temáticas del acuífero de la Llanura manchega, desde el flujo del agua subterránea hasta su gestión. Entre dichos trabajos figura su Tesis Doctoral, titulada “Hacia la gestión adaptable del acuífero de La Mancha occidental: desarrollo de un modelo digital de



flujo y elaboración participativa de escenarios futuros de gestión del agua”, de 2007.

**Pablo Pichaco García**, biólogo e intérprete del territorio. Desde 2014 es responsable del Proyecto de Educación Ambiental del Excmo. Ayuntamiento de Alcázar de San Juan y desde 2017 de la empresa Aguas de Alcázar. Tiene líneas de investigación sobre la entomofauna de los humedales de la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda y su papel como indicadores del estado de conservación de los mismos. Desde 2019 es concejal delegado de las áreas de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Alcázar de San Juan.

## PARA SABER MÁS

Son varios los trabajos de **Eduardo Hernández-Pacheco** sobre La Mancha. Para esta guía se ha seguido esencialmente el trabajo siguiente:

- Hernández-Pacheco, E. (1932-1934): Síntesis fisiográfica y geológica de España. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie Geológica de los Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, 38, 584 pp.

Se puede consultar una biografía de Eduardo Hernández-Pacheco en el siguiente enlace:

[Eduardo Hernández-Pacheco y Estevan | Real Academia de la Historia \(rah.es\)](#), consultado en marzo de 2023.

Para el **pozo de Las Perdigueras** se puede consultar la información del enlace <https://manchamedia.com/perdigueras-el-pozo-que-da-la-vida-a-alcazar/> (consultado en marzo de 2023) y el documento siguiente:

- Aguas de Alcázar, EMSA (2004): Alcázar y el agua (Mariano Velasco, coord.). Imprenta Cervantina. Toledo. 142 pp.

Se puede encontrar información interesante sobre las actuaciones del **Instituto Nacional de Colonización** en la provincia de Ciudad Real en:

- Instituto Nacional de Colonización (1964): Ciudad Real, consultado en Biblioteca Virtual de Castilla-La Mancha.

Los trabajos sobre el sistema acuífero de **La Mancha occidental** en general son numerosos y desde diferentes enfoques. Con relación a las aguas subterráneas la mayoría se centran en su gestión a escala de sistemas acuíferos. A modo de ejemplo se pueden mencionar los siguientes:

- Cruces, J.; Martínez Cortina, L. (2000): La Mancha Húmeda. Explotación intensiva de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Santander. 66 pp.

- Coletto, C.; Martínez Cortina, L.; Llamas, M.R., Eds. (2003): Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana. Fundación Marcelino Botín. Santander. 352 pp.

- Martínez Santos, P. (2007): Hacia la gestión adaptable del acuífero de La Mancha Occidental. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 375 pp.

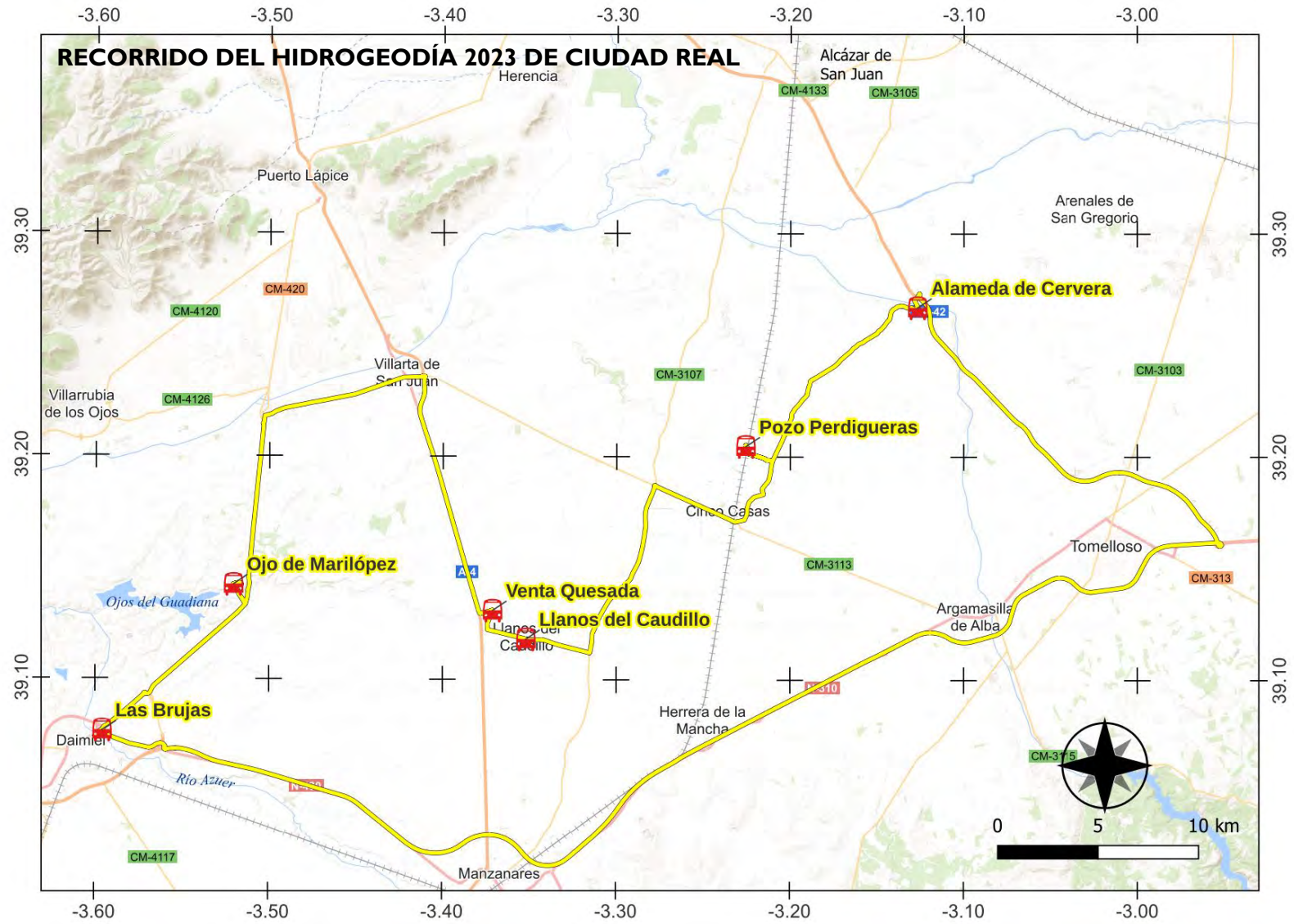
- Martínez-Santos, P., Castaño-Castaño, S., Hernández-Espriú, A. (2018). Revisiting groundwater overdraft based on the experience of the Mancha Occidental Aquifer, Spain. *Hydrogeol. J.*, 26, 1083–1097. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1735-0>

- Plaza Tabasco, Julio (2013). Usos del suelo y acceso al agua en La Mancha desde mediados del siglo XX. Análisis de los cambios desde una perspectiva espacial en Alcázar de San Juan. Tesis doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha. <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1117395>

## MAPAS Y OTRA INFORMACIÓN

- Mapa del recorrido
- Mapas de pendientes en Alameda de Cervera, Pozo de Las Perdigueras y Ojos del Guadiana
- Tabla cronoestratigráfica
- Normas básicas de seguridad para visitantes del pozo de Las Perdigueras







EÓN	ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	FACIES/U.LOCAL	M.a.	P.O.	FASES TECTÓNICAS			
FANEROZOICO	MESOZOICO	CENOZOICO	IVº	HOLOCENO	(Actual)						
				PLEISTOCENO	CALABRIENSE	VILLAFRANQUIENSE	0.1				
			NEÓGENO	PLIOCENO	PLACENZIENSE		1.8				
					ZANCLAYENSE	RUSCINIENSE	3.4				
			MIOCENO	PALEÓGENO	EOCENO	MESSINIENSE	TUROLIENSE	5.3			
						TORTONIENSE	VALLESIENSE	6.5			
					PALEOCENO	SERRAVALLIENSE	ARMONIENSE	11			
						LANGHIENSE	ASTARAC	14.5			
						BURDIGALIENSE	RAMBLIENSE	16			
						AQUITANIENSE	ORLEANS	20			
OLIGOCENO	CHATTIENSE	AGENIENSE	23.5								
	RUPELIENSE	ARVERNIENSE	28								
PALEOCENO	BARTONIENSE	SUEVIENSE	34								
	LUTECIENSE	PHIENIENSE	37								
MESOZOICO	CRETÁCICO	PALEÓGENO	PALEOCENO	THANETIENSE	SUP. MEDIO INF.	40					
				DANIENSE	NEUSTRIENSE	46					
			SUPERIOR	MAASTRICHTIENSE	GARUMN	59					
				CAMPANIENSE		65					
				SANTONIENSE		72					
				CONIACIENSE		83					
				TURONIENSE		87					
				CENOMANIENSE	UTRILLAS	91					
			INFERIOR	ALBIENSE		96					
				APTIENSE	URGONTIANA	108					
BARREMIENSE		114									
HAUTERVIENSE	WEALD	116									
MESOZOICO	JURÁSICO	PALEÓGENO	SUPERIOR	VALANGINIENSE		122					
				BERRIASIENSE	PURBECK	130					
			Malm	TITÓNICO	PORTLAND	135					
				KIMMERIDIENSE		141					
			Medio	OXFORDIENSE		146					
				CALLOVIENSE		148					
				BATHONIENSE		154					
				BAJOCIENSE		160					
				AALENIENSE		167					
				TOARCIENSE		176					
Inferior	PLIENSBACHIENSE		180								
	SINEMURIENSE		187								
	HETTANGIENSE		194								
	RETIIENSE		201								
MESOZOICO	TRIÁSICO	PALEÓGENO	SUPERIOR	NORIENSE	KEUPER	205					
				CARNIENSE		220					
			Medio	LADINIENSE	MUSCHELKALK	230					
				ANISIENSE		235					
			Inferior	SCYTIENSE	BUNTSANDSTEIN	245					
				CHANGHSINGIENSE		250					
			PALEÓGENO	WUCHIAPINGIENSE		253					
				CAPITANIENSE		264					
				WORDIENSE	THURINGIENSE	264					
				ROADIENSE		272					
KUNGURIENSE	SAXONIENSE	280									
ARTINSKIENSE	AUTUNIENSE	280									
MESOZOICO	PERMICO	PALEÓGENO	GUADALUPIENSE	ASSELIENSE		300					
				CISURALIENSE		300					
			PALEOZOICO	PERMICO	PALEOZOICO	ZECHESTEIN	CHANGHSINGIENSE		250		
							WUCHIAPINGIENSE		253		
						SUPERIOR	CAPITANIENSE		264		
							WORDIENSE	THURINGIENSE	264		
						Medio	ROADIENSE		272		
							KUNGURIENSE	SAXONIENSE	280		
						Inferior	ARTINSKIENSE	AUTUNIENSE	280		
							ASSELIENSE		300		
FANEROZOICO	PALEOZOICO	PALEOZOICO				VENIDICO	EDIACARIENSE		540		
							VARANGERIENSE		570		
			SUPERIOR	RIFEENSE	SUPERIOR		650				
					MEDIO		800				
			MEDIO		INFERIOR	BETURIENSE		1000			
							1600				
			INFERIOR				2500				
							4550				
			FANEROZOICO	PALEOZOICO	PALEOZOICO	CARBONIFERO	GZELIENSE	ESTEFANIENSE	300		
							KASIMOVENSE	BASILIENSE	305		
DINANTIENSE	MOSCOVIENSE	CANTABRIENSE				315					
	BASHKIRIENSE	WESTFALIENSE				325					
SUPERIOR	SERPUKHOVIENSE	NAMURIENSE				325					
	BRIGANTIENSE					350					
MEDIO	ASBENSE	VISEENSE				360					
	HOLKERIENSE					365					
INFERIOR	ARUNDIENSE					375					
	CHADIENSE	TOURNAISIENSE				385					
PRIDOLI	IVORIENSE		390								
	HASTARIENSE		410								
LUDLOW	FAMENIENSE		415								
	FRASNIENSE		425								
WENLOCK	GIVETIENSE		430								
	EIFELIENSE	COUVINIENSE (ant)	435								
LLANDOVERY	EMSIENSE		445								
	PRAGUIENSE	SIEGIENIENSE (ant)	455								
PRIDOLI	LOCHKOVIENSE	GEDINIENSE (ant)	470								
	PRIDOLIENSE		485								
LUDLOW	LUDFORDIENSE		500								
	GORSTIENSE		530								
WENLOCK	HOMERIENSE		540								
	SHEINWOODIENSE		570								
LLANDOVERY	AERONIENSE		580								
	RHUDDANIENSE		590								
SUPERIOR	ASHGILL		540								
	CARADOC	KRALDOVORIENSE	570								
MEDIO	LLANVIRN	DOBROTVIENSE	650								
	TREMADOC	ORETANIENSE	1000								
INFERIOR	ARENIG		1600								
	TREMADOC		2500								
FANEROZOICO	PALEOZOICO	PALEOZOICO	CAMBRICO	TREMPEALEUIENSE		530					
				FRANCONIENSE	CAESARAUGUSTIENSE	540					
			SUPERIOR	DRESBACHIENSE	LEONIENSE	570					
				MAYAIENSE	BILBIENSE	650					
			MEDIO	AMGANIENSE	MARIANIENSE	800					
				TOYONIENSE	OVETIENSE	1000					
			INFERIOR	BOTOMIENSE	ATDABANIENSE	1600					
				ATDABANIENSE	TOMMOTIENSE	2500					
			VENIDICO	EDIACARIENSE	CORDUBIENSE (p)	540					
				VARANGERIENSE	PUSIENSE (p)	570					
SUPERIOR	RIFEENSE	ALCUDIENSE SUP.	650								
		ALCUDIENSE INF.	800								
MEDIO		BETURIENSE	1000								
			1600								
INFERIOR			2500								
			4550								

TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA

**NO DEJES DE VISITAR EL MUSEO GEOMINERO**  
 Ríos Rosas, 23 - 28003 Madrid  
 Tfno. 91 949 57 59  
 c/e m.geominero@ige.mma.es  
 http://www.ige.mma.es

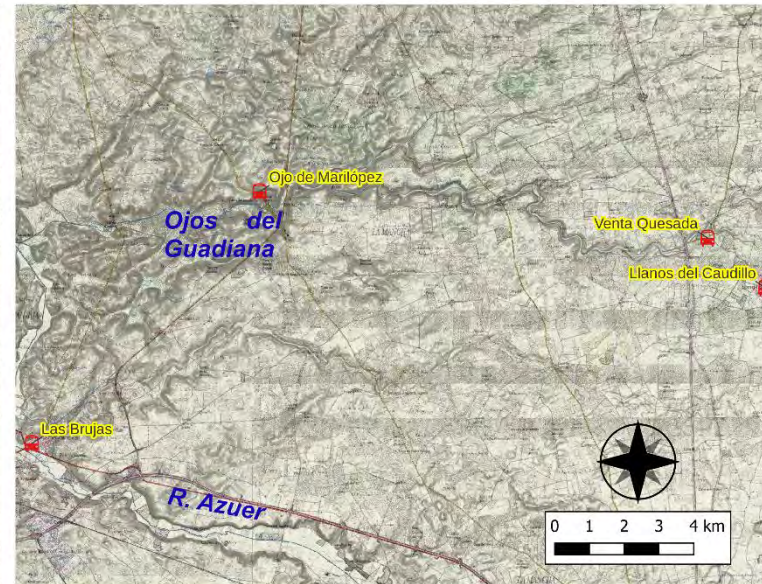
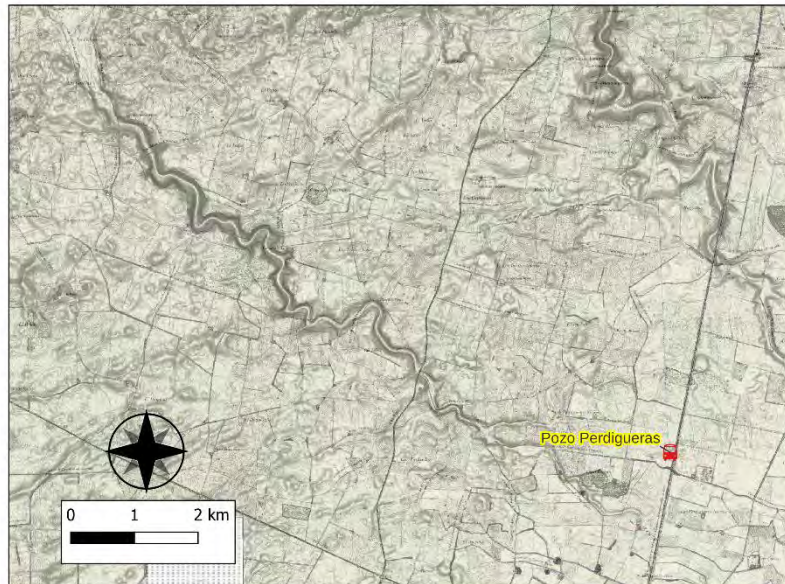
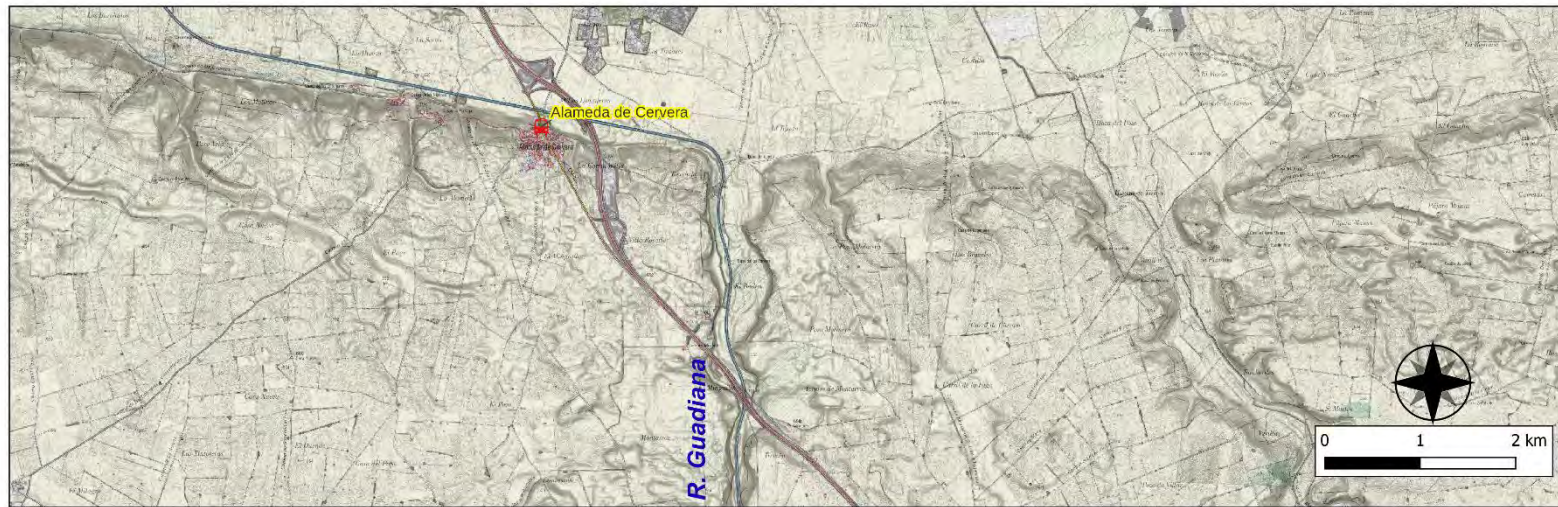
**LEYENDA**  
**EONOTEMA**  
**ERATEMA**  
 SISTEMA  
 SERIE  
 SUBSERIE  
 PISO  
 FACIES  
 PISO CONTINENTAL  
 UNIDAD ANTIGUA (ant)  
 PISO PROPUESTO (p)  
 485 Ma. = Nº Millones de Años  
 P.O. = PERIODOS OROGENICOS  
 FASES TECTÓNICAS

**TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA**  
 SIMPLIFICADA Y ACTUALIZADA PARA LA  
 LECTURA DE MAPAS Y TRABAJOS DE GEOLOGÍA  
 EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES

Realizada por: Agustín Pedro PIEREN PIDAL  
 Director de Investigación, Universidad Complutense  
 Instituto de Geología Económica, CSIC, Madrid  
 en 1.994, revisada y actualizada en 1.999.



## MAPAS DE PENDIENTES





# NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD PARA VISITANTES

## NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD DURANTE LA VISITA:

1. Siga en todo momento las instrucciones de la persona del centro de trabajo que le acompaña durante la visita.
2. **No se separe del grupo en ningún momento.**
3. Durante toda la visita, se deberá portar calzado totalmente cerrado, y de suela plana. Está prohibido acceder con sandalias, zapatos con tacón o calzado deportivo.
4. Se respetará en todo momento la señalización de la instalación, prestando especial atención a la prohibición de paso a zonas de acceso restringido.
5. No toque ninguna máquina o herramienta sin autorización. Puede existir riesgo de atrapamiento o corte.
6. No tocar el agua, ni elementos que pudieran tener salpicaduras de ella.
7. Prestar especial atención en el interior del recinto a la circulación de vehículos de la empresa. Desplácese agarrado a pasamanos y/o barandillas.

**La empresa declina toda responsabilidad de no seguir escrupulosamente dichas Normas de seguridad por parte de los visitantes.**

## NO ESTA PERMITIDO:

- **Beber o comer durante la visita.**
- **Fumar en toda la instalación.**

## EN CASO DE EMERGENCIA:

**AGUAS DE ALCÁZAR, EMSA** cuenta con un Plan de Emergencia, que se activa en caso de necesidad. Para su correcto funcionamiento, siga las siguientes instrucciones en caso de activación de la alarma o aviso de evacuación:

1. Siga en todo momento las instrucciones del personal de la instalación o empresa, que le acompaña.
2. Abandone la zona por la salida de emergencia más próxima, y dirjase al punto de encuentro, en la entrada principal del recinto.
3. No pierda tiempo buscando objetos personales.
4. Una vez en el punto de reunión (puerta de acceso), espere allí hasta que reciba instrucciones de los equipos de emergencia de la empresa o instalación.

## TELÉFONO GENERAL DE EMERGENCIAS:

**112**

## NORMAS BÁSICAS DE ACTUACIÓN ANTE UN INCENDIO:

- Mantenga la calma y no se detenga en las salidas.
- Utilice las vías de evacuación establecidas al respecto.
- Si se encuentra rodeado por el humo, agáchese y gatee.
- Cierre las puertas que vaya atravesando.
- Atienda las instrucciones del personal designado para emergencias.

## SEÑALES DE EVACUACIÓN



Vía / Salida de socorro



Teléfono de salvamento



CUENCA

# HIDROGE<sup>♂</sup>DÍA

# 2023



## UN PASEO HIDROGEOLOGÍCO POR EL JÚCAR

VIERNES 24 DE MARZO DE 10.00 A 14.00

Imagen de [Pablo Ángel Barrios](#) en [Pixabay](#)

Recorrido de la excursión: Desde el desembarcadero del Sargal hasta la Isla de Monsperler



El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de actividades gratuitas, guiadas por hidrogeólogos **y abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Cuenca, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en la ciudad de Cuenca en el entorno del río Júcar con la colaboración del área de Ciencias experimentales de la Facultad de Educación de Cuenca de la Universidad de Castilla – La Mancha, las consultoras Vestal Etnografía y GeoDiscover, el MUPA y la Confederación Hidrográfica del Júcar. Se llevará a cabo una visita guiada con cinco paradas donde nos preguntaremos ¿de donde sale el agua que lleva el río Júcar?, ¿cuánta lleva?, ¿que calidad tiene? y ¿qué tipo de vida alberga?

Durante el recorrido propuesto se explicarán conceptos hidrogeológicos como el ciclo del agua, el modelado del paisaje y los procesos que lo generan. Todo ello servirá de explicación para entender las recurrentes inundaciones y desbordamientos que sufre el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca. Según nos aproximemos al final del recorrido podremos investigar sobre la calidad química del agua que lleva el río Júcar y la presencia de diferentes macroinvertebrados que habitan el. A lo largo del recorrido, se propone una acción complementaria de recogida de residuos que aparezcan en nuestro camino. Para esto contaremos con bolsas de basura y guantes disponibles para las personas que quieran colaborar.

## PARA SABER MÁS:

Una ciudad sobre rocas marinas. <https://geolodia.es/geolodia-2016/cuenca-2016/>

IGME (1989). Mapa Geológico de Cuenca, Hoja nº 610, escala 1:50.000.

Segunda serie (MAGNA). Madrid. <https://losojosdeljucar.com/wyngaerde/wyngaerde-en-cuenca-piedra-y-agua-lana-y-paños/>



El río Júcar a su paso por la ciudad, además de una reserva natural de biodiversidad, ha sido un motor productivo natural para la ciudad. Recorriendo su ribera realizaremos un viaje a través del tiempo y el espacio. Oficios ancestrales, personajes históricos y dos industrias que llevaron a Cuenca a ser referente castellano durante los siglos XV y XVI. Desde el desembarcadero del Sargal (PI), enfrente del cerro de la Fuensanta, cercano al lugar donde Anton van den Wyngaerde esbozó parte del primer dibujo de la ciudad en 1565 (Fig. 1), comenzaremos un paseo que nos llevará a descubrir algunos secretos de la ciudad de Cuenca (parada 1). Cerca del antiguo caz de los batanes visitaremos la estación de aforos justo debajo del puente de acceso a Cuenca desde Madrid (parada 2). Siempre acompañando el rumor del río trataremos las dos grandes industrias que ha tenido Cuenca gracias a las verdes aguas del Júcar: la textil y la maderera; descubriremos rincones desconocidos como el barrio de la Guindalera, la presa de Cerdán, la isla de Monpesler y la fuente del oro, donde analizaremos la calidad del agua y la presencia de vida (paradas 3-4). Por último y como un recorrido extra observaremos seguiremos la senda fluvial hasta la zona del hospital de Recoletas, la Alameda y el encuentro con el río Moscas, donde observaremos las nuevas plantaciones de vegetación autóctona (véase el itinerario de la excursión en la contraportada).



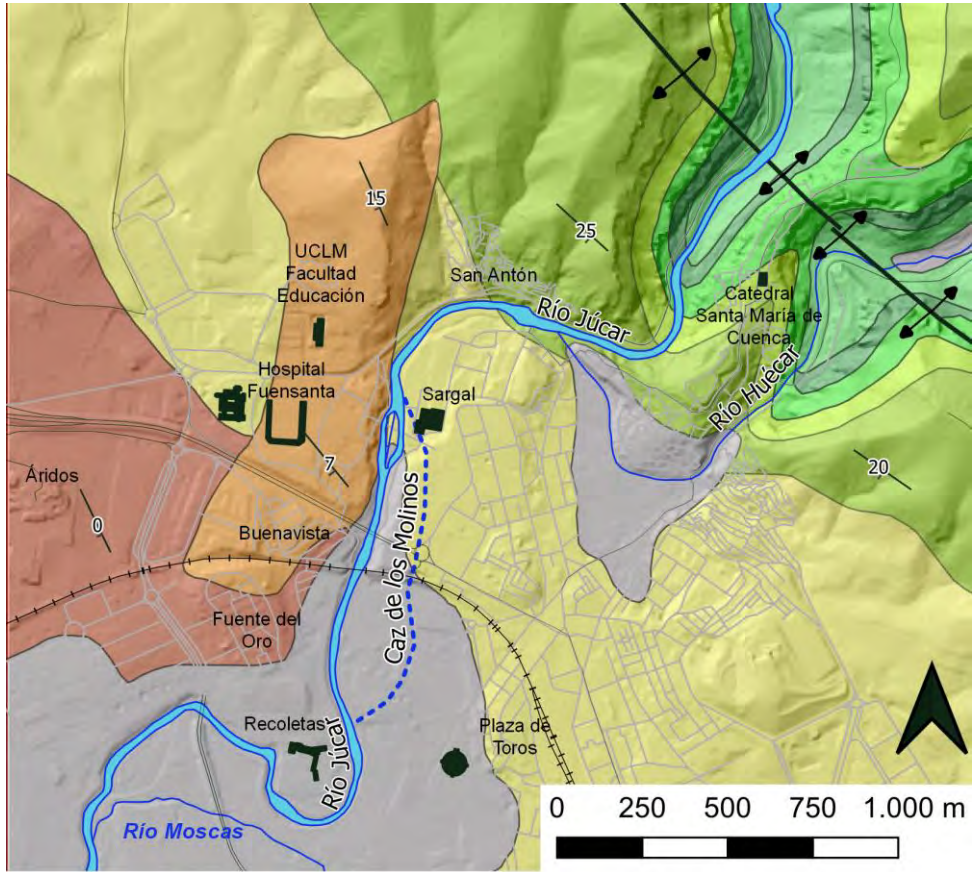
**Figura 1.** entorno del recorrido de la excursión: Arriba: dibujo desde el Este de la ciudad de Cuenca en 1565 (Anton van den Wyngaerde), Abajo: vista actual de la ciudad tomada de Google Earth.

El casco antiguo de la ciudad de Cuenca se construyó sobre un farallón de rocas del Cretácico Superior. Estos materiales se formaron hace 95-72 millones de años (m.a.). En aquella época esta zona estuvo ocupada por el mar donde se sedimentaban un conjunto de calizas, dolomías y margas conformando estratos, en principio horizontales. Posteriormente, fueron plegados durante la orogenia Alpina al formarse el Sistema Ibérico, y dieron lugar al anticlinal sobre el que descansa parte de la ciudad de Cuenca. Se trata de un anticlinal en rodilla (Fig. 2) sobre cuyo flanco se construyó la parte antigua de la ciudad. Mucho tiempo después, en el Cuaternario, tanto el río Júcar como su afluente el río Huécar excavaron su cauce en estas rocas generando la morfología típica de hoces, con escarpes verticales en las rocas más competentes. Estos materiales con importante porosidad y permeabilidad por fracturación y disolución pueden generar pequeños manantiales y fuentes como los que aparecen en el recreo Peral. Justo en el encuentro de ambos ríos los materiales por los que discurre el Júcar cambian, y por tanto la geomorfología (pendiente de su cauce). Aparecen sedimentos formados por margas, arcillas y yesos que se depositaron hace 72-60 m.a. (Facies Garum). Estos materiales conocidos comúnmente como *Greda*, al tener menos consistencia y características hidrogeológicas diferentes (poco permeables a efectos hidrogeológicos), generan un cauce meandriforme desde el barrio de San Antón hasta el encuentro con otro de los afluentes del Júcar: el río Moscas.

Cerca del Barrio del San Antón en la zona conocida como la Fuensanta, (margen derecho del río Júcar), aparecen unos conglomerados calcáreos masivos (Oligoceno, 34-23 m.a.) en clara discordancia con los sedimentos anteriores. En conjunto, estos materiales se interpretan como una secuencia de abanicos aluviales con coladas de derrubios hacia facies fluviales de muy poca sinuosidad. Estos materiales debido a sus características hidrogeológicas son capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades apreciables, por lo que el agua que se infiltra de las precipitaciones queda almacenada entres sus poros y grietas, saliendo por rebosaderos naturales como son los manantiales y fuentes. Esto es las fuentes de la Fuensanta. Lo materiales anteriores no se deben confundir con otros conglomerados que son de carácter silíceo con intercalaciones de arenas y arcillas (Eoceno, 50-34 m.a.) y que explotan actualmente una empresa de áridos y hormigones. Desde el puente de la autovía, el río Júcar ha ido dejando constancia de los sedimentos que transportaba formado suelos aluviales y terrazas que antiguamente eran utilizadas para la instalación de huertas y siembras debido a la fertilidad de los materiales geológicos.



Como habéis podido comprobar los ríos Júcar, Huécar y Moscas a su paso por el municipio de Cuenca atraviesan diferentes materiales geológicos que le conferirán las características hidrogeoquímicas a sus aguas y que analizaremos en las diferentes paradas.



## Leyenda

- |  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | Suelos aluviales y terrazas - Cuaternario                      |  | Calizas y brechas dolomíticas de Cuenca                       |
|  | Conglomerados calcáreos y arenas - Oligoceno                   |  | Dolomías de la Ciudad Encantada                               |
|  | Conglomerados silíceos, areniscas y arcillas - Eoceno          |  | Dolomías tableadas de Villa de Ves y margas de Casamedina     |
|  | Margas arcillas y yesos de Villaba de la Sierra - Facies Garum |  | Margas de Chera, dolomías de Villa Ves y margas de Casamedina |
|  |  |  | Anticlinal con indicación de buzamiento                       |

**Figura 2.** Mapa geológico de síntesis de la zona de la excursión modificado de la interpretación de mapa geológico 1:50.000 de la serie Magna (610).

## PARADA 1: EL CICLO DEL AGUA

**¿Qué diferencia hay entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas? Las superficiales las vemos pero, ¿dónde están las aguas subterráneas? ¿Están todas conectadas?**

En esta primera parada veremos las diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas y como están conectadas mediante el ciclo hidrológico. Los monitores nos explicaran como es esa relación y aspectos tan interesantes como la aparición de fuentes y manantiales. De hecho, en este punto hablaremos de la fuente del Rey, de la fuente de la cuesta de San Juan, de la Fuensanta (Fig. 3) y de la Fuente del Oro. Este apartado servirá para dar a conocer los diversos tipos de agua que almacenan los acuíferos y que pueden ser susceptibles de ser captados por pozos, drenados por manantiales que desembocan en los ríos.



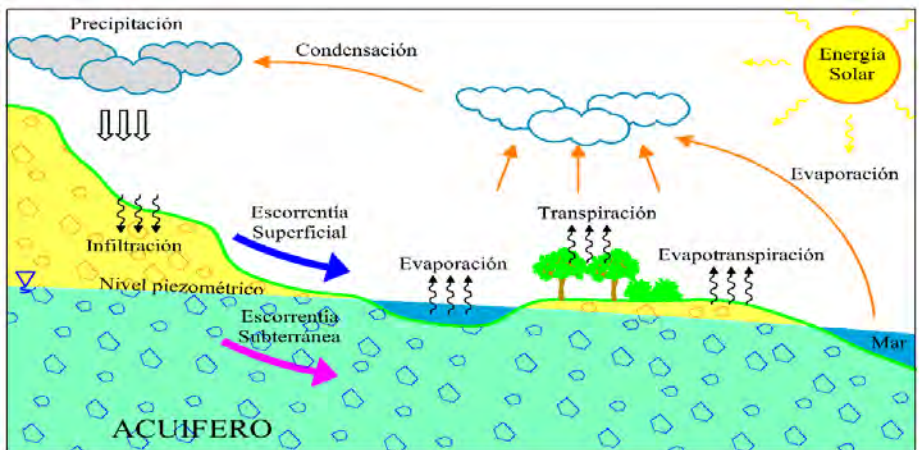
**Figura 3.** Aspecto actual de una de las fuentes y manantiales de la Fuensanta. Su ubicación original no es la actual y se encontraría en los alrededores de edificio Gil de Albornoz (en el contacto entre los conglomerados y las margas).



# PARADA 1: EL CICLO DEL AGUA

Los principales componentes del ciclo hidrológico son: a) precipitación, b) evapotranspiración, c) infiltración, d) escorrentía superficial y, e) escorrentía subterránea (Fig. 4). Parte del agua que llega a la superficie del terreno (precipitación) es contenida en la zona más superficial del suelo y puede ser devuelta a la atmósfera mediante el proceso denominado evapotranspiración. Otra parte del agua que llega a la superficie terrestre puede infiltrarse e ir descendiendo verticalmente por poros y grietas hasta una zona donde la totalidad de los poros y grietas están saturados de agua. Esta zona es la que se denomina acuífero. Otra parte del agua caída sobre la superficie discurre por el terreno en forma de escorrentía configurando lo que se denomina red de drenaje (ríos, arroyos, barrancos...). Gran parte del agua que circula por los ríos procede de las aportaciones subterráneas del acuífero sobre el que discurre. Si el río recibe aportes de agua subterránea desde el acuífero, se denomina río ganador o efluente, mientras que en la situación contraria se conoce como río perdedor o influente. Las fuentes y manantiales surgen cuando el nivel freático interseca la topografía del terreno. Los manantiales suelen ser fuente de agua para arroyos y corrientes y tener un valor estético y cultural importante.

***“Las aguas superficiales y las aguas subterráneas son dos manifestaciones de un solo recurso integrado”.***

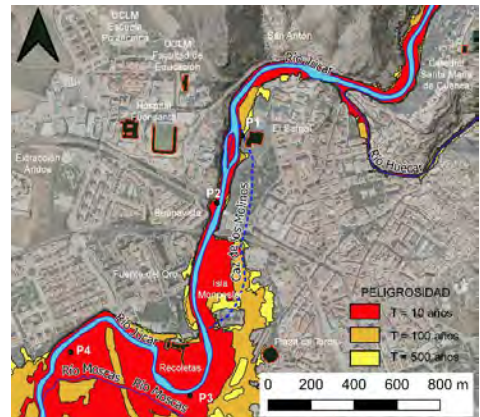


**Figura 4.** Esquema simplificado del ciclo hidrológico, tomado de Sanz, D. Castaño, S. Gómez-Alday J. J., García, M., & Simarro, A. (2013). Inventario de los manantiales que aportan agua al río Júcar en la provincia de Albacete y su descripción hidrogeológica. Sabuco: Revista de estudios albacetense: 139), 7-39.

¿Sabes cuánta agua se consume en la ciudad de Cuenca? ¿De dónde viene y qué usos se hace de ella? ¿Cuánta agua lleva el río Júcar y si siempre es la misma? ¿Por qué se desborda el Júcar? ¿En qué lugares?

En esta segunda parada se analizará la importancia que tiene el agua para nuestra sociedad. De hecho, el ser humano desde tiempos inmemorables ha buscado la utilización de los cursos fluviales como motor de subsistencia y desarrollo. De esta manera, ha explotado los recursos hídricos con antiguos y actuales aprovechamientos, tanto en la vertiente subterránea (por ejemplo el abastecimiento para uso de boca de la ciudad de Cuenca desde los manantiales de la Cueva del Fraile o Royo frío), como en su interacción con la componente superficial (tramo de aguas bravas, diques para inundaciones, antigua presa de Cerdán, Caz de los molinos, etc). Estos antiguos canales alimentaban molinos harineros, batanes y lavaderos de lana, hoy en día sepultados por las obras del siglo XX quedando alguna constancia de alguno de sus aliviaderos, que podremos divisar en nuestro camino.

El ser humano puede introducir cambios en el ciclo hidrológico que pueden afectar a las relaciones entre aguas superficiales y subterráneas e incluso modificar el régimen hídrico de los cursos fluviales. Uno de estos cambios puede provocar las inundaciones que por diversos factores (meteorológicos geomorfológicos, construcciones y actividades humanas e incluso cambio climático) están afectando al tramo del río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca y en el encuentro con el río Moscas en la zona de la Alameda (Fig. 5).

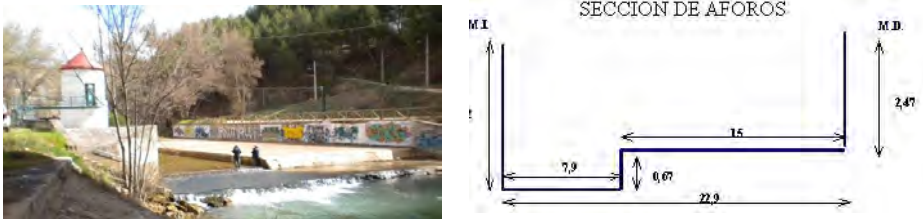


**Figura 5.** Mapa de peligrosidad por inundación de la zona de la excursión con la ortofoto de fondo, donde aparecen en colores (rojo, naranja y amarillo) la posible superficie inundada por los ríos en función de los periodos de retorno (10, 100 y 500 años).



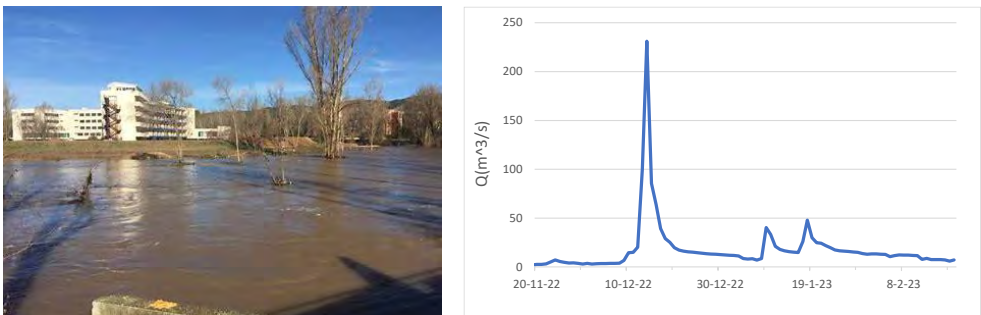
## PARADA 2. AGUA Y SOCIEDAD

Las causas por las cuales puede desbordarse un río en un determinado momento pueden ser naturales (propias de los ciclos regulares del río) o antrópicas que modifican la frecuencia e intensidad con la que se desborda el río. El principal factor que produce la inundación es el caudal del río. Esta variable depende de la velocidad del flujo y de la sección del cauce. Para determinar cantidad de agua (Caudal  $m^3/s$ ) que lleva el río Júcar a su paso por la ciudad de Cuenca se utilizará la estación de aforos que dispone la CHJ. Para ello mediremos el ancho del río (m), la altura de la lámina de agua desde el fondo (m), el coeficiente de rugosidad y la velocidad del agua (m/s).



**Figura 6.** Izquierda. Localización de la estación de aforo en la ciudad de Cuenca. Derecha: sección de la estación de aforos para caudales de aguas bajas y altas. Fuente: [www.chj.es](http://www.chj.es)

Cuando el caudal del río Júcar llega a ser tan grande ( $>200 m^3/s$ ) que supera la capacidad del cauce, desborda sus márgenes en forma de inundación. De hecho, la llanura aluvial o vega del río es la parte orográfica relativamente llana que contiene un cauce y que puede ser inundada ante una eventual crecida de las aguas.



**Figura 7.** Izquierda. Aspecto de la inundación en la zona de la Alameda. Derecha: Hidrograma de avenida de los últimos 6 meses, con el pico de caudal de Diciembre de 2023. Fuente: [www.chj.es](http://www.chj.es)

## PARADA 3: LA CALIDAD DEL AGUA

¿Qué tipo de agua llevan el río Júcar? ¿Es parecida a la de los manantiales? ¿Qué calidad química tiene?

En esta parada se analizarán diferentes tipos de agua que hemos recogido durante nuestro itinerario (agua de la Fuensanta, agua del río, agua de la fuente pública, etc...). Para ello los monitores nos enseñaran un equipamiento (Kit básico LaMotte de Calidad Agua (parte la información se ha obtenido del manual de instrucciones [www.lamotte.com](http://www.lamotte.com)) donde se analizan los siguientes parámetros:

**Bacterias coliformes (Bc):** se encuentran de forma natural en el tracto digestivo humano, pero son muy escasas o inexistentes en aguas no contaminadas, por lo que su presencia nos indicará contaminación por aguas residuales.

**Oxígeno disuelto (Od):** es importante para la salud de los ecosistemas acuáticos. Las aguas naturales con niveles de Od bastante altos suelen ser ambientes saludables y estables en los que puede haber diversidad de organismos acuáticos. Al ser un gas disuelto en el agua líquida su concentración dependerá de la temperatura.

**Fosfato:** el fosfato es un nutriente necesario para el crecimiento vegetal y animal, y es también un elemento fundamental en las reacciones metabólicas. Los niveles altos de este nutriente pueden llevar a un crecimiento vegetal excesivo, al aumento de la actividad bacteriana y a la disminución de los niveles de oxígeno disuelto. Proviene de varias fuentes, incluyendo los restos humanos y animales, la contaminación industrial y los vertidos agrícolas.

**Nitrato:** es un nutriente que necesitan todas las plantas y animales acuáticos para producir proteína. La descomposición de plantas y animales muertos y las excreciones de animales vivos liberan nitratos en el sistema acuático. El exceso de nutrientes como el Nitrato contribuyen al aumento del crecimiento vegetal y a su descomposición, promueve la descomposición bacteriana y, por lo tanto, reduce la cantidad de oxígeno en el agua.



## PARADA 3: LA CALIDAD DEL AGUA

**pH:** es una medida para saber si el agua es más ácida o básica. La escala de pH va de 0 (muy ácido) a 14 (muy básico), siendo 7 neutro. El pH del agua natural usualmente varía entre 6,5 y 8,2. La mayoría de organismos acuáticos se han adaptado a un nivel de pH específico, y pueden morir ante el más mínimo cambio en el pH del agua.

**Temperatura:** La temperatura afecta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, la tasa de fotosíntesis de las plantas acuáticas y la sensibilidad de los organismos a los residuos tóxicos, parásitos y enfermedades.

**Turbidez:** La turbidez es una medida de la claridad relativa del agua. El agua turbia se debe a la materia en suspensión y coloidal como arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica y organismos microscópicos.

Parámetro	Resultado	Puntuación
<b>Bacterias Coliformes</b>	Negativo Positivo	3 (Bueno) 1 (Pobre)
<b>Oxígeno Disuelto</b>	91-110 % 71-90 % 51-70 % <50%	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo) 1 (Pobre)
<b>DBO</b>	0 ppm 4 ppm 8 ppm	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo)
<b>Turbidez (UTJ)</b>	0 0-40 40-100 >100	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo) 1 (Pobre)
<b>pH</b>	4 y 5 y 9 y 10 6 y 8 7	1 (Pobre) 3 (Bien) 4 (Excelente)
<b>Nitratos</b>	5 ppm 20 ppm 50 ppm	2 (Bien) 1 (Regular) 3 (Pobre)
<b>Fosfatos</b>	1 ppm 2 ppm 4 ppm	4 (Excelente) 3 (Bien) 2 (Justo)

**Tabla I.** Clasificación de los resultados del análisis en una escala de 1 a 4 según equipo de bajo coste de control de la calidad del agua.: Fuente: [www.earthforce.org](http://www.earthforce.org)

**¿Qué tipo de vida albergan los ríos? ¿Cuál es su calidad ecológica? ¿se puede obtener un índice biótico de calidad? ¿Cómo se hace?**

Los ríos y su entorno son ecosistemas que albergan una gran biodiversidad (vegetación de ribera, macroinvertebrados, peces, anfibios, reptiles, mamíferos y aves) que necesita ser conservada e incluso mejorada.

Uno de los indicadores de calidad ecológica de los ríos es su vegetación de ribera (Fig. 8). Esta desempeña una labor fundamental en el mantenimiento de la biodiversidad ya que es refugio y alimento para el ecosistema, además de actuar como filtro, estabilizador de márgenes, corredor biológico o conector ecológico, etc... La vegetación típica en este tramo del río Júcar la podremos reconocer a través de los paneles informativos colocados a lo largo del recorrido (Fig. 8). Esta vegetación se ve amenazada y desplazada por especies invasoras que nos mostrarán los monitores. Las intervenciones humanas y otras perturbaciones hacen que las especies invasoras encuentren la oportunidad para establecerse en la orilla del río y modificar el ecosistema.

Otro indicador de la calidad ecológica del río Júcar es la presencia y taxonomía de macroinvertebrados acuáticos. Estos organismos son invertebrados (sin esqueleto interno) con un tamaño relativamente grande, visible para el ojo humano (0,5 - > 3 mm) que viven en ecosistemas acuáticos (en el sedimento, entre la vegetación sumergida, etc..). Al no tener una gran capacidad de trasladarse su supervivencia está ligada a la calidad del agua del río en ese tramo. Gracias a la facilidad de muestreo (trampa de hojas, manga entomológica, etc...) y su identificación taxonómica (relativamente) sencilla, se han utilizado como indicadores de calidad en muchos ríos para evaluar las posibles perturbaciones. Para ello, los monitores seleccionarán una zona del río a muestrear donde con las fichas de macroinvertebrados podremos clasificarnos en función de su taxonomía. Con todo ello rellenaremos las fichas del final de esta guía e indicaremos el índice de biótico y el índice de tolerancia a la contaminación (Fig. 9).



## Flora del río Júcar

La ribera del Júcar es hogar de numerosas especies vegetales. Árboles, arbustos, trepadoras y pequeñas plantas viven en sus márgenes. Sus caducias hojas puntan de distintas tonalidades las estaciones. Algunas son autóctonas, y otras llegadas de lejanas tierras. Algunas miden hasta 30 metros de altura, otras casi pasan desapercibidas. ¿Todas beben el agua del mismo río, nuestro río Júcar?

Ilustraciones elaboradas por Artista Gráfico Ilustrador de Grupo y Diseñador de un Ayuntamiento de un municipio español por Azeral Environmental Sciences



**Chopo**  
(*Humulus lupulus*)

Su rápido crecimiento y su madera ha impulsado su cultivo en las riberas. En primavera, sus semillas o "villanos" llenan el aire, el suelo y el río como copos de nieve.

Su característico envés blanco se deja ver con el empuje del viento. Sus grandes formaciones, las almohedas, han dado nombre a un importante paraje en la ribera del Júcar. ¿Sabes dónde está?

**Alamo blanco**  
(*Populus alba*)



Planta trepadora cuyos frutos, como hecho de viejo, producen un largo hilo que se utiliza para coser los mendigos para causar mayor lástima.

Amante del agua y escondite de huildas criaturas. Con sus tallos se hace la vara de las zambombas y con sus "panojas", escobas.

**Carrizo**  
(*Phragmites australis*)



**Clemátide o hierba de los pordioseros**  
(*Clematis vitalba*)



**Sargol o mimbres**  
(*Salix* sp.)

Con varias especies, los sargos son sinónimo de medicina y cestería. La aspirina procede del ácido salicílico y el mimbré de sus flexibles tallos. ¿Ya sabes a qué debe su nombre el paraje conocido como el Sargol?



**Olmo**  
(*Ulmus minor*)

¿Que pueblo no tuvo un olmo en su plaza o en sus rincones? Bajo sus sombrías se estimaron generaciones. Desde los abos 30 la grafiosis, causada por un hongo microscópico, acaba con gran parte de su población.



**Freneso**  
(*Praxinus angustifolia*)

Árbol venerado en numerosos lugares cuya madera, resistente y clásica, es muy utilizada. Se cuenta que la lanza con la que Aquiles mató a Héctor era de un freneso sagrado.



**Zaramora**  
(*Rubus ulmifolius*)

Evitada y buscada. Mientras que sus largos tallos espinosos niegan pasos por sosos y riberas; sus dulces frutos, con propiedades medicinales, alegrar el estómago del caminante.


























**Hiedra**  
(*Hedera helix*)

Retorciéndose, trepa en la naturaleza y en la historia. No hay árbol o muro que se escape a su abrazo. Coronas, bastones y ramos han sido vestidos por ella. La hiedra es imagen de la inmortalidad.

La vegetación asociada a la ribera se organiza en diferentes gradientes según sus necesidades fisiológicas (agua y nutrientes) en contacto con el agua aparecen carrizos y lirios; en suelo húmedo, sargos, mimbres y freneso; ya en tierra, y mucho siempre por el viento, chopos y álamos; y por último, abriendo paso a terrenos de huertas y cultivos.

**Figura 8.** Ilustraciones de la vegetación de la ribera del río Júcar- Tomado de grupo Desenfoque y Azeral Environmental Sciences en la revista "Júcar, vida y memoria de una ciudad", editada por Vestal Etnografía.

Grupo 1: Sensible		Grupo 2: Algo Sensible		Grupo 3: Tolerante	
<input type="checkbox"/>	Plecópteros 	<input type="checkbox"/>	Caballitos del diablo 	<input type="checkbox"/>	Mosquitos 
<input type="checkbox"/>	Efemerópteros/ Efímeras 	<input type="checkbox"/>	Libélulas 	<input type="checkbox"/>	Moscas negras 
<input type="checkbox"/>	Otras fríganeas 	<input type="checkbox"/>	Cochinillas de la humedad 	<input type="checkbox"/>	Gusanos planos 
<input type="checkbox"/>	Coridálidos/Perros de agua y Moscas de aliso 	<input type="checkbox"/>	Anfípodos 	<input type="checkbox"/>	Sanguijuelas 
<input type="checkbox"/>	Adultos /Larvas de escarabajos 	<input type="checkbox"/>	Tipúlidos 	<input type="checkbox"/>	Caracoles con pulmones 
<input type="checkbox"/>	Monedas de agua 	<input type="checkbox"/>	Almejas/Moluscos 	<input type="checkbox"/>	Lombrices acuáticas 
<input type="checkbox"/>	Caracoles con branquias 	<input type="checkbox"/>	Langostas de agua dulce 	<input type="checkbox"/>	Gusanos cola de rata 
<input type="checkbox"/>	Atericidos 	<input type="checkbox"/>	Frigáneas de hilado de la red 	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Número de Taxones	<input type="checkbox"/>	Número de Taxones	<input type="checkbox"/>	Número de Taxones

**Figura 9.** Clasificación de los resultados del análisis de macroinvertebrados según su taxonomía. Fuente: <https://leafpacknetwork.org/resources/manual/> [https://conexelriiu.museudelr.cat/docs/invertebrats\\_web.pdf](https://conexelriiu.museudelr.cat/docs/invertebrats_web.pdf). Taxonomía es la ciencia de clasificar organismos en función de sus características comunes y sus relaciones evolutivas. Se anota en cada taxón el número de invertebrados que observamos, y calculamos los índices bióticos:

- Índice ITC (Puntuación Índice de Tolerancia de la Contaminación)  

$$PTI = \frac{N^{\circ} TAXONES}{3} + \frac{N^{\circ} TAXONE S}{2} + \frac{N^{\circ} TAXONES}{1} = \dots$$
 . Más de 23: EXCELENTE; entre 17 y 22: BUENO; entre 11 y 16: REGULAR; 10 o menos: MALO
- Índice EPT (Efímeras, Plecópteros y Fríganeas). Se establece un porcentaje sobre los invertebrados totales, teniendo en cuenta estos tres taxones, que son los más sensibles a la contaminación. Un alto %, significa una buena calidad del agua.  

$$EPT = \frac{PLECÓPTEROS + EFÍMERAS + FRIGÁNEAS}{TOTAL DE INVERTEBRADOS} \times 100 = \dots$$
 % Cuanto más se acerque al 100%, mejor será la calidad del agua.

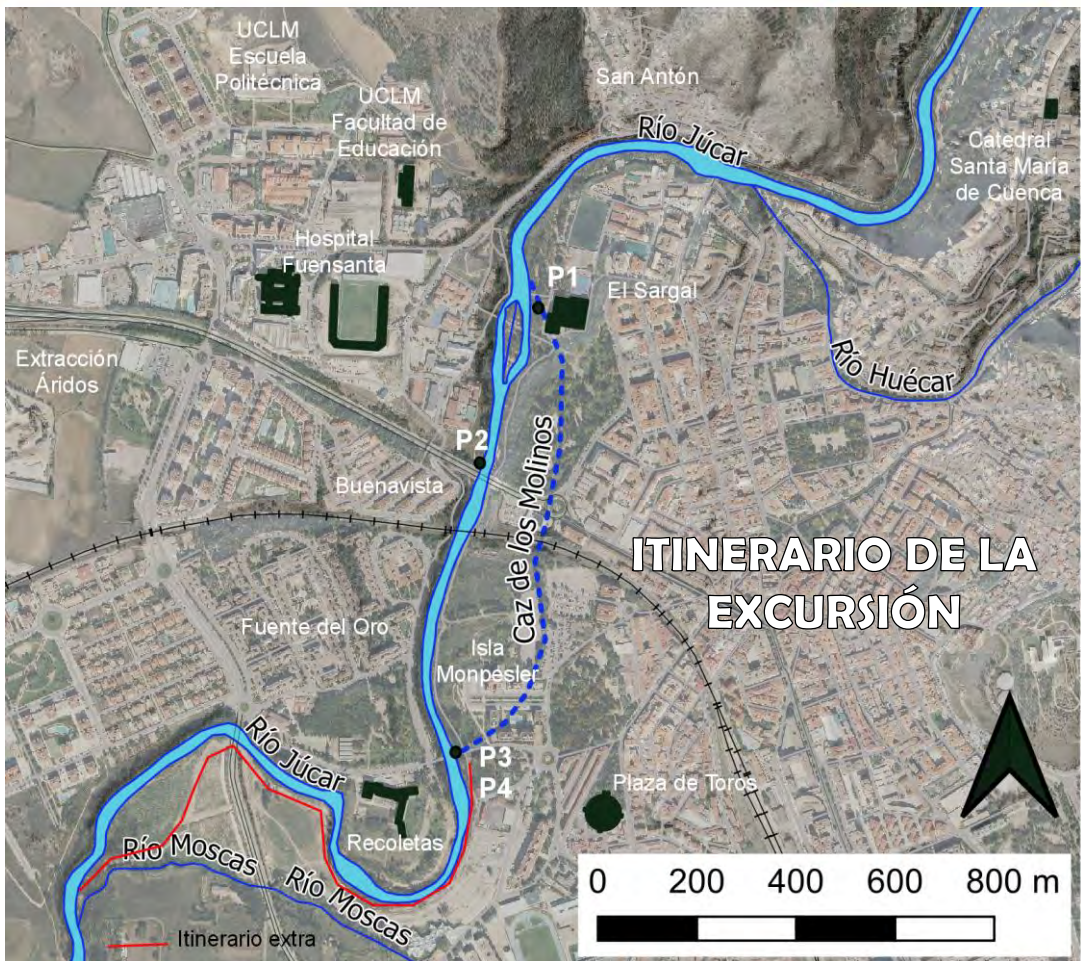




# HIDROGEODÍA

CUENCA

2023



**Organizadores y monitores del Hidrogeodía Cuenca 2023:** David Sanz, Julio Martín, Irene Prieto, Tirso Moreno, Marta Fernández, Andrea González, Paula Esteban.



# HIDROGEODÍA

## 2023

### Gondomar

Centro Neural de Gondomar  
**25 de marzo de 2023**

11:00 Inauguración da xornada.

11:15 Obradoiro: "Auga subterránea e as traídas veciñais"

12:45 Visita guiada pola zona

#### ACTIVIDADES DE BALDE

**Concurso de debuxo para primaria e secundaria:**  
**¿Por qué as augas subterráneas son tan importantes?**



Premios nos centros educativos de Gondomar  
Premio nacional: ¡Participa e gaña unha tablet!



**II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH**  
**Hidrogeodía 2023**





# Agua subterránea y traídas vecinales en Gondomar

**Centro Neural de Gondomar (Pontevedra)**  
**25 de marzo de 2023**



## EL HIDROGEODÍA

El Hidrogeodía es una jornada de divulgación científica que trata sobre la hidrogeología, que es la parte de las ciencias que estudia el agua subterránea, y la profesión del hidrogeólogo.

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consiste en una actividad gratuita, guiada por hidrogeólogos o hidrogeólogas y abierta a todo tipo de público, sin importar sus conocimientos en la materia.

El hidrogeodía se celebra en fin de semana más próximo a la celebración del Día Mundial del Agua (22 de marzo) con la intención de dar visibilidad a las aguas subterráneas, de las que existe escaso conocimiento entre la población general y que representan en torno al 20% del agua dulce del planeta.

La actividad se celebra en varias provincias españolas desde 2017. Esta edición se celebra simultáneamente en 22 puntos de la geografía española, en Andorra y en tres países iberoamericanos, Brasil, Chile y Ecuador.

La edición gallega del Hidrogeodía 2023 ha sido organizado por el grupo de investigación AQUATERRA de la Universidade da Coruña y la asociación de traídas de agua de Galicia, COXAPO, en colaboración con el Ayuntamiento de Gondomar.

Se trata de una actividad gratuita y abierta a todo tipo de público, sin importar los conocimientos en la materia. No obstante, se ha hecho una invitación especial a los miembros de las juntas de aguas del Ayuntamiento de Gondomar.

## IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL ABASTECIMIENTO EN GALICIA

Más de 650.000 personas se abastecen de agua subterránea en las áreas rurales de Galicia. Ante la carencia histórica de sistemas de abastecimiento de agua municipales, los habitantes de las zonas rurales e incluso de parte de las áreas metropolitanas de algunas ciudades, se organizaron y construyeron sistemas de abastecimiento autónomos. Estos sistemas están basados en la captación de manantiales, pozos excavados poco profundos y pozos de barrena de entre 20 y 80 m de profundidad.

Los usuarios de estos abastecimientos de agua son los responsables de la construcción de la infraestructura, su operación, mantenimiento, de la calidad del agua suministrada y de los trámites legales y administrativos necesarios para la captación y suministro de agua. En la mayor parte de los casos, con excepción de los sistemas construidos para una única vivienda o un número muy pequeño de usuarios, se constituyen cooperativas de usuarios o juntas de agua que son las encargadas de estas tareas. La gestión del servicio está basada en los modelos tradicionales de gobernanza de los bienes comunitarios que contribuyen a la sostenibilidad territorial, social y medioambiental de las zonas rurales.

En la actualidad, si bien se han ido creando sistemas de abastecimiento municipal en algunas poblaciones, estos sistemas autónomos continúan siendo mayoritarios en el rural. La dispersión de la población en

muchas áreas hace que un sistema de abastecimiento centralizado requiera una gran inversión inicial para la construcción de la infraestructura y unos costes de mantenimiento que lo hacen insostenible desde un punto de vista económico. Por otro lado, muchos de los vecinos prefieren mantener su sistema autónomo al resultar más barato el servicio y no ver que la conexión a la red municipal represente ninguna mejora. Este es el caso del municipio de Abegondo (A Coruña), cuyo abastecimiento de agua ha sido analizado en el marco de un proyecto europeo Life Rural Supplies del programa LIFE+, en el que sólo el 40% de la población está conectado al sistema de abastecimiento municipal del 90% al que podría dar servicio. Además, gran parte de las viviendas conectadas mantiene pozos o conexión a traídas vecinales para complementar el servicio y abaratar algunos usos como el riego de jardines o el llenado de piscinas. También es el caso del municipio de Gondomar, en el que se desarrolla la actividad este año.

El medio geológico está dominado en Galicia por rocas graníticas y metamórficas, como granitos o esquistos, que tradicionalmente se han considerado casi impermeables o de muy baja permeabilidad. Los recursos hídricos subterráneos se han considerado por ello escasos en la estimación de recursos y han sido descuidados en la planificación y gestión de las cuencas. Sin embargo, el uso tradicional de las aguas subterráneas poco profundas demuestra que la roca meteorizada y fracturada almacena un volumen de agua significativo que no debe ser ignorado. Los escasos estudios de los recursos hídricos subterráneos en Galicia estiman que la recarga se sitúa entre el 8 y el

20% de la tasa de precipitación (900-2500 mm/año).

Los recursos en general son más que suficientes para el abastecimiento de la población dispersa en el rural y los problemas de garantía de suministro observados en este tipo de abastecimientos suelen estar más relacionados con las deficiencias de diseño y gestión de las infraestructuras que con la disponibilidad de recursos.

## COXAPO

**COXAPO (Comunidad Xeral de Augas de Galicia) es una asociación de abastecimientos de agua comunitarios cuya misión es asesorar y apoyar la autogestión de sus socios, contribuyendo a mejorar la gobernanza de los sistemas y la calidad del servicio a las comunidades.**

El origen de COXAPO está en el abastecimiento comunitario de agua de Estás (Tomiño), construido y puesto en funcionamiento en los años 70 del siglo XX. Esta experiencia y otras de carácter empresarial de los miembros de la junta de aguas generaron conocimientos para el asesoramiento informal a otros sistemas sobre el uso del agua, el control de la calidad del agua y cuestiones administrativas y legales. Desde 2006, las comunidades de usuarios trabajan juntas en una asociación que les ayuda a gestionar sus sistemas. La asociación creció fuertemente a partir de 2010 al darse a conocer en toda Galicia actuando como interlocutor con la Xunta de Galicia, representando a los sistemas



privados de abastecimiento rural en la oposición a la implantación de una nueva tasa (el canon del agua). Actualmente, 150 sistemas de abastecimiento autónomos en Galicia dan servicio a cerca de 70,000 habitantes.

## ○ HIDROXEODÍA 2023

El hidrogeodía en Galicia, el hidrogeodía, tendrá lugar en el municipio de Gondomar, en la provincia de Pontevedra, el 25 de marzo de 2023.



Ubicación del municipio de Gondomar (Pontevedra) ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)).

La actividad comenzará con una **charla-taller sobre el agua subterránea en Galicia, en Gondomar y en su entorno**. Esta actividad estará dirigida por la hidrogeóloga Acacia Naves, profesora e investigadora en la Universidade da Coruña.

Se intentará dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el volumen de recursos hídricos subterráneos en la zona y cómo puede verse afectado por el cambio climático?
- ¿Qué tipos de acuíferos se pueden encontrar en la zona y cómo circula el agua a través de ellos?
- ¿Qué es una falla y qué papel tienen en la circulación del agua subterránea?
- ¿Por qué aparecen los manantiales y en qué lugares pueden encontrarse?
- ¿Cuáles son los principales problemas de calidad de agua en la zona?
- ¿Cómo proteger nuestro recurso?



Taller de aguas subterráneas en Galicia, en Gondomar y en su entorno.



Mapa geológico en Gondomar y su entorno (Preparado a partir de Mapa Geológico Continuo de España a escala 1/50.000 del IGME).

A continuación, Eva Álvarez técnica de COXAPO realizará una **presentación de sobre cómo realizar una gestión eficiente, sostenible y legal de una traída de agua comunitaria**. Se hará hincapié en diferentes problemáticas de operación, mantenimiento y gestión observadas en algunas de las traídas visitadas en Gondomar.

Por último, se realizará una visita a una de las traídas de Gondomar asociada a COXAPO y que recientemente ha incorporado mejoras importantes. Esta actividad estará dirigida por Rafael Carrera de COXAPO y nos acompañará, de ser posible, el Alcalde de Gondomar.



*Visita a un pozo de registro de la conducción que va de la captación al depósito en una traída de agua en el municipio de Gondomar.*

## AGENDA

### 11:00 Inauguración de la jornada

- Brais Misa, Concejal de Medio Ambiente, Transición Ecológica, Movilidad, Transporte y Voluntariado del Ayuntamiento de Gondomar.
- Joaquín Posa, Presidente de COXAPO

### 11:30 Obradoiro “As augas subterráneas e as traídas veciñais en Gondomar”.

Acacia Naves, Universidade da Coruña.

### 13:00 Presentación “Gestión eficiente, sostenible y legal de las traídas vecinales comunitarias”

Eva Álvarez, COXAPO.

### 13:20 Clausura

Paco Ferreira, Alcalde de Gondomar.

### 13:30 Visita de Campo.

Rafael Carreira, COXAPO  
Xunta Directiva da traída.

## ¿DÓNDE Y CÓMO LLEGAR?

La primera parte de la actividad tendrá lugar a las 11:00 en el **Centro Neural de Gondomar, en la capital municipal**.

Se trata de un centro social situado al sur de Gondomar en la orilla del río Miñor junto a las instalaciones deportivas de As Cercas. En el mismo edificio se encuentran las instalaciones de la Policía Local de Gondomar.





Centro Neural de Gondomar.

Dirección exacta:  
Avenida Don Diego Sarmiento de Acuña, 4  
36380 Gondomar (Pontevedra)

**La visita de campo saldrá a las 13:30 de delante del edificio y se realizará en una caravana de coches particulares, siguiendo a los organizadores.**

## CONSIDERACIONES GENERALES

**Se trata de una actividad gratuita dirigida al público general.**

No se requieren conocimientos previos de geología ni hidrogeología.

Los **menores de edad** podrán asistir si van acompañados de su padre/madre o tutor, que será responsable de los mismos y de las consecuencias de sus actos.

**El transporte se realizará en vehículos privados.**

No se requiere gran estado de forma para realizar el recorrido, pero **para la visita de campo es necesario caminar pequeñas distancias y puede haber pequeños desniveles**. El recorrido no tiene dificultad

técnica, ya que se realiza por una pista forestal.

Se aconseja el uso de indumentaria apropiada para el clima y el recorrido (calzado, ropa, agua, etc.).

**La organización no dispone de seguro de accidentes ni de responsabilidad civil por lo que los asistentes, por el hecho de asistir, eximen de responsabilidad a las entidades organizadoras.**

**No se hace cargo tampoco de accidentes en los desplazamientos, desperfectos, pérdidas o robos que pudiesen ocurrir.**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los voluntarios y voluntarias del **Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE)** la organización y coordinación de este evento a nivel nacional, por su motivación y su paciencia con los organizadores y organizadoras del evento en Galicia. Hacemos una mención especial a Almudena de la Losa y Carolina Guardiola.

Gracias también a los miembros de **COXAPO** por unirse a esta iniciativa y llevar la divulgación científica a la población rural, tantas veces excluidos de este tipo de actividades.

Este año, damos especialmente las gracias al **Concello de Gondomar y a sus comunidades de aguas de Vilaboa** por por acogernos y cedernos las instalaciones.





**HIDROGE 5 DÍA**  
**2023**

25 de març de 2023



**GIRONA**

## SURGÈNCIES DE L'AQUÍFER FLUVIO-VOLCÀNIC DEL PLA D'OTOT

### PARC NATURAL DE LA ZONA VOLCÀNICA DE LA GARROTXA

Visita guiada a peu per tres zones:

- Surgència de Sant Roc
- Pous d'abastament d'Olot
- Surgències i aiguamolls de la Deu i la Moixina

Excursió gratuïta

Places limitades - màxim 25 persones

Imprescindible reserva prèvia

e-mail: hidrogeodia.Olot@gmail.com

\*Cal indicar els noms de tots els assistents i un telèfon de contacte

Hora i lloc de trobada: 9h Font de Sant Roc

Hora i lloc de tornada: 14h Font de Sant Roc


**ORGANITZEN:**  Generalitat de Catalunya  
Departament d'Acció Climàtica,  
Alimentació i Agenda Rural

 **Parc Natural  
de la Zona Volcànica  
de la Garrotxa**

**UAB**  
Universitat Autònoma de Barcelona  
Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia

**COL-LABOREN:**  Ajuntament d'Olot

 **sigma**

 Agència Catalana  
de l'Aigua

 **Agbar**



**DIA  
MUNDIAL  
DEL AGUA**

22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua

¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?

Concurso del Agua Subterránea, 2023

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

¡PARTICIPA!



II Concurso de Fotografía  
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023

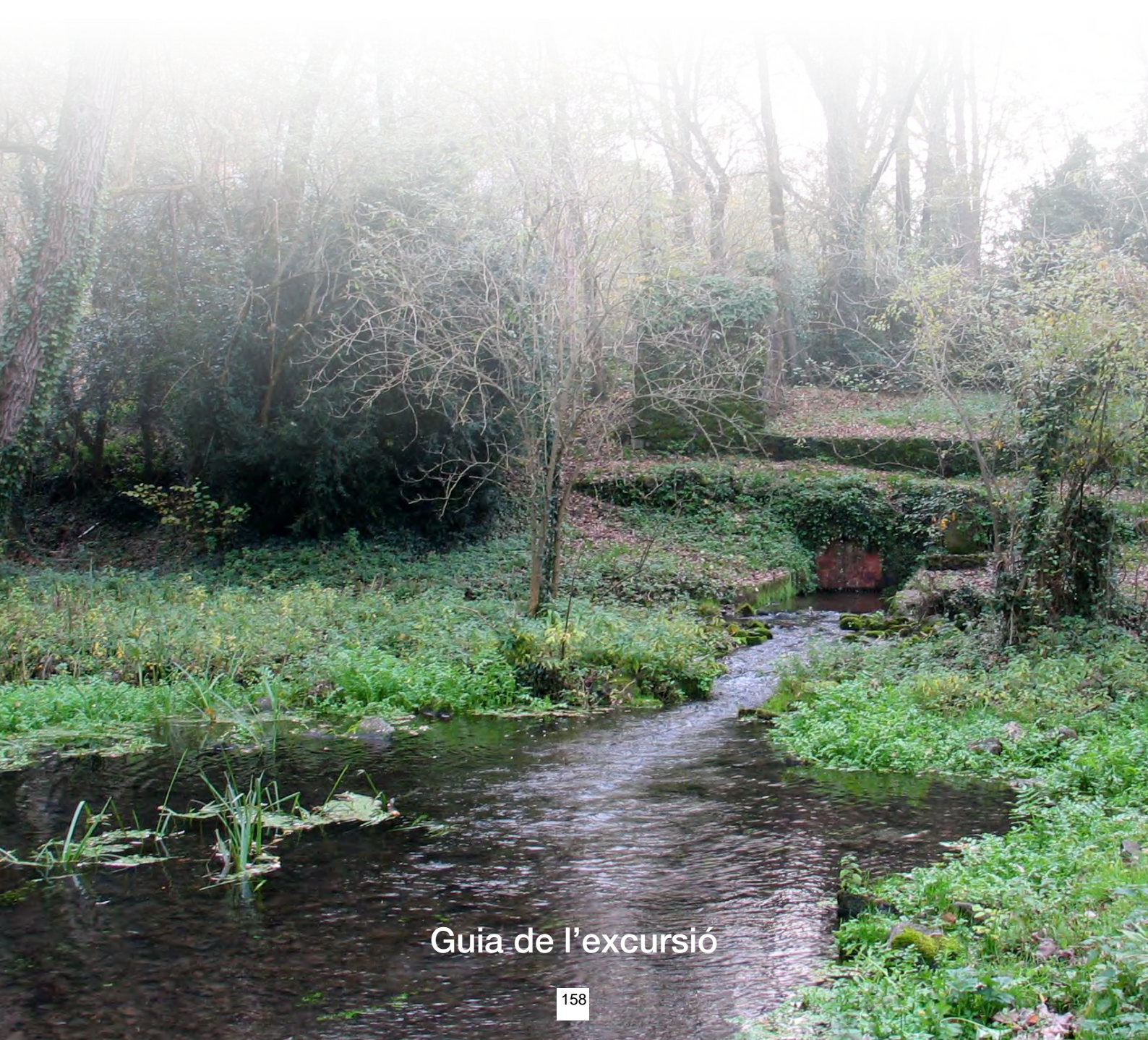




**25 de març de 2023**

# **Surgències de l'aqüífer fluviovolcànic del pla d'Olot**

**Parc Natural de la Zona Volcànica  
de la Garrotxa**



**Guia de l'excursió**



Olot, vall fresca i gemada,  
de policromat vestit;  
cada any apareix ornada  
d'albors de fajol florit.  
La volten prats delitosos,  
l'ombregen arbres frondosos,  
la ceneix el Fluvià...  
Olot és com una vella  
que escolta la cantarella  
que fan les fonts en rajar.

Fragment de la *Balada d'Olot* (1922)  
de Josep Maria de Garganta i Vila-Manyà

Aquesta guia ha estat elaborada per:

**Joan Bach**, Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia. UAB.  
**Emili Bassols**, responsable de l'Àrea de Patrimoni Natural del Parc Natural  
de la Zona Volcànica de la Garrotxa.

Olot, 25 de març de 2023.

Organitzen:



Col·laboren:



## Hidrogeodia

L'Hidrogeodia és una jornada de divulgació de la hidrogeologia i de la professió de l'hidrogeòleg, amb motiu de la celebració del Dia Mundial de l'Aigua (22 de març), promocionada pel Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). La hidrogeologia és una branca de la geologia que estudia les aigües subterrànies, tenint en compte les seves propietats físiques, químiques i les seves interaccions amb el medi físic, biològic i l'acció de l'home.

Aquest any, l'hidrogeodia de les comarques gironines s'ha organitzat al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, per donar a conèixer algunes de les deus i zones humides procedents de l'aqüífer fluviovolcànic i les captacions d'abastament d'aigua de la ciutat d'Olot.

Per arribar al punt d'inici, que són les **Fonts de Sant Roc**, cal dirigir-se a la zona sud-oest del nucli d'Olot. Des del centre es pot anar pel Passeig de Barcelona, a continuació per la carretera de Santa Coloma fins arribar a la cruïlla amb el camí de la Teuleria que porta directament a les Fonts de Sant Roc. Si s'arriba per l'Avinguda Sant Jordi, cal anar fins l'extrem sud, enllaçar amb la carretera de Santa Coloma i anar a trobar el camí de la Teuleria.

## 1. Introducció

Fer visibles les aigües subterrànies no és una tasca fàcil, ja que estan amagades a l'interior de les formacions rocoses, el que anomenem aqüífers. Això fa que necessitem buscar aquells llocs on les aigües surten a l'exterior, ja sigui de manera natural, com succeeix a les fonts o, de manera forçada, en els pous.

Amb aquesta premissa, la visita que hem preparat vol ajudar a fer visibles les aigües subterrànies i també a reconèixer la seva importància en un territori, on són pràcticament l'únic recurs hídric que s'utilitza per a tots els usos, també com a font de vida del seu paisatge. Els punts escollits, com es veurà, representen el passat i el present de l'abastament d'aigua a la ciutat d'Olot, des del segle XVII amb una població de menys de 3.000 habitants, fins a l'actualitat amb més de 36.000.

Començarem descobrint l'excavació i galeries històriques de les fonts de Sant Roc, passarem pel Parc Nou per conèixer l'actualitat de l'abastament d'Olot i acabarem als paratges de la Deu i la Moixina per admirar les moltes deus que hi brollen i els aiguamolls que s'hi estenen. Tornarem a Sant Roc seguint el curs del riu Fluvià i observarem altres deus de la seva riba. El recorregut aproximat de l'itinerari es mostra a la Figura 1. En total té uns 4,5 km, amb un desnivell pla.

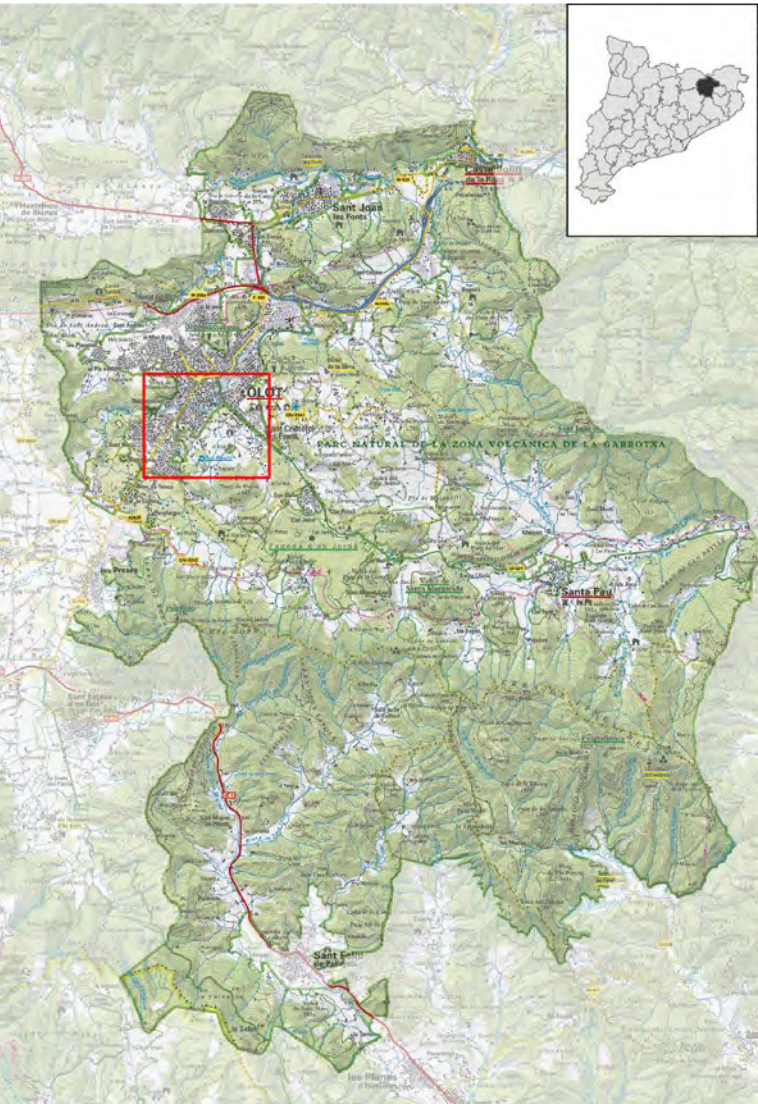


Figura 1. Mapa esquemàtic del recorregut de la visita. Imatge Google Earth.



## 2. Context geogràfic-geològic

La ciutat d'Olot és la capital de la comarca de la Garrotxa, situada al nord-est de Catalunya. El seu terme municipal forma part del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, espai natural protegit des de l'any 1982 (Figura 2), que en total presenta una població de més de 40.000 habitants i una important activitat econòmica, industrial i agropecuària.



**Figura 2.** Situació de la zona en relació al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa.

La major part del territori pertany a la conca del riu Fluvià que neix al sud de la comarca, als relleus del Collsacabra, travessa en direcció nord la plana d'en Bas i el pla d'Olot i, en arribar a Sant Joan les Fonts, segueix en direcció est fins a la seva desembocadura al golf de Roses. Per la banda est, el riu Ser drena la vall de Santa Pau i conflueix al Fluvià a l'alçada de Serinyà. Pel sud-est, el riu Brugent drena la vessant sud de la serra de Finestres cap al riu Ter.

Des d'un punt de vista geològic la zona del pla d'Olot està situada a la unitat morfològica anomenada serralada Transversal Catalana, que queda delimitada, al nord, pels relleus de l'Alta Garrotxa, al

sud per l'extrem nord del massís de les Guilleries, a l'oest per la depressió de l'Ebre i a l'est per la depressió empordanesa. Des d'un punt de vista litològic està integrada per un conjunt de formacions d'origen sedimentari del paleogen que reposen damunt d'un sòcol paleozoic.

Des de l'inici del neogen es produeix una resposta distensiva com a reacció a la fase compressiva alpina, que té com a conseqüència la formació de sistemes de falles, responsables de la fracturació de la cobertura paleògena i de la formació d'un conjunt de blocs esglaonats. Les fractures que delimiten aquestes plataformes o blocs s'agrupen en dues famílies principals: les primeres NO-SE i les altres de direcció E-O. Morfològicament la serralada Transversal és, per tant, un conjunt de blocs aixecats i enfonsats que s'intercalen entre la depressió empordanesa i la depressió de l'Ebre.

Al llarg del quaternari aquesta zona es veu afectada per una activitat volcànica que es superposa als materials paleogènics i interacciona amb els processos fluvials. Aquesta interacció és remarcable en els fons de les valls on, donat el caràcter episòdic de les manifestacions volcàniques, té lloc una superposició entre els materials volcànics que lliscaven per les antigues valls fluvials i els dipòsits al·luvials que conformen els aports detrítics dels rius (Figura 3).

Al mapa vulcanològic (Bolós et al. 2014) de la figura 3, es representen en diversos colors els diferents episodis de l'activitat del Camp Volcànic de la Garrotxa al llarg del quaternari. A la llegenda del mapa, la numeració dels episodis dona una edat relativa a les erupcions, de manera que el nombre 1 correspon a l'erupció del volcà Rocanegra (Santa Pau) l'episodi més recent, d'aproximadament fa uns 10.000 anys, mentre que el 54, el volcà de la Canya, és relativament una de les activitats més antigues que es coneixen, en relació amb la colada de Sant Joan les Fonts datada de fa uns 590.000-700.000 anys.

L'interès de conèixer aquesta dinàmica eruptiva d'aquest camp volcànic rau a entendre que, entre els diferents episodis volcànics, l'activitat de les aigües superficials anava erosionant per una banda, per obrir-se pas quan les colades li estaven barrant i, per l'altra, sedimentant els materials al llit del seu curs. Aquest procés sabem que en alguns llocs va quedar enterrat per una nova erupció, de manera que els llits del riu han quedat fossilitzats entremig dels materials volcànics, el que anomenem paleocanals. Una prova d'aquesta dinàmica es pot observar molt bé a Sant Joan les Fonts, després del salt del Molí Fondo, on es pot veure un paleocanal enmig de dues colades de lava. Aquesta relació entre colades de lava i paleocanals deguts als sediments aportats pel riu, que podem veure en directe, ens permet imaginar-nos que el subsol del pla d'Olot i, en general, de tota la zona on hi ha hagut activitat volcànica, pot tenir aquesta alternança de materials d'origen volcànic amb els d'origen fluvial. Amb aquesta idea podem afrontar la pregunta que ens podem fer: a on hi ha aigües subterrànies al pla d'Olot?



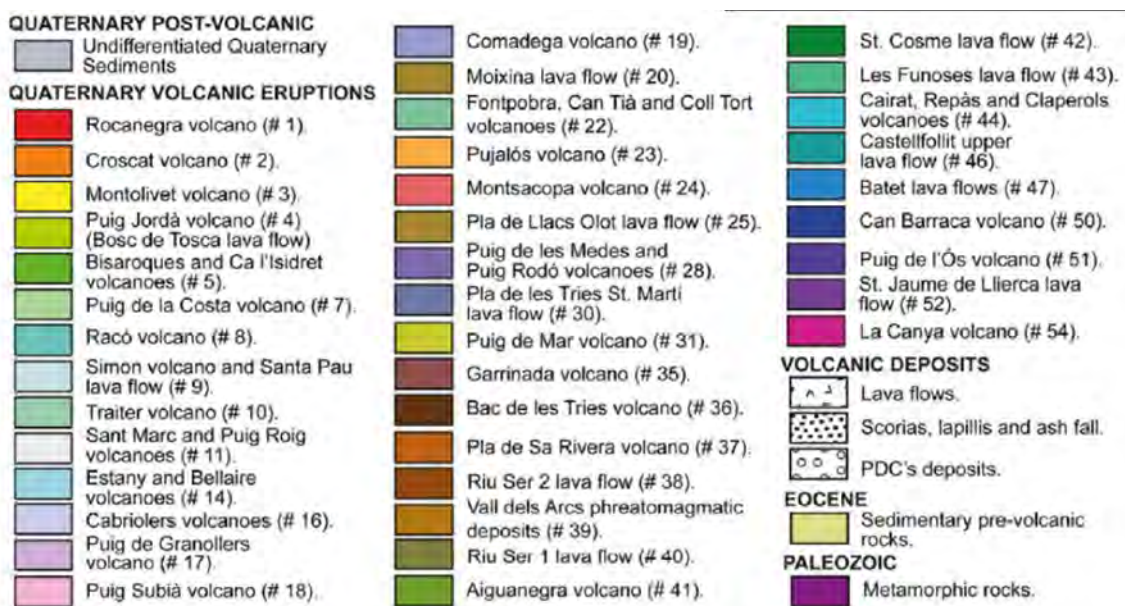
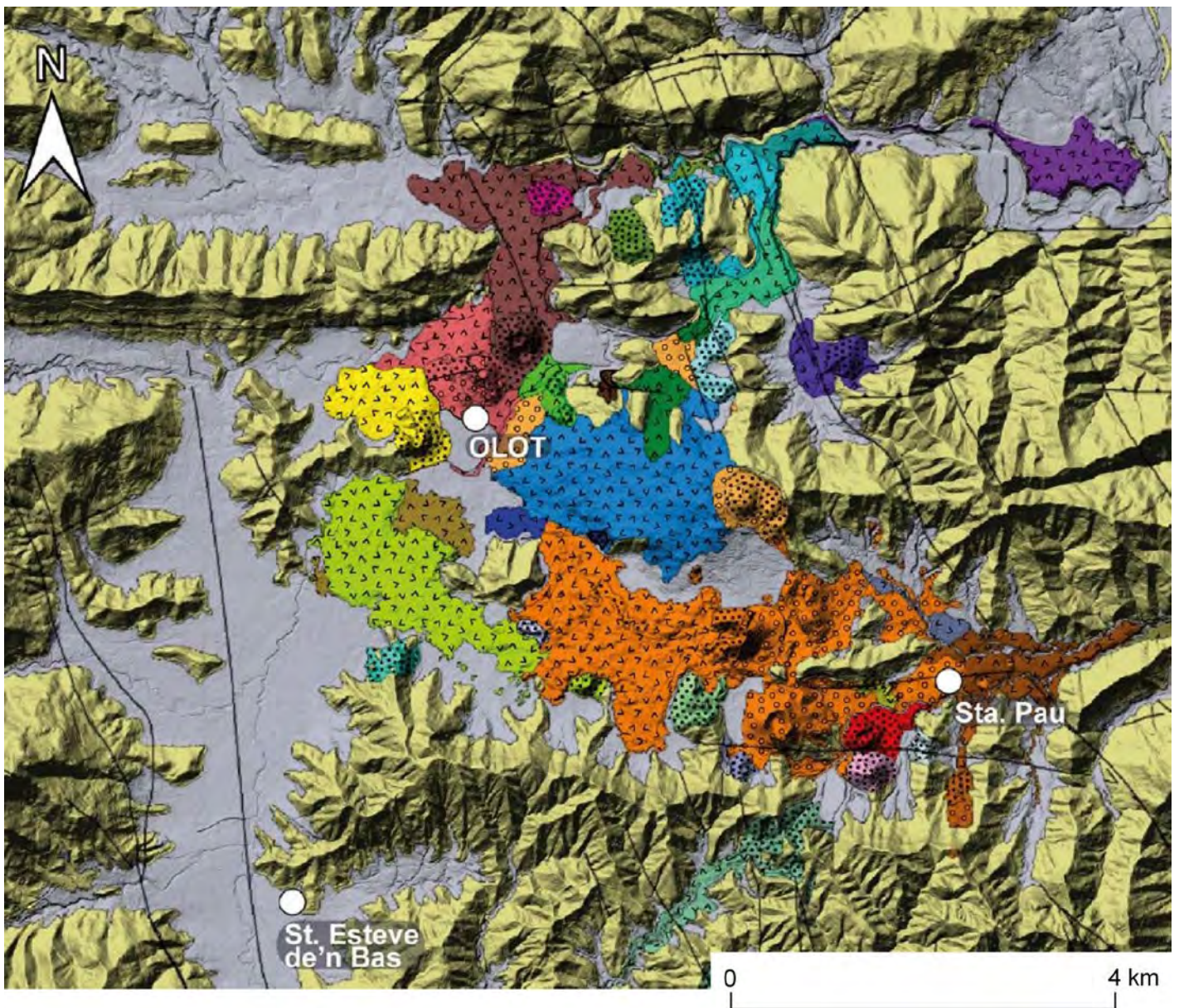


Figura 3. Fragment del "Volcanic stratigraphy map" de la zona del Pla d'Olot, modificat de Bolós et al., 2014.



### 3. L'aquífer fluvivolcànic

Els aquífers són els magatzems de les aigües subterrànies. Es donen quan les formacions rocoses són poroses i permeables, o sigui, poden tenir aigua dins de l'espai porós i, a més, aquesta aigua pot circular, de manera que la podem captar mitjançant un pou. Als materials recents, formats al quaternari, els principals aquífers són de tipus al·luvial. Estan relacionats amb la sedimentació fluvial que ha donat lloc a nivells de paleocanals de graves i sorres que són permeables per estar formades per partícules. Es tracta de porositat intergranular. Per la seva banda, als nivells de roques volcàniques, com les formades degut a les colades de lava, la permeabilitat depèn del grau de fracturació o d'alteració de la roca. Es tracta de porositat per fracturació. Així, els nivells de paleocanals són els més interessants per la captació d'aigües subterrànies.

Des del punt de vista administratiu, l'Agència Catalana de l'Aigua per a la gestió de les aigües subterrànies defineix una sèrie de masses d'aigua subterrànies (MAS), la que correspon a les formacions quaternàries d'aquesta zona, la designa com a fluvivolcànic de la Garrotxa (MAS-09), en la qual s'hi diferencia un aquífer fluvivolcànic lliure (2023141) i un aquífer fluvivolcànic confinat (2023142).

Des d'un punt de vista dels materials que formen aquesta massa d'aigua, es poden distingir, per una banda, unes zones on es dona directament la interacció entre l'activitat volcànica i la dinàmica

fluviotorrencial, esmentada en el context geològic (Figura 4). Així, s'ha format un gruix de materials quaternaris que poden superar els 100 m, on s'hi han anat alternant nivells volcànics de piroclastos, sobretot, de mida greda o de colades de lava, amb sediments al·luvials o lacustres. Aquest conjunt de materials forma un aquífer multicapa amb nombroses surgències que donen lloc a aiguamolls i a una xarxa de rieres que conflueixen al riu Fluvià, la principal artèria fluvial del Parc Natural.

Per altra banda, a les parts altes de les valls del riu Fluvià i de les rieres de Bianya i de Riudaura, no hi ha dipòsits de materials volcànics, però la seva sedimentació fluvial ha estat afectada per l'activitat volcànica que va envair les seves valls i va ocasionar l'estancament de les aigües en zones lacustres que es van anar omplint per l'alternança de dipòsits al·luvials, lacustres i col·luvials a les zones de marge. Les planes d'aquests rius i rieres, abans d'entrar a la zona volcànica, es poden considerar aquífers de tipus al·luvial (Figura 4), formades per materials detrítics, des de graves i sorres a materials fins: llims, argiles i nivells lacustres amb matèria orgànica. Tot plegat forma aquest aquífer de tipus al·luvial que a la capçalera i als marges de la vall correspon a un aquífer lliure i a la zona central, amb gruixos de més de 50 m, els nivells permeables més fons estan confinats per nivells de materials poc permeables. Els nivells més fons poden actuar com a formacions menys permeables, anomenades aquífards.

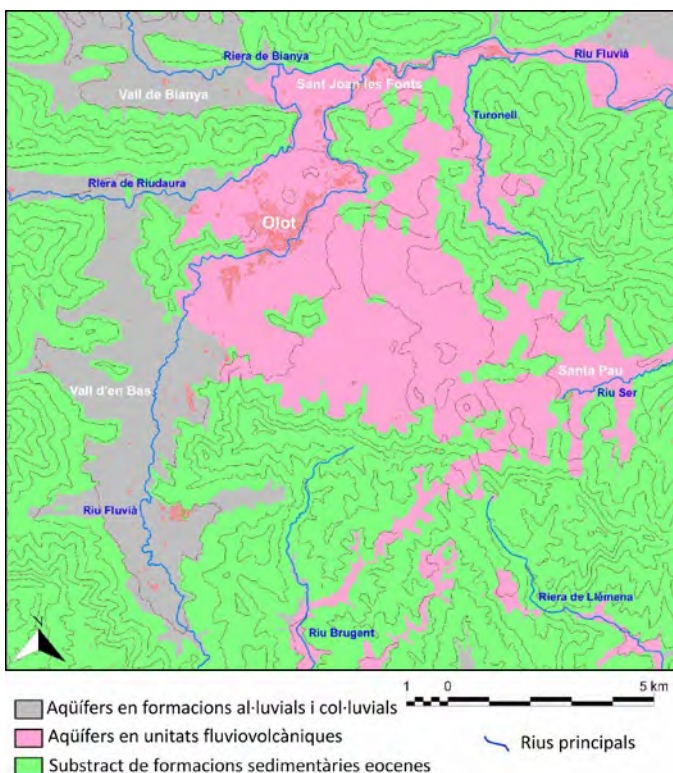


Figura 4. Mapa esquemàtic de la situació piezomètrica dels aquífers quaternaris, tardor de 2005 (Bach, 2005).

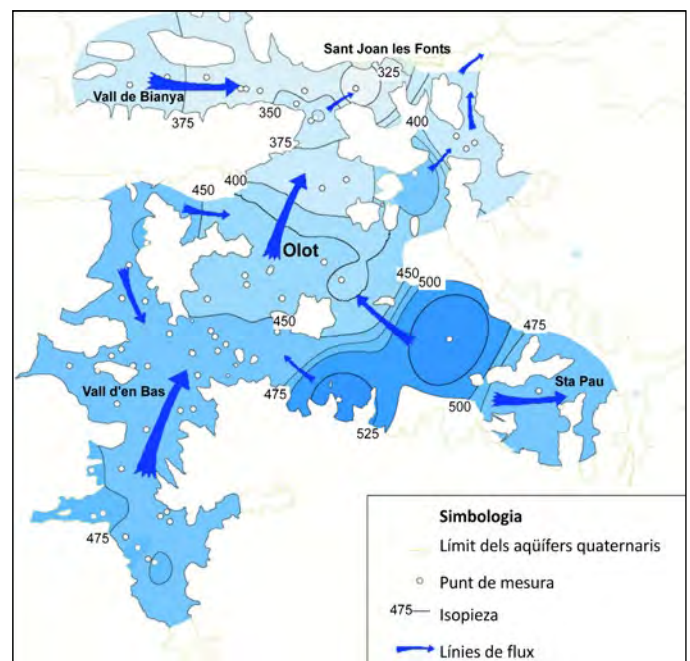


Figura 5. Mapa esquemàtic de la situació piezomètrica dels aquífers quaternaris, tardor de 2005 (Bach, 2005).

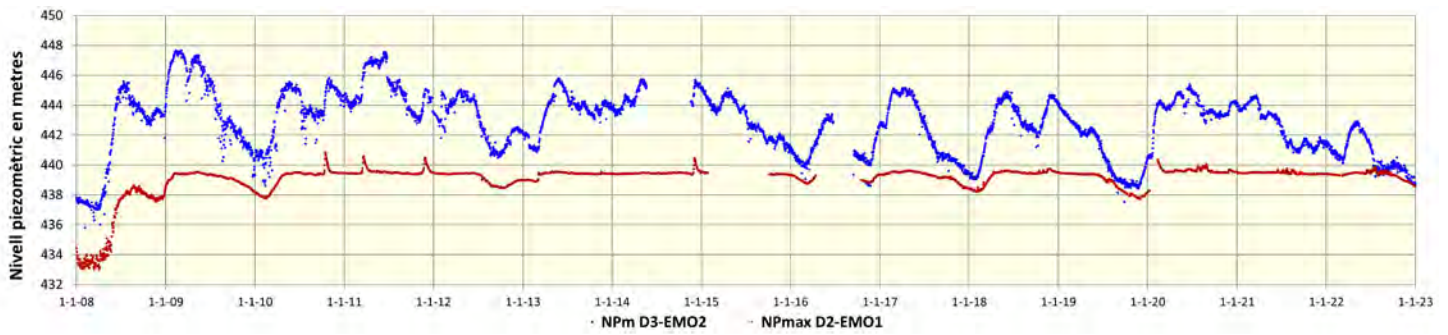


Figura 6. Oscil·lació piezomètrica dels nivells aqüífers del fluviovolcànic del Pla d'Olot.

Cal tenir present que les aigües subterrànies, dins dels aqüífers, circulen des de les zones de més càrrega hidràulica (alçada piezomètrica) cap a les zones de menor càrrega. Per conèixer aquesta càrrega es mesura l'alçada de l'aigua als piezòmetres o pous. En els estudis piezomètrics realitzats, a partir de campanyes de camp de mesures del nivell de l'aigua als pous, s'observen les direccions principals del flux subterrani (Figura 5), que indiquen que la circulació va descendant des de les cotes més altes de la vall d'en Bas, zona alta del Crosat i vall de Bianya, cap a Olot, la Canya, Sant Joan les Fonts i Castellfollit de la Roca.

La mesura del nivell piezomètric serveix per conèixer l'estat dels aqüífers des del punt de vista de la **quantitat**, o sigui, de l'aigua emmagatzemada. Si es fa un seguiment continuat en el temps es poden veure les tendències en l'oscil·lació del nivell de l'aqüífer en relació amb la recàrrega per les precipitacions i les extraccions pels diferents usos. Al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa des de l'any 2005 es fa un seguiment a partir de sensors que mesuren en continu el nivell piezomètric. Un exemple d'aquest seguiment el podem veure a la gràfica de la Figura 6, on s'observa el comportament estacional de l'aqüífer fluviovolcànic a la zona de Sant Roc, en blau l'oscil·lació piezometria de l'aqüífer profund i en vermell d'un nivell més superficial (Bach, 2022).

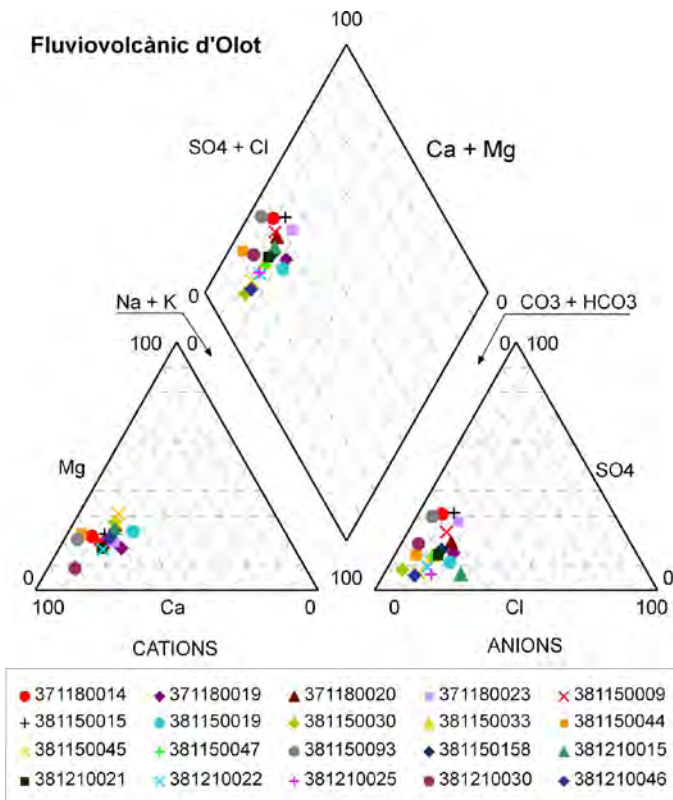


Figura 7. Diagrama Piper de la composició química de les aigües de l'aqüífer fluviovolcànic.

L'altre aspecte a tenir en compte de les aigües subterrànies és la seva **qualitat**. En els estudis d'hydroquímica realitzats s'ha posat en evidència que la composició química, pel que fa als ions majoritaris presents, és bicarbonatada càlcica, tal com ho reflecteix l'agrupació dels punts al voltant dels vèrtex de calci i bicarbonat, al diagrama de Piper realitzat a partir de 20 mostres d'aigua d'aquest aqüífer (Figura 7).

Ara bé, si s'agafen els nitrats com a indicador de potabilitat química de l'aigua, en els seguiments realitzat pel Parc Natural del 1994 fins al 2005 i els realitzat per l'Agència Catalana de l'Aigua i el Consorci SIGMA del 2005 fins a l'actualitat, s'ha trobat un increment de la seva concentració en els pous i fonts amb un origen de l'aigua més superficial. A la Figura 8 es pot veure com la concentració de nitrats en algunes de les fonts de pla d'Olot assoleix nivells propers al límit de potabilitat.

L'increment de la concentració de nitrats reflecteix el major ús de fertilitzants en les activitats agropecuàries. S'ha vist que la seva concentració en els nivells aqüífers més superficials depèn de l'acumulació al sòl dels fertilitzants i la seva posterior mobilització quan es donen episodis de precipitació importants. Per això s'observa l'oscil·lació de valors en la gràfica de la Figura 8.



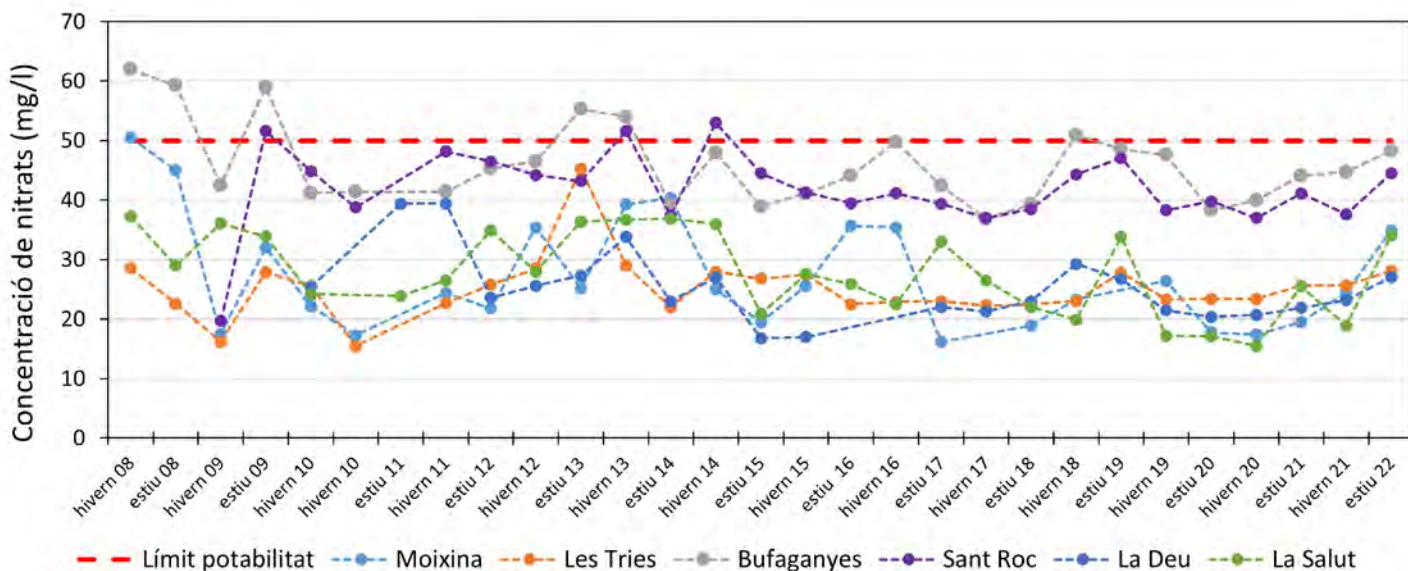


Figura 8. Concentració de nitrats a les principals fonts del Pla d'Olot, a partir de les dades del Consorci SIGMA.

## 4. Itinerari hidrogeològic

### Parada 1: Les fonts de Sant Roc

Són una de les fonts més emblemàtiques i més importants de la ciutat d'Olot des d'un punt de vista històric. La urbanització de tot el paratge tal com el veiem avui (Figura 9) és obra de finals del segle XIX i començament del segle XX, segons Danés (1977), però les obres de la mina per obrir l'aiguaneix tenen una inscripció que posa 1619 (Figura 10), juntament amb una altra que diu 1837. Aquestes referències ens transporten a la utilització de l'aigua d'aquesta surgència per canalitzar-la cap a Olot. De fet, encara avui es pot veure la galeria que internament conduïa l'aigua fins la sortida prop del pont de Sant Roc (Figura 11). Sembla que les primeres conduccions

serien del segle XVII i feien arribar l'aigua al centre d'Olot. Aquesta utilització continuada en el temps fa que es disposi de dades del rendiment de la surgència. Danés (1977) fa referència a un aforament de Cordomí, l'any 1898, que donava un cabal d'un 14 l/s, corroborat per un altre de 1911 de Bascaló. A començament del segle XX, mossèn Josep Gelabert cita un cabal d'uns 21 l/s. Les diferències poden ser degudes a reformes i millores fetes a la mina, degut a l'augment de les necessitats d'aigua potable a Olot. En tot cas es pot acotar el cabal entre 10 i 20 l/s.

Les obres de la mina se situen al marge dret del riu Fluvià, a una cota d'uns 440 m, excavada en la colada basàltica del Bosc de Tosca, que actualment s'atribueix al volcà de Puig Jordà. Aquesta colada inicialment va barrar el pas al riu Fluvià, que poste-



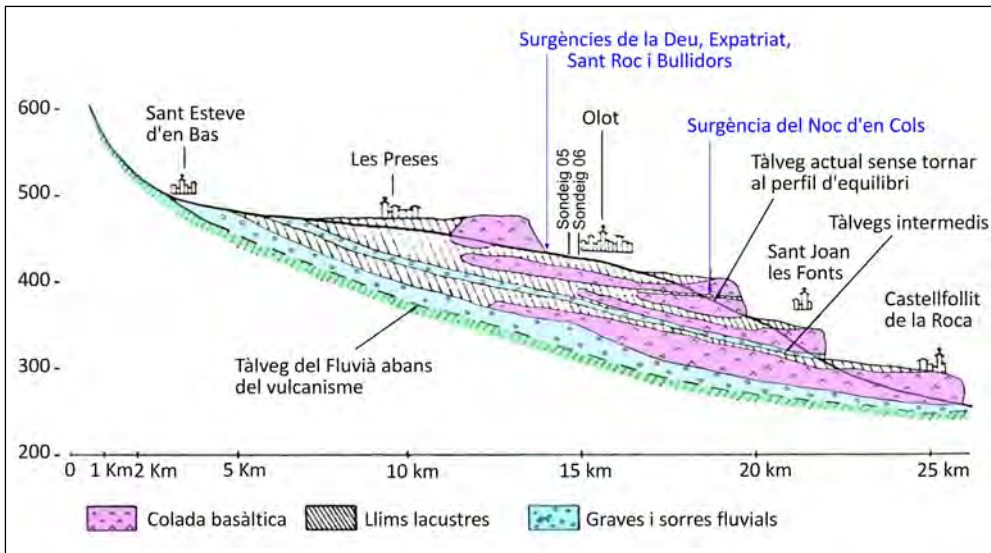
Figura 9. Foto de la font de Sant Roc.



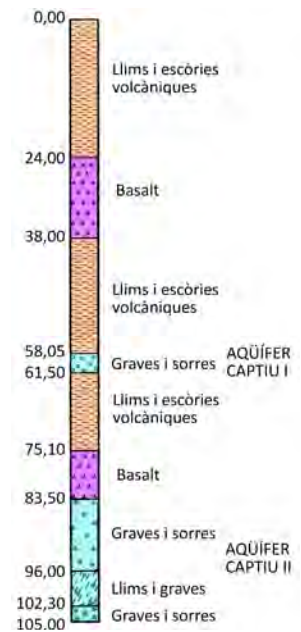
Figura 10. Mina de les fonts de Sant Roc.



Figura 11. Galeria de conducció de l'aigua a les fonts de Sant Roc.



**Figura 12.** Esquema de l'ompliment quaternari del subsòl d'Olot, modificat de Fayas i Domenech, 1974.



**Figura 13.** Columna litològica del pou experimental per l'abastament d'aigua a Olot, modificat de Fayas y Domenech (1974).

riorment es va obrir un nou camí, erosionant el límit entre els materials volcànics i el substrat sedimentari de l'eocè.

L'erosió del riu Fluvià deixa al descobert el gruix de la colada, que a la seva base pot tenir un paleosol o nivells de graves i sorres de paleocanals travessats en alguns pous, pels quals preferentment circula l'aigua.

Aquesta surgència fa de sobreexidor del nivell aqüífer situat sota aquesta colada del Bosc de Tosca, de manera que en el seguiment piezomètric d'aquest nivell, en aquesta zona de Sant Roc, s'observa una resposta plana del nivell piezomètric a uns 439 m (Figura 6). Aquest nivell d'estabilització es dona quan el nivell de recàrrega és alt, mentre que en els moments de manca de recàrrega la pressió de l'aqüífer baixa i s'observa el descens del nivell que segurament també comporta un descens del cabal a la surgència.

En tractar-se de la surgència d'un nivell aqüífer relativament superficial, la qualitat de l'aigua es veu afectada més fàcilment per les activitats antròpiques que es desenvolupen al territori, tal com es posa de manifest la concentració de nitrats que se situa al voltant del 40 mg/l, amb alguns pics que arriben als 50 mg/l (Figura 8).

## Parada 2: Pous d'abastament d'Olot

L'abastament d'aigua a la ciutat d'Olot va començar amb les conduccions fetes a les fonts de Sant Roc ja en el segle XVII, tal com s'ha exposat en l'apartat anterior. A mida que la població va anar augmentant es van anar afegint altres punts com la Deu dels Bullidors, que aportava uns 4 l/s més; la construcció del pou Malagrida, inaugurat l'any 1931, amb un rendiment mitjà d'uns 25 l/s, i també la surgència

de la Deu Grossa, que es va canalitzar cap al centre d'Olot l'any 1946, amb una aportació d'uns 28 l/s (Danés, 1977).

De totes maneres, la recuperació econòmica i l'arribada d'immigració a la segona meitat del segle XX van comportar un notable augment de la població, que incrementa la necessitat de recursos hídrics. Per això, malgrat les aportacions que s'havien anat incorporant, a començament dels anys 70 s'inicia la recerca d'aigües subterrànies a partir d'un estudi del Servicio Geológico de Obras Públicas. Es van realitzar un total de 6 sondeigs de reconeixement, amb fondàries entre els 26 i els 115m, a les zones del Parc Nou i de les surgències de la Deu i la Moixina, que van permetre tenir una primera visió objectiva de la constitució del subsòl d'Olot, reflectida en l'esquema (Figura 12) realitzat per Fayas i Domenech (1974), on es representa l'alternança dels episodis volcànics i fluvials observada en els sondeigs.

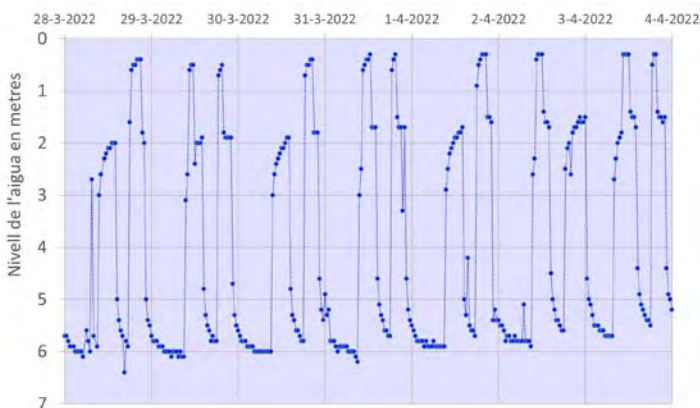
A partir d'aquest estudi, l'any 1972, es van construir un pou experimental de 105 m de fondària, per a l'abastament d'aigua potable a Olot. A la Figura 13 es presenta la columna dels materials travessats, en la qual destaquen els nivells de graves i sorres (paleocanals), el primer entre 58 i 61,5 m de fondària i l'altre per sota dels 83,5 m fins al final del pou, que té un tram més llimós entre 96 i 102,3 m. Aquests nivells de paleocanals són el que tenen una major permeabilitat i constitueixen els aqüífers, que, en trobar-se en profunditat sota materials poc permeables, estan confinats i són aqüífers que anomenem captius, que inicialment van ser surgents o artesianes. El nivell més profund de paleocanal és el que s'aprofita per a l'extracció de l'aigua.

A dia d'avui, la captació d'aigua per a la ciutat d'Olot consta de 4 pous situats en aquesta zona del Parc



Nou, dos situats dins del Parc, construïts als anys 70, de 105 m de fondària i dos més fora la tanca d'accés al Parc, de finals dels anys 80, de 107 m. Els cabals d'extracció oscil·len entre els 200 i els 240 m<sup>3</sup>/h, amb un volum d'entre 8.700 a 9.000 m<sup>3</sup>/dia. Això representa una mica més de 3 hm<sup>3</sup>/any.

Aquests importants cabals d'extracció provoquen un con de depressió al seu entorn molt considerable. El sensor instal·lat al Pou 1 reflecteix un descens del nivell de l'aigua de gairebé 6 m, en els moments d'extracció d'aigua (Figura 14), amb un règim d'exploració de més de 16 hores, en dos períodes diferents, aproximadament de 14 a 18h i de 22 a 10h del dia següent. A una distància d'uns 650 m, en un pou de control, s'observa una oscil·lació del nivell piezomètric amb el patró de l'extracció, de més de 2 m.



**Figura 14.** Oscil·lació del nivell de l'aigua al sensor del Pou 1 (Parc Nou) segons la dinàmica d'extracció per a satisfer la demanda d'aigua, a partir de dades facilitades per AGBAR.

Les anàlitzes recents fetes pel control de la qualitat de les aigües de consum, consultables al web del Consorci SIGMA i les dades històriques de la xarxa de qualitat del Parc Natural, mostren una constància i regularitat en els resultats dels principals ions. Per exemple, els nitrats són inferiors a 20 mg/l i la conductivitat elèctrica (a 20°C) que ens indica el totals de sals en dissolució oscil·la entre 550 i 590 µS/cm. Aquests resultats indiquen que l'aigua d'aquests nivells aquífers més profunds mantenen, de moment, una composició química d'origen natural sense contaminació antròpica important.

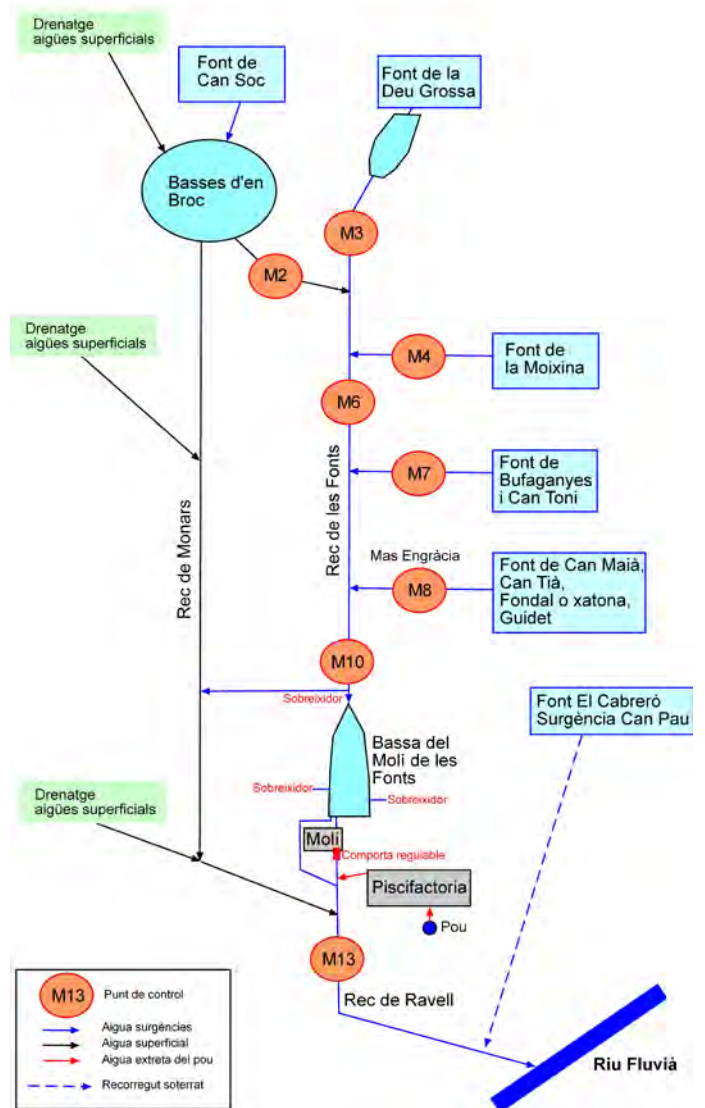
### Parada 3: Fonts i aiguamolls dels paratges de la Deu i la Moixina

L'ambient d'aiguamoll al voltant de les surgències els dona un alt valor natural, amb importància biogeogràfica i paisatgística. També tenen un interès turístic per als amants de la naturalesa, la fotografia i la pintura. Recentment, el Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya 2022-2027 ha considerat aquesta zona humida com una Reserva Natural Subterrània de la Massa Subterrània 09-fluviovolcànic de la Garrotxa, amb la denominació

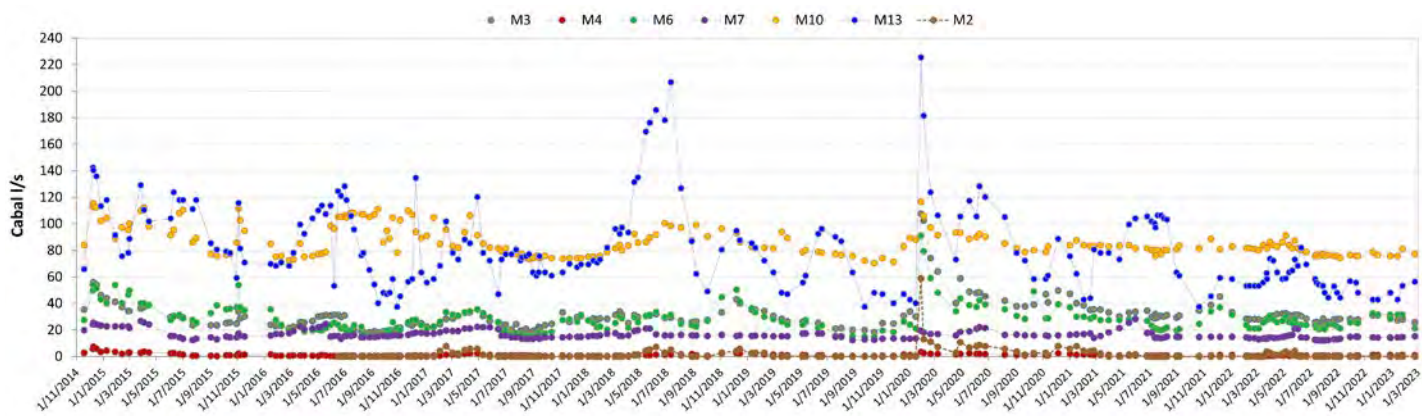
de "Basses d'en Broc i Aiguamolls de la Déu Vella (Massa Superficial H1040050)".

Aquestes surgències estan situades en una zona deprimida que rep el nom de pla dels Llacs, a una cota entre 442 i 430 m, limitada al nord i a l'oest pels relleus de la colada del Bosc de Tosca —que al barri de Bonavista assoleixen una cota d'uns 476 m—, a l'est, pel turó de Pujou de materials sedimentaris de l'eocè i, pel nord, queda oberta al curs del riu Fluvià.

Des d'un punt de vista geològic, la situació de les surgències és complexa per l'heterogeneïtat dels materials que hi conflueixen. Estan situades damunt de la colada basàltica del pla d'Olot, anomenada colada de la Moixina (Bolós, et al., 2014), que posteriorment fou recoberta per la colada del Bosc de Tosca (Figura 3). Entremig de les colades s'han travessat en alguns sondeigs gruixos de més de 20 m de llims, amb alguns nivells de graves i sorres. El flux de l'aigua dels nivells més permeables, d'acord amb la cartografia hidrogeològica (Figura 5), va del sud cap al nord, de manera que, per una banda,



**Figura 15.** Esquema de la canalització de l'aigua de les surgències i dels punts de control establerts, zona de la Moixina.



**Figura 16.** Evolució dels cabals a les surgències i recs de la zona de la Moixina des de l'inici al novembre de 2014 fins a finals del 2022. Les sigles corresponen a les següents estacions d'aforament: M3-Rec de la Deu Grossa, M4- Font de la Moixina, M6- Fonts Moixina + la Deu + cal Soc i Estanyes d'en Broc, M7-Fonts de la Bufaganya + Can Toni, M8-Fonts la Guidet + Fondal o Xatona i de can Maià, M10-Suma de M8+M6+M7 (abans de la bassa del molí de les Fonts), M13- Rec Ravell. Per a la seva ubicació veure Fig. 15.

aquests nivells queden per sota o a la part inferior de la colada del Bosc de Tosca i per l'altra, el gruix considerable de sediments fins impedeix la seva circulació i afavoreix la seva surgència a favor de plans de fracturació, que es posen en evidència en l'orientació de les deus en una direcció N-S. En total es coneixen més d'una dotzena de punts de surgència. Les fonts més conegudes són: la de la Deu Grossa, la Moixina, la de Bufaganyes, la de Can Soc, la de Can Toni, la de Can Rabeig, la de Can Tia, la de Can Maia, la del Fondal o Xatona, la de Guidet, la font del Cabreró i la de Can Pau. A finals del segle XIX es van portar a terme les obres de drenatge dels terrenys pantanosos i es va canalitzar l'aigua de les surgències cap el rec de les Fonts, que les va recollint i després de la bassa del Molí de les Fonts, les aboca al rec de Ravell, que les porta al riu Fluvià (Figura 15). L'any 1990 es va fer una restauració dels aiguamoxos de la Deu Vella i l'any 1991 es van remodelar les basses d'en Broc, que actualment formen part del Catàleg d'Espais d'Interès Preferent del Parc Natural i de l'Inventari de Zones Humides de Catalunya. El seu règim d'inundació amb aigües procedents de la font de Can Soc i dels escòrracs superficials del turó de Pujou possibilita la presència de diverses comunitats vegetals i animals associades a les zones humides.

L'interès del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa de quantificar els cabals de les surgències es va iniciar l'any 1995 amb el treball de Baserba (1996), gràcies a qual es van instal·lar unes estacions d'aforament en els recs que recullen l'aigua de les surgències. Posteriorment, dins del programa general d'estudi de la hidrogeologia del Parc Natural, l'any 2014 es va reprendre la mesura dels cabals en una sèrie d'estacions que estan representades a la Figura 15. En aquestes estacions s'ha regularitzat la secció de pas i s'ha instal·lat un regle limnimètric per registrar l'alçada de l'aigua. Paral·lelament es fan mesures de la velocitat de l'aigua per poder calcular el cabal mitjançant una corba de despesa.

El seguiment des de l'any 2014 fins a l'actualitat, dels cabals de les estacions d'aforament, es pot observar

a la Figura 16. Aquest control permet conèixer les oscil·lacions en les aportacions de les surgències d'aquesta zona i la seva relació amb els períodes de recàrrega (Bach, 2022). La surgència més cabalosa és la Deu Grossa, amb una mitjana en el període de seguiment de 31 l/s.

Cal destacar que la qualitat de les aigües no és exactament igual a totes les surgències. Si prenen com a indicador els nitrats, a la gràfica de la Figura 8 es poden observar les concentracions de tres de les principals deus: la Deu Grossa, Bufaganyes i la Moixina. Les diferències de valors entre elles són significatives i indiquen diferents circuits o línies de flux. Unes poden ser més superficials, com la de Bufaganyes, que presenta continguts més alts, i altres de circuits més fons, que mantenen concentracions més baixes, com la font de la Deu Grossa. Aquesta casuística confirma la heterogeneïtat geològica dels punts de surgència.

### Referències citades al text:

- Bach, J. (2005). *Tasques de control mediambiental de l'aqüífer del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, any 2005*. PNZVG informe intern, 146 pàg.+ vol. annexes i mapes.
- Bach, J. (2022). *Seguiment de l'oscil·lació piezomètrica. Aqüífers quaternaris PNZVG. Any 2022*. DAAC. PNZVG informe intern, 70 pàgs.
- Bach, J. (2022). *Treballs d'assessorament i seguiment del sistema hidrogeològic del PNZVG. Any 2022*. DAAC. PNZVG informe intern, 32 pàgs.
- Baserba, C. (1996). *Estudi Hidrològic i Limnològic de l'àmbit del Pla Especial La Moixina – Pla de Llacs*. Propostes de Gestió. PNZVG, 156 pag.
- Bolós, X.; Planagumà, Ll.; Martí, J. (2014). *Volcanic stratigraphy of the Quaternary La Garrotxa Volcanic Field (north-east Iberian Peninsula)*. Journal of Quaternary Science, 29 (6) 547-560.
- Dané i Torras, J. (1977) "Història d'Olot. Notes geogràfiques". Aubert-Impressor.
- Fayas, J.A.; Doménech J. (1974). *Morfologia volcànica de Olot y su interés hidrogeològic*. Revista Agua, julio-Agosto, 1974. núm. 85.



22 de març  
**Dia Mundial de l'Aigua**  
#DiaMundialAigua



#DocAmbCat



Diputació  
Barcelona



Generalitat  
de Catalunya



## Per completar la visita de l'Hidrogeodia a Olot:

Treballs sobre Hidrogeologia de la Garrotxa,  
sobre la Zona Volcànica de la Garrotxa,  
consultables en digital i/o en paper  
al Centre de Documentació del #PNGarrotxa  
o als Punts de documentació:

[https://bit.ly/BibDigital\\_Hidro\\_PNGarrotxa](https://bit.ly/BibDigital_Hidro_PNGarrotxa) (digital)

[https://bit.ly/BEG\\_HidrogeologiaGarrotxa](https://bit.ly/BEG_HidrogeologiaGarrotxa)

**Altres sobre salut pública i biodiversitat:**

<https://www.consorcisigma.org/documents-sigma-garrotxa/>

<http://biodiversitatmoixinaparcnou.consorcisigma.org/>

<https://bit.ly/2022BfiaMoixinaParcNou>

[https://bit.ly/Links\\_BiodiversitatGarrotxa](https://bit.ly/Links_BiodiversitatGarrotxa)

**Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa:**

<https://parcsnaturals.gencat.cat/garrotxa>



**CENTRE de  
DOCUMENTACIÓ**  
DEL PARC NATURAL DE  
LA ZONA VOLCÀNICA  
DE LA GARROTXA

**Centre de documentació del #PNGarrotxa**

Visites concertades al 972 26 46 66 o al correu-e:

[wgrabolo@gencat.cat](mailto:wgrabolo@gencat.cat) (Montserrat Grabolosa @montsevolcanica)



**HIDROGE 5 DÍA**  
**2023**

25 de marzo de 2023



**GIRONA**

## MANANTIALES DEL ACUÍFERO FLUVIO- VOLCÁNICO DEL LLANO DE OLOT

### PARC NATURAL DE LA ZONA VOLCÀNICA DE LA GARROTXA

Visita guiada a pie por tres zonas:

- Manantial de Sant Roc
- Pozos de abastecimiento de Olot
- Manantiales y zonas húmedas de la Deu y la Moixina

Excursión gratuita

Plazas limitadas - máximo 25 personas

Imprescindible reserva previa

e-mail: hidrogeodia.Olot@gmail.com

\*Se deben indicar los nombres de todos los asistentes  
y un teléfono de contacto

Hora y punto de encuentro: 9h Fuente de Sant Roc

Hora y punto regreso: 14h Fuente de Sant Roc

**ORGANIZAN:**  Generalitat de Catalunya  
Departament d'Acció Climàtica,  
Alimentació i Agenda Rural

 **Parc Natural  
de la Zona Volcànica  
de la Garrotxa**



**UAB**  
Universitat Autònoma de Barcelona  
Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia




**COLABORAN:**  Ajuntament d'Olot

 **sigma**

 Agència Catalana  
de l'Aigua

 **Agbar**

 **DIA MUNDIAL DEL AGUA** 22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua  
¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?  
**Concurso del Agua Subterránea, 2023**   
Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE) [PARTICIPA]

  **II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023** 



**25 de marzo de 2023**

---

# **Manantiales del acuífero fluviovolcánico del llano de Olot**

**Parque Natural de la Zona Volcánica  
de La Garrotxa**



**Guía de la excursión**



Olot, vall fresca i gemada,  
de policromat vestit;  
cada any apareix ornada  
d'albors de fajol florit.  
La volten prats delitosos,  
l'ombregen arbres frondosos,  
la ceneix el Fluvià...  
Olot és com una vella  
que escolta la cantarella  
que fan les fonts en rajar.

Fragmento de la *Balada d'Olot* (1922),  
de Josep Maria de Garganta i Vila-Manyà.

Esta guía ha sido elaborada por:

**Joan Bach**, Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia, UAB.  
**Emili Bassols**, responsable de l'Àrea de Patrimoni Natural del Parc Natural  
de la Zona Volcànica de La Garrotxa.

Olot, 25 de marzo de 2023.

Organizan:



Colaboran:





## Hidrogeodía

El Hidrogeodía es una jornada de divulgación de la hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo, con motivo de la celebración del Día Mundial del Agua (22 de marzo), promocionada por el *Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE)*. La hidrogeología es una rama de la geología que estudia las aguas subterráneas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción humana.

Este año, el Hidrogeodía de las comarcas gerundenses se ha organizado en el Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa para dar a conocer algunos de los manantiales y zonas húmedas procedentes del acuífero fluvivolcánico y las captaciones de abastecimiento de agua de la ciudad de Olot.

Para llegar al punto de inicio, que son las **fuentes de Sant Roc**, hay que dirigirse a la zona suroeste del núcleo de Olot. Desde el centro se puede ir por el paseo de Barcelona, a continuación, por la carretera de Santa Coloma, hasta llegar al cruce con el camino de la Teuleria, que lleva directamente a las fuentes de Sant Roc. Si se llega por la avenida Sant Jordi, hay que ir hasta el extremo sur, enlazar con la carretera de Santa Coloma e ir a encontrar el camino de la Teuleria.

## 1. Introducción

Hacer visibles las aguas subterráneas no es tarea fácil, ya que están escondidas en el interior de las formaciones rocosas, lo que llamamos acuíferos. Esto hace que necesitemos buscar aquellos lugares donde las aguas salen al exterior, ya sea de forma natural, como sucede en las fuentes, o de forma forzada, en los pozos.

Con esta premisa, la visita que hemos preparado quiere ayudar a visibilizar las aguas subterráneas y también a reconocer su importancia en un territorio donde son prácticamente el único recurso hídrico que se utiliza para todos los usos, también como fuente de vida de su paisaje. Los puntos escogidos, como se verá, representan el pasado y presente del abastecimiento de agua a la ciudad de Olot, desde el siglo XVII, con una población de menos de 3.000 habitantes, hasta la actualidad, con más de 36.000.

Empezaremos descubriendo la excavación y las galerías históricas de las fuentes de Sant Roc, pasaremos por el Parc Nou, para conocer la actualidad del abastecimiento de Olot, y acabaremos en los parajes de La Deu y La Moixina para admirar los muchos manantiales que brotan y los humedales que se extienden. Volveremos a Sant Roc siguiendo el curso del río Fluvià y observaremos otros manantiales de su orilla. El recorrido aproximado del itinerario se muestra en la Figura 1. En total, tiene unos 4,5 km, con un desnivel plano.

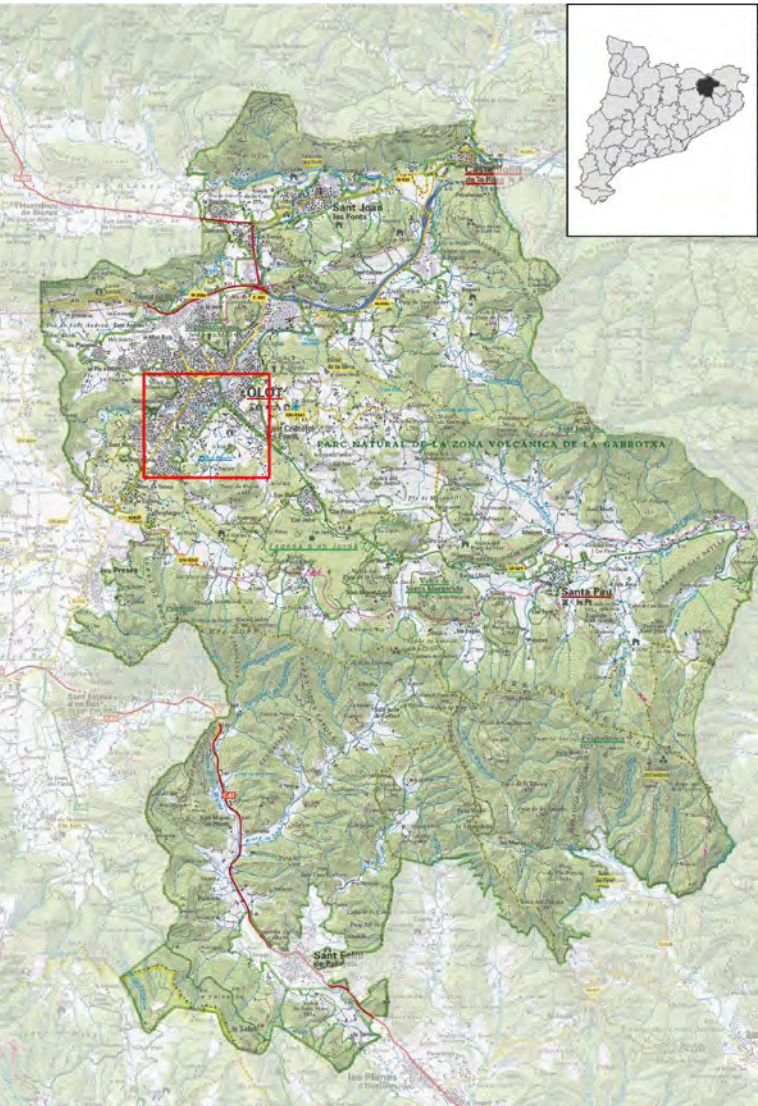


Figura 1. Mapa esquemático del recorrido de la visita. Imagen Google Earth.



## 2. Contexto geográfico-geológico

La ciudad de Olot es la capital de la comarca de La Garrotxa, situada en el noreste de Cataluña. Su término municipal forma parte del Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa, espacio natural protegido desde 1982 (Figura 2), que en total presenta una población de más de 40.000 habitantes y una importante actividad económica, industrial y agropecuaria.



**Figura 2.** Situación de la zona de la visita con relación al Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa.

La mayor parte del territorio pertenece a la cuenca del río Fluvià, que nace al sur de la comarca, en los relieves del Collsacabra, atraviesa en dirección norte la llanura de En Bas y el llano de Olot y, al llegar a Sant Joan les Fonts, sigue en dirección este hasta su desembocadura en el golfo de Roses. Por el lado este, el río Ser drena el valle de Santa Pau y confluye en el Fluvià a la altura de Serinyà. Por el sureste, el río Brugent drena la vertiente sur de la sierra de Finestres hacia el río Ter.

Desde un punto de vista geológico, la zona del llano de Olot está situada en la unidad morfológica llamada cordillera Transversal Catalana, que queda delimitada, al norte, por los relieves de L'Alta Garrotxa; al sur, por

el extremo norte del macizo de Les Guilleries; al oeste, por la depresión del Ebro, y al este, por la depresión ampurdanesa. Desde un punto de vista litológico está integrada por un conjunto de formaciones de origen sedimentario del paleógeno que reposan sobre un zócalo paleozoico.

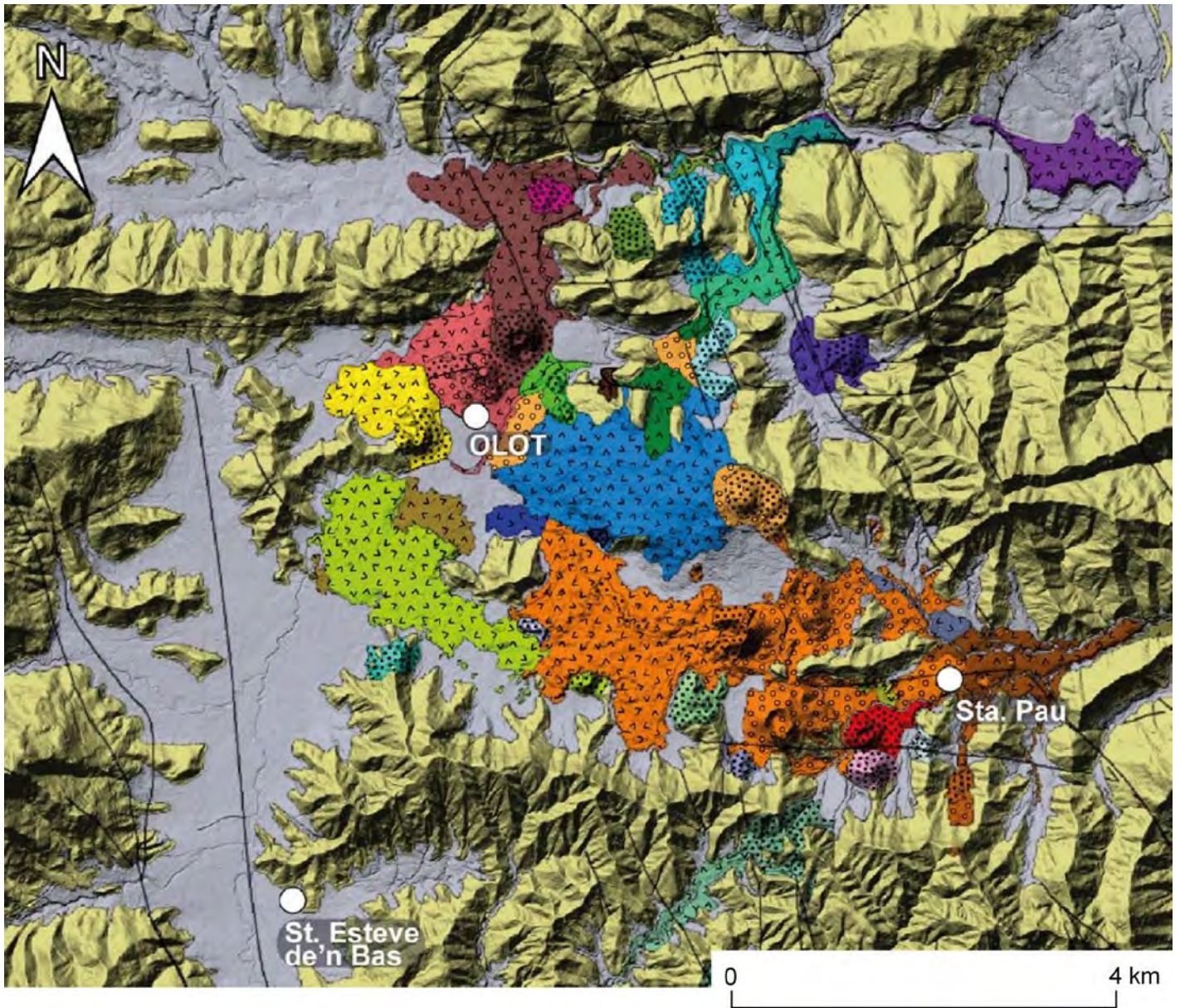
Desde el inicio del neógeno se produce una respuesta distensiva como reacción a la fase compresiva alpina, que tiene como consecuencia la formación de un sistema de fallas, responsables de la fracturación de la cobertera paleógena y de la formación de un conjunto de bloques escalonados. Las fracturas que delimitan estas plataformas o bloques se agrupan en dos familias principales: las primeras NO-SE y otras de dirección E-O. Morfológicamente, la cordillera Transversal es, por lo tanto, un conjunto de bloques levantados y hundidos que se intercalan entre la depresión del Ebro y la depresión ampurdanesa.

A lo largo del cuaternario, esta zona se ve afectada por una actividad volcánica que se superpone a los materiales paleogénicos e interacciona con los procesos fluviales. Esta interacción es remarcable en los fondos de los valles, donde, dado el carácter episódico de las manifestaciones volcánicas, tiene lugar una superposición entre los materiales volcánicos que se deslizaban por los antiguos valles fluviales y los depósitos aluviales que conforman los aportes detríticos de los ríos (Figura 3).

En el mapa vulcanológico (Bolós et al. 2014) de la Figura 3, se representan en varios colores los distintos episodios de la actividad del Campo Volcánico de La Garrotxa a lo largo del cuaternario. En la leyenda del mapa, la numeración de los episodios da una edad relativa a las erupciones, por lo que el número 1 corresponde a la erupción del volcán Rocanegra (Santa Pau), el episodio más reciente, de aproximadamente hace unos 10.000 años, mientras que el 54, el volcán de La Canya, es relativamente una de las actividades más antiguas que se conocen, en relación con la colada de Sant Joan les Fonts, datada de hace unos 590.000-700.000 años.

El interés de conocer esta dinámica eruptiva de este campo volcánico radica en entender que, entre los diferentes episodios volcánicos, la actividad de las aguas superficiales iba erosionando, por un lado, para abrirse paso cuando las coladas le estaban cerrando y, por otro, iba sedimentando los materiales en el lecho de su curso. Sabemos que en algunos lugares este proceso quedó enterrado por una nueva erupción, por lo que los lechos de los ríos han quedado fosilizados en medio de los materiales volcánicos, lo que llamamos paleocanales. Una prueba de esta dinámica se puede observar muy bien en Sant Joan les Fonts, después del salto de El Molí Fondo, donde se puede ver un paleocanal en medio de dos coladas de lava. Esta relación entre coladas de lava y paleocanales debidos a los sedimentos aportados por los ríos, que podemos ver en directo, nos permite imaginar que el subsuelo del llano de Olot y, en general, de toda la zona donde ha habido actividad volcánica puede tener esa alternancia de materiales de origen volcánico con los de origen fluvial. Con esa idea podremos afrontar la pregunta que nos podemos hacer: ¿dónde hay aguas subterráneas en el llano de Olot?





**QUATERNARY POST-VOLCANIC**

Undifferentiated Quaternary Sediments

**QUATERNARY VOLCANIC ERUPTIONS**

- Rocanegra volcano (# 1).
- Croscat volcano (# 2).
- Montolivet volcano (# 3).
- Puig Jordà volcano (# 4) (Bosc de Tosca lava flow)
- Bisaroques and Ca l'Isidret volcanoes (# 5).
- Puig de la Costa volcano (# 7).
- Racó volcano (# 8).
- Simon volcano and Santa Pau lava flow (# 9).
- Traiter volcano (# 10).
- Sant Marc and Puig Roig volcanoes (# 11).
- Estany and Bellaire volcanoes (# 14).
- Cabriolers volcanoes (# 16).
- Puig de Granollers volcano (# 17).
- Puig Subià volcano (# 18).

- Comadega volcano (# 19).
- Moixina lava flow (# 20).
- Fontpobra, Can Tià and Coll Tort volcanoes (# 22).
- Pujalós volcano (# 23).
- Montsacopa volcano (# 24).
- Pla de Llacs Olot lava flow (# 25).
- Puig de les Medes and Puig Rodó volcanoes (# 28).
- Pla de les Tries St. Martí lava flow (# 30).
- Puig de Mar volcano (# 31).
- Garrinada volcano (# 35).
- Bac de les Tries volcano (# 36).
- Pla de Sa Rivera volcano (# 37).
- Riu Ser 2 lava flow (# 38).
- Vall dels Arcs phreatomagmatic deposits (# 39).
- Riu Ser 1 lava flow (# 40).
- Aiguanegra volcano (# 41).

- St. Cosme lava flow (# 42).
- Les Funoses lava flow (# 43).
- Cairat, Repàs and Claperols volcanoes (# 44).
- Castellfolit upper lava flow (# 46).
- Batet lava flows (# 47).
- Can Barraca volcano (# 50).
- Puig de l'Òs volcano (# 51).
- St. Jaume de Llerca lava flow (# 52).
- La Canya volcano (# 54).

**VOLCANIC DEPOSITS**

- Lava flows.
- Scorias, lapillis and ash fall.
- PDC's deposits.

**EOCENE**

- Sedimentary pre-volcanic rocks.

**PALEOZOIC**

- Metamorphic rocks.

Figura 3. Fragmento del "Volcanic stratigraphy map" de la zona del llano de Olot, modificado de Bolós et al., 2014.



### 3. El acuífero fluviovolcánico

Los acuíferos son los almacenes de las aguas subterráneas. Se dan cuando las formaciones rocosas son porosas y permeables, o sea, pueden tener agua dentro del espacio poroso y, además, esta agua puede circular, de modo que podemos captarla mediante un pozo. En los materiales recientes, formados en el cuaternario, los principales acuíferos son de tipo aluvial. Están relacionados con la sedimentación fluvial que ha dado lugar a niveles de paleocanales de gravas y arenas que son permeables por estar formadas por partículas. Se trata de porosidad intergranular. Por su parte, en los niveles de rocas volcánicas, como los formados debido a las coladas de lava, la permeabilidad depende del grado de fracturación o alteración de la roca. Se trata de porosidad por fracturación. Así, los niveles de paleocanales son los más interesantes para la captación de aguas subterráneas.

Desde el punto de vista administrativo, la Agencia Catalana del Agua para la gestión de las aguas subterráneas define una serie de masas de agua subterráneas (MAS). La que corresponde a las formaciones cuaternarias de esta zona la designa como Fluviovolcánico de La Garrotxa (MAS-09), en la que se diferencia un acuífero fluviovolcánico libre (2023141) y un acuífero fluviovolcánico confinado (2023142).

Desde un punto de vista de los materiales que forman esta masa de agua, se pueden distinguir, por un lado, unas zonas donde se da directamente la interacción entre la actividad volcánica y la dinámica

fluviotorrencial, mencionada en el contexto geológico (Figura 4). Así, se ha formado un espesor de materiales cuaternarios que pueden superar los 100 m, donde se han ido alternando niveles volcánicos de piroclastos, sobre todo de tamaño lapilli, o coladas de lava, con sedimentos aluviales o lacustres. Este conjunto de materiales forma un acuífero multicapa con numerosas surgencias que dan lugar a humedales y a una red de rieras que confluyen en el río Fluvià, la principal arteria fluvial del Parque Natural.

Por otro lado, en las partes altas del valle del río Fluvià y de las rieras de Bianya y de Riudaura, no hay depósitos de materiales volcánicos, pero su sedimentación fluvial ha sido afectada por la actividad volcánica que invadió sus valles y ocasionó el estancamiento de las aguas en zonas lacustres, que se fueron llenando por la alternancia de depósitos aluviales, lacustres y coluviales en las zonas de margen. Las llanuras de estos ríos y rieras, antes de entrar en la zona volcánica, se pueden considerar acuíferos de tipo aluvial (Figura 4), formadas por materiales detríticos, desde gravas y arenas hasta materiales finos: limos, arcillas y niveles lacustres con materia orgánica. Todo ello forma este acuífero de tipo aluvial, que en la cabecera y en los márgenes del valle corresponde a un acuífero libre y, en la zona central, con espesores de más de 50 m, presenta niveles permeables más profundos que están confinados por niveles de materiales poco permeables. Los niveles más finos pueden actuar como formaciones menos permeables, llamadas acuitardos.

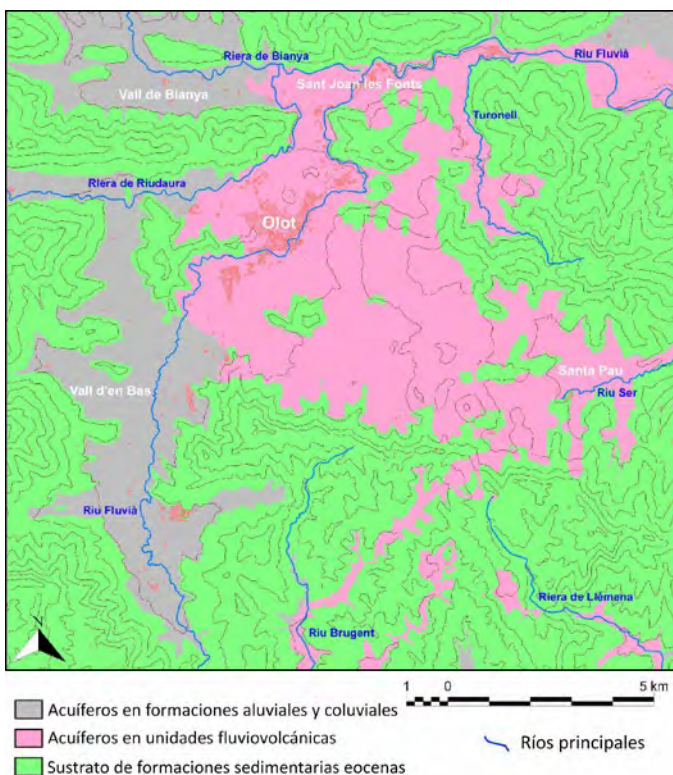


Figura 4. Mapa esquemático de unidades hidrogeológicas (Bach, 2005).

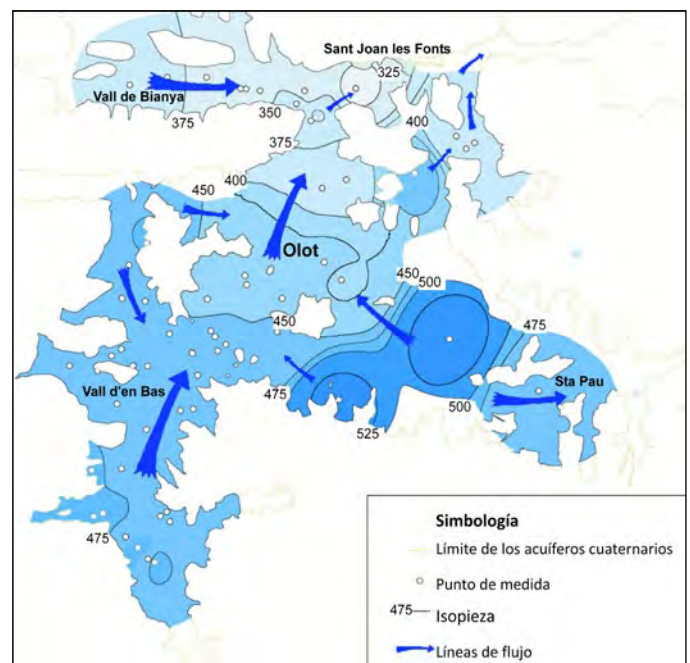


Figura 5. Mapa esquemático de la situación piezométrica de los acuíferos cuaternarios, otoño de 2005 (Bach, 2005).



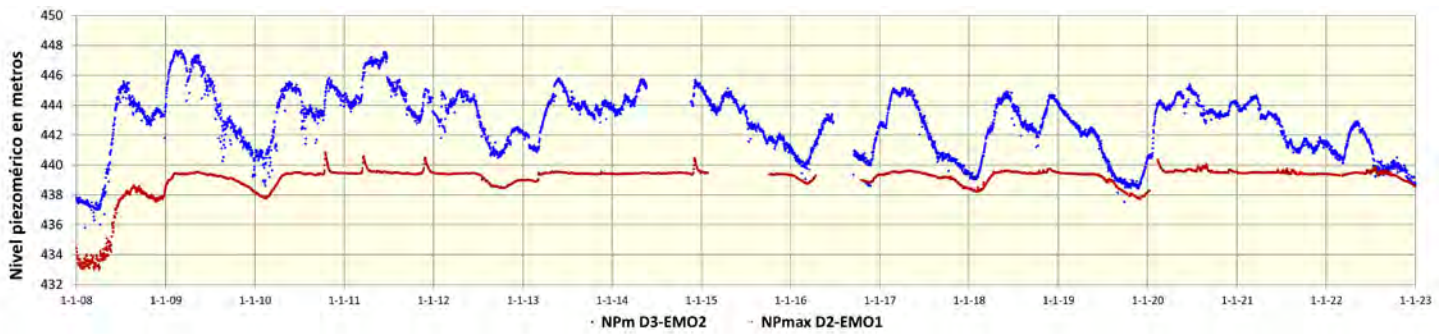


Figura 6. Oscilación piezométrica de los niveles acuíferos del fluviovolcánico del llano de Olot (Bach, 2022).

Hay que tener presente que las aguas subterráneas, dentro de los acuíferos, circulan desde las zonas de mayor carga hidráulica (altura piezométrica) hacia las zonas de menor carga. Para conocer esta carga se mide la altura del agua en los piezómetros o pozos. En los estudios piezométricos realizados, a partir de campañas de campo de medidas del nivel del agua en los pozos, se observan las principales direcciones del flujo subterráneo (Figura 5), que indican que la circulación va descendiendo desde las cotas más altas del valle d'En Bas, zona alta del Crosbat y valle de Bianya, hacia Olot, La Canya, Sant Joan les Fonts y Castellfolit de la Roca.

La medida del nivel piezométrico sirve para conocer el estado de los acuíferos desde el punto de vista de la **cantidad**, o sea, del agua almacenada. Si se realiza un seguimiento continuado en el tiempo se pueden ver las tendencias en la oscilación del nivel del acuífero en relación con la recarga por las precipitaciones y las extracciones por los diferentes usos. En el Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa desde el año 2005 se realiza un seguimiento a partir de sensores que miden en continuo el nivel piezométrico. Un ejemplo de este seguimiento lo podemos ver en la gráfica de la Figura 6, donde se observa el comportamiento estacional del acuífero fluviovolcánico en la zona de Sant Roc; en azul, la oscilación piezométrica del acuífero profundo, y en rojo, la de un nivel más superficial (Bach, 2022).

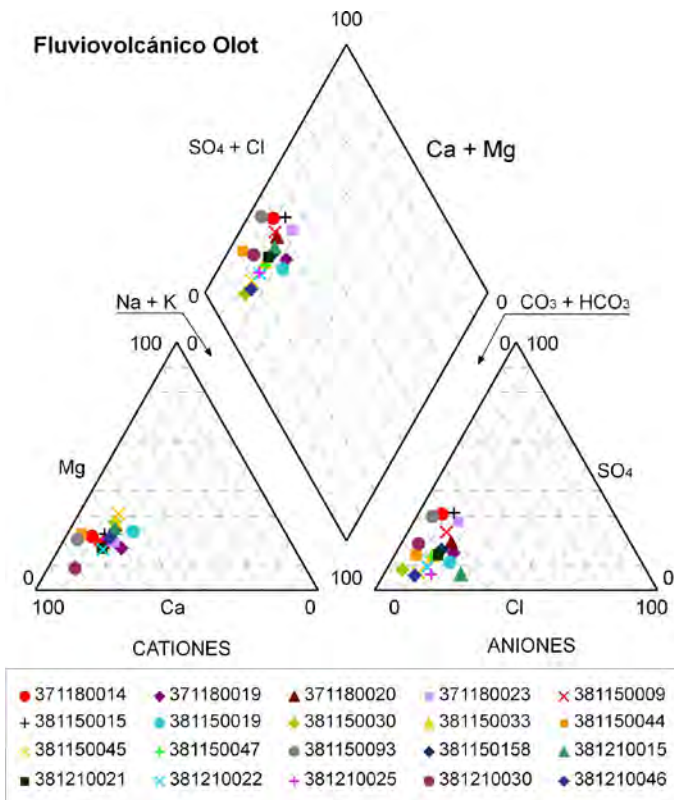


Figura 7. Diagrama Piper de la composición química de las aguas del acuífero fluviovolcánico (Bach, 2005).

El otro aspecto a tener en cuenta de las aguas subterráneas es su **calidad**. En los estudios de hidroquímica realizados se ha puesto en evidencia que la composición química, en lo que se refiere a los iones mayoritarios presentes, es bicarbonatada cálcica, tal y como lo refleja la agrupación de los puntos alrededor de los vértices de calcio y bicarbonato, en el diagrama de Piper realizado a partir de 20 muestras de agua de este acuífero (Figura 7).

Ahora bien, si se toman los nitratos como indicador de potabilidad química del agua, en los seguimientos realizados por el Parque Natural, de 1994 hasta 2005, y los realizado por la Agencia Catalana del Agua y el Consorcio SIGMA, de 2005 hasta la actualidad, se ha encontrado un incremento de su concentración en pozos y fuentes con un origen del agua más superficial. En la Figura 8 se puede ver como la concentración de nitratos en algunas de las fuentes del llano de Olot alcanza niveles cercanos al límite de potabilidad.

El incremento de la concentración de nitratos refleja el mayor uso de fertilizantes en las actividades agropecuarias. Se ha visto que su concentración en los niveles acuíferos más superficiales depende de la acumulación en el suelo de los fertilizantes y su posterior movilización cuando se dan episodios de precipitación importantes. Por eso se observa la oscilación de valores en la gráfica de la Figura 8.

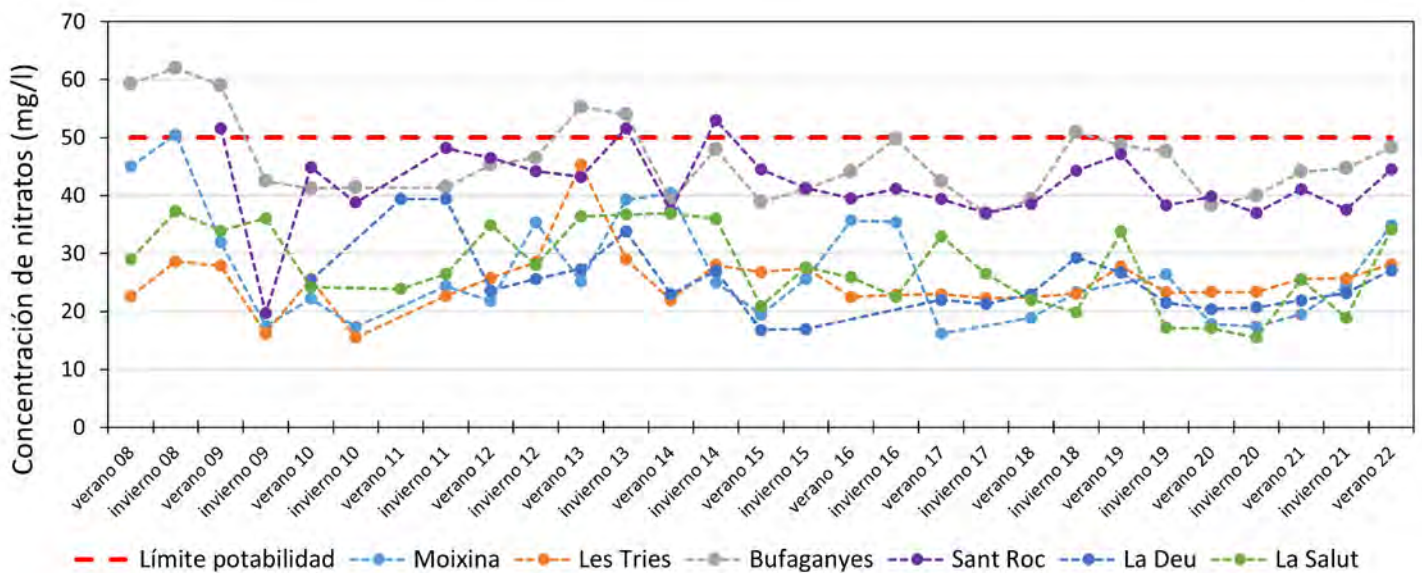


Figura 8. Concentración de nitratos en los principales manantiales del llano de Olot, a partir de los datos del Consorcio SIGMA.

## 4. Itinerario hidrogeológico

### Parada 1: Las fuentes de Sant Roc

Son una de las fuentes más emblemáticas e importantes de la ciudad de Olot desde un punto de vista histórico. La urbanización de todo el paraje, tal y como lo vemos hoy (Figura 9), es obra de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, según Danés (1977), pero las obras de la mina para excavar el manantial tienen una inscripción que pone 1619 (Figura 10), junto con otra que dice 1837. Estas referencias nos transportan a la utilización del agua de esta surgencia para canalizarla hacia Olot. De hecho, todavía hoy se puede ver la galería que internamente conducía el agua hasta la salida cerca del puente de Sant Roc (Figura 11). Parece que las primeras conducciones serían del siglo XVII y hacían llegar el agua al

centro de Olot. Esta utilización continuada en el tiempo hace que se disponga de datos del rendimiento de la surgencia. Danés (1977) hace referencia a un aforo de Cordoní en 1898 que daba un caudal de un 14 l/s, corroborado por otro de 1911 de Bascaló. A principios del siglo XX, mosén Josep Gelabert cita un caudal de unos 21 l/s. Las diferencias pueden deberse a reformas y mejoras realizadas en la mina, debido al aumento de las necesidades de agua potable en Olot. En cualquier caso, se puede acotar el caudal entre 10 y 20 l/s.

Las obras de la mina se sitúan en el margen derecho del río Fluvià, a una cota de unos 440 m, excavada en la colada basáltica del Bosc de Tosca, que actualmente se atribuye al volcán de El Puig Jordà. Esta colada inicialmente cerró el paso al río Fluvià, que posteriormente se abrió un nuevo camino, erosionan-



Figura 9. Foto de la fuente de Sant Roc.



Figura 10. Mina de los manantiales de Sant Roc.



Figura 11. Galería de conducción del agua en los manantiales de Sant Roc.



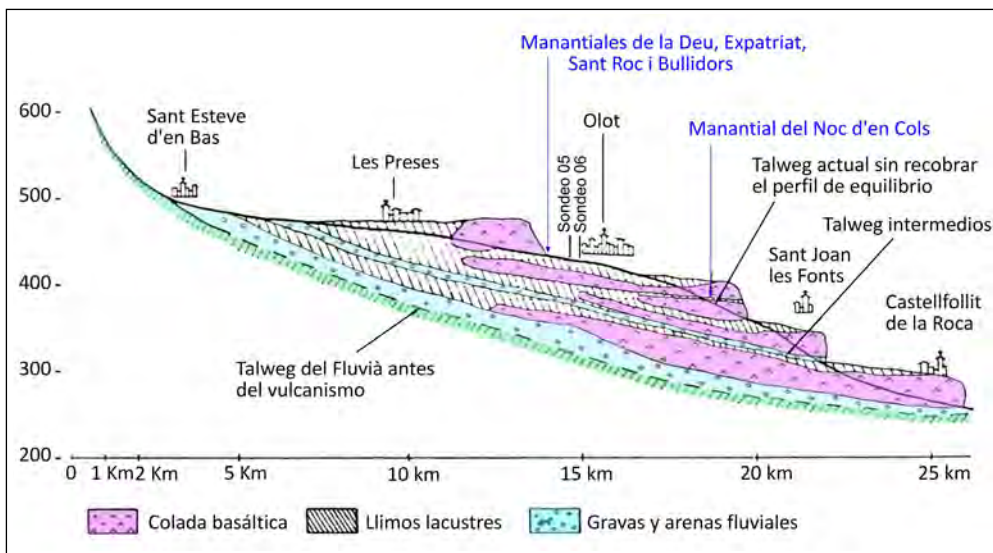


Figura 12. Esquema del relleno cuaternario del subsuelo de Olot, modificado de Fayas y Domenech (1974).



Figura 13. Columna litológica del pozo experimental para el abastecimiento de agua a Olot, modificado de Fayas y Domenech (1974).

do el límite entre los materiales volcánicos y el sustrato sedimentario del eoceno.

La erosión del río Fluvià deja al descubierto el espesor de la colada, que en su base puede tener un paleosuelo o niveles de gravas y arenas de paleocanales atravesados en algunos pozos, por los que preferentemente circula el agua.

Esta surgencia hace de aliviadero del nivel acuífero situado bajo esta colada del Bosc de Tosca, de modo que en el seguimiento piezométrico de este nivel, en esta zona de Sant Roc, se observa una respuesta plana del nivel piezométrico a unos 439 m (Figura 6). Este nivel de estabilización se da cuando el nivel de recarga es alto, mientras que en los momentos de falta de recarga, la presión del acuífero baja y se observa el descenso del nivel, que seguramente también supone un descenso del caudal en la surgencia.

Al tratarse de la surgencia de un nivel acuífero relativamente superficial, la calidad del agua se ve afectada más fácilmente por las actividades antrópicas que se desarrollan en el territorio, tal y como pone de manifiesto la concentración de nitratos que se sitúa en el alrededor del 40 mg/l, con algunos picos que alcanzan los 50 mg/l (Figura 8).

## Parada 2: Pozos de abastecimiento de Olot

El abastecimiento de agua a la ciudad de Olot empieza con las conducciones hechas en las fuentes de Sant Roc ya en el siglo XVII, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior. A medida que la población fue aumentando, se fueron añadiendo otros puntos, como el manantial de Els Bullidors, que aportaba unos 4 l/s más; la construcción del pozo Malagrida, inaugurado en 1931, con un rendimiento medio de unos 25 l/s, y también, la surgencia de La Deu Gros-

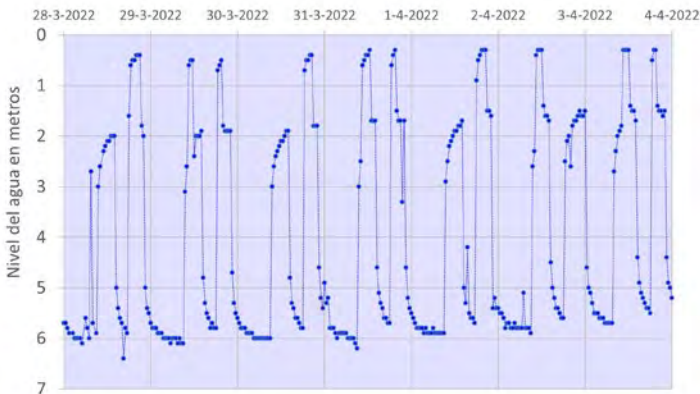
sa, que se canalizó hacia el centro de Olot en 1946, con una aportación de unos 28 l/s (Danés, 1977).

De todas formas, la recuperación económica y la llegada de inmigración en la segunda mitad del siglo XX comportaron un notable aumento de la población, que incrementa la necesidad de recursos hídricos. Por eso, a pesar de las aportaciones que se habían ido incorporando, a principios de los años 70 se inicia la búsqueda de aguas subterráneas a partir de un estudio del Servicio Geológico de Obras Públicas. Se realizaron un total de seis sondeos de reconocimiento, con profundidades entre los 26 y los 115 m, en las zonas del Parc Nou y de las surgencias de La Deu y La Moixina, que permitieron tener una primera visión objetiva de la constitución del subsuelo de Olot, reflejada en el esquema (Figura 12) realizado por Fayas y Domenech (1974), donde se representa la alternancia de los episodios volcánicos y fluviales observada en los sondeos.

A partir de este estudio, en 1972 se construyó un pozo experimental de 105 m de profundidad para el abastecimiento de agua potable a Olot. En la Figura 13 se presenta la columna de los materiales atravesados, en la que destacan los niveles de gravas y arenas (paleocanales), el primero entre 58 y 61,5 m de profundidad y el otro por debajo de los 83,5 m hasta el final del pozo, que tiene un tramo más limoso entre 96 y 102,3 m. Estos niveles de paleocanales son los que tienen mayor permeabilidad y constituyen los acuíferos que, al encontrarse en profundidad bajo materiales poco permeables, están confinados y son acuíferos que llamamos cautivos, que inicialmente dieron lugar a pozos surgentes. El nivel más profundo de paleocanal es el que se aprovecha para la extracción del agua.

Hoy en día, la captación de agua para la ciudad de Olot consta de cuatro pozos, situados en esta zona

del Parc Nou, dos situados dentro del Parque, construidos en los años 70, de 105 m de profundidad, y dos más fuera de la valla de acceso al Parque, de finales de los años 80, de 107 m. Los caudales de extracción oscilan entre los 200 y los 240 m<sup>3</sup>/h, con un volumen de entre 8.700 a 9.000 m<sup>3</sup>/día. Esto representa algo más de 3 hm<sup>3</sup>/año.



**Figura 14.** Oscilación del nivel del agua en el sensor del pozo 1 (Parc Nou), según la dinámica de extracción para satisfacer la demanda de agua, a partir de datos facilitados por AGBAR.

Estos importantes caudales de extracción provocan un cono de depresión en su entorno muy considerable. El sensor instalado en el pozo 1 refleja un descenso del nivel del agua de casi 6 m, en los momentos de extracción de agua (Figura 14), con un régimen de explotación de más de 16 horas, en dos períodos diferentes, aproximadamente de 14 a 18 h y de 22 a 10 h del día siguiente. A una distancia de unos 650 m, en un pozo de control, se observa una oscilación del nivel piezométrico, con el patrón de la extracción, de más de 2 m.

Las analíticas recientes realizadas para el control de la calidad de las aguas de consumo, consultables en la web del Consorcio SIGMA, y los datos históricos de la red de calidad del Parque Natural muestran una constancia y regularidad en los resultados de los principales iones; por ejemplo, los nitratos son inferiores a 20 mg/l y la conductividad eléctrica (a 20°C), que nos indica el total de sales en disolución, oscila entre 550 y 590 µS/cm. Estos resultados indican que el agua de estos niveles acuíferos más profundos mantiene, por el momento, una composición química de origen natural sin contaminación antrópica importante.

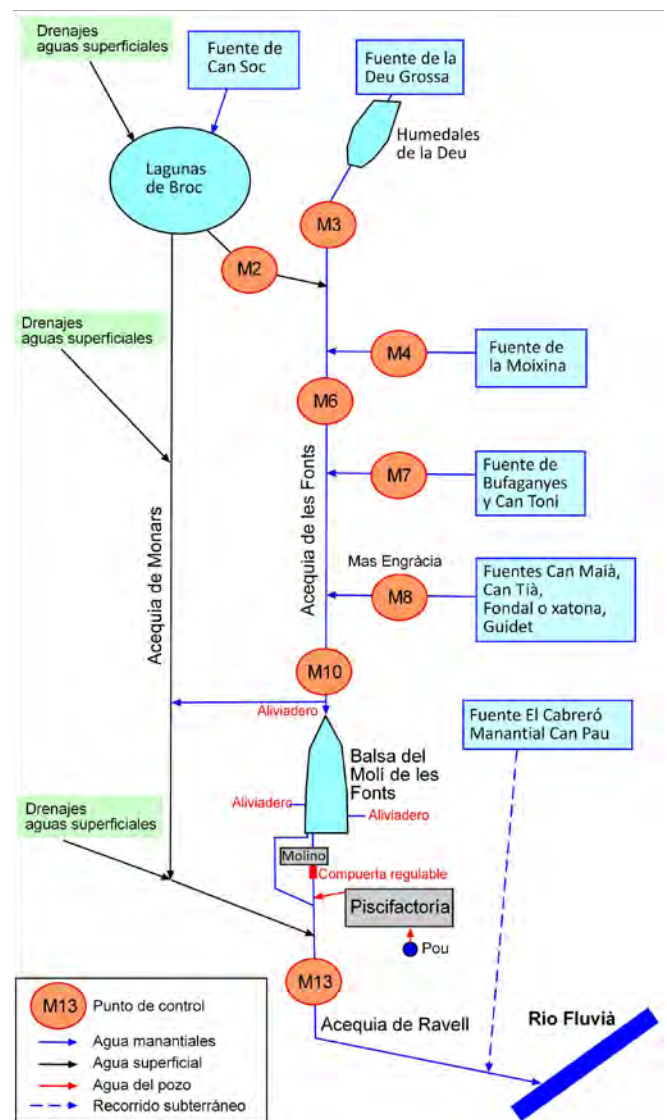
### Parada 3: Manantiales y humedales de los parajes de La Deu y La Moixina

El ambiente de humedal en torno a las surgencias les da un alto valor natural, con importancia biogeográfica y paisajística. También tienen un interés turístico para los amantes de la naturaleza, la fotografía y la pintura. Recientemente, el Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña 2022-2027 ha considerado esta zona húmeda como una Reserva Natural Subterránea de la Masa Subterránea 09-Fluvióvolcá-

nico de La Garrotxa, con la denominación de *Basses d'en Broc i Aiguamolls de la Deu Vella (Massa Superficial H1040050)*.

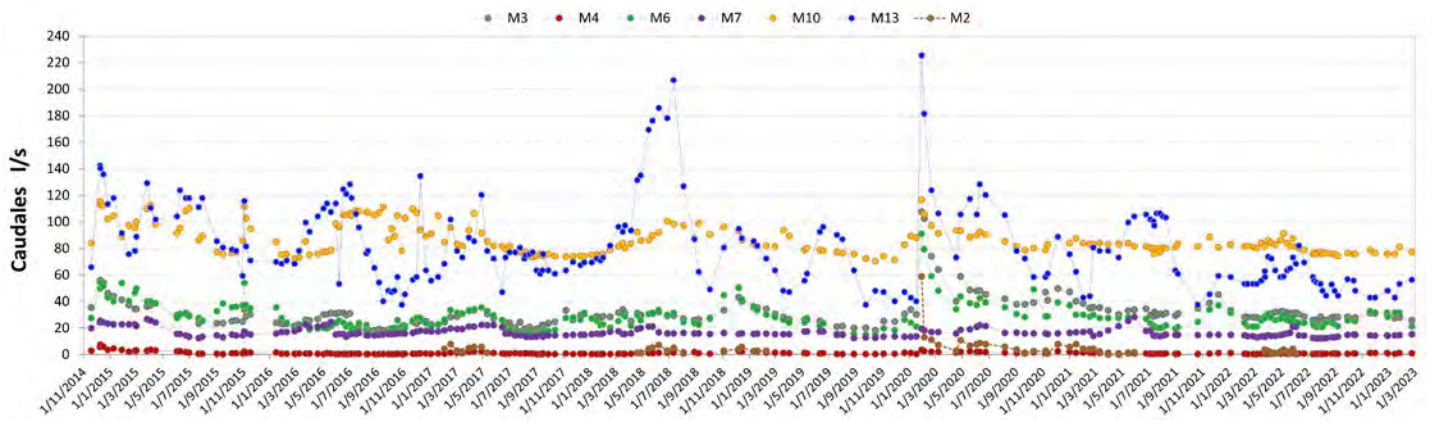
Estos manantiales están situados en una zona deprimida que recibe el nombre de llanura de Els Llacs, a una cota entre 442 y 430 m, limitada al norte y al oeste por los relieves de la colada del Bosc de Tosca –que en el barrio de Bonavista alcanzan una cota de unos 476 m–; al este, por la colina de Pujou, de materiales sedimentarios del eoceno, y por el norte, queda abierta al curso del río Fluvià.

Desde un punto de vista geológico, la situación de los manantiales es compleja, por la heterogeneidad de los materiales que confluyen en ella. Están situados sobre la colada basáltica del llano de Olot, llamada colada de La Moixina (Bolós, et al., 2014), que posteriormente fue recubierta por la colada del Bosc de Tosca (Figura 3). En medio de las coladas, se han atravesado en algunos sondeos espesores de más de 20 m de limos, con algunos niveles de gravas y arenas. El flujo del agua de los niveles más permeables, de acuerdo con la cartografía hidrogeológica



**Figura 15.** Esquema de la canalización del agua de los manantiales y de los puntos de control del caudal establecidos.





**Figura 16.** Evolución de los caudales en los manantiales y acequias de la zona de La Moixina desde el inicio, en noviembre de 2014, hasta finales de 2022. Las siglas corresponden a las siguientes estaciones de aforo: M3-Rec de la Deu Grossa, M4-Fuente de La Moixina, M6-Fuentes de La Moixina + La Deu + Cal Soc y Lagunas d'en Broc, M7-Fuentes de La Bufaganya + Can Toni, M8-Fuentes La Guidet + Fondal o Xatona y de Can Maià, M10-Suma de M8+M6+M7 (antes de la balsa del molino de Les Fonts), M13-Acequia Ravell. Para su ubicación, ver Figura 15.

(Figura 5) va del sur hacia el norte, por lo que, por un lado, estos niveles quedan por debajo, o en la parte inferior de la colada del Bosc de Tosca, y por otro, el espesor considerable de sedimentos finos impide su circulación y favorece su surgencia a favor de planos de fracturación, que se ponen en evidencia en la orientación de los manantiales en una dirección N-S.

En total, se conocen más de una docena de puntos de surgencia. Los manantiales más conocidos son: La Deu Grossa, La Moixina, Bufaganyes, Can Soc, Can Toni, Can Rabeig, Can Tia, Can Maia, El Fondal o Xatona, La Guidet, El Cabreró y Can Pau. A finales del siglo XIX se llevaron a cabo las obras de drenaje de los terrenos pantanosos y se canalizó el agua de las surgencias hacia la acequia de Les Fonts, que las va recogiendo y, después de la balsa de El Molí de les Fonts, las vierte a la acequia de Ravell, que las lleva al río Fluvià (Figura 15). En 1990 se hizo una restauración de los humedales de La Deu Vella y en 1991 se remodelaron las lagunas de Broc, que actualmente forman parte del Catálogo de espacios de interés preferente del Parque Natural y del Inventario de zonas húmedas de Cataluña. Su régimen de inundación, con aguas procedentes de la fuente de Can Soc y de la escorrentía superficial de la colina de Pujou, posibilita la presencia de varias comunidades vegetales y animales asociadas a los humedales.

El interés del Parque Natural de la Zona Volcánica de La Garrotxa de cuantificar los caudales de los manantiales se inició en 1995, con el trabajo de Baserba (1996), gracias al cual se instalaron unas estaciones de aforo en las acequias que recogen el agua de las surgencias. Posteriormente, dentro del programa general de estudio de la hidrogeología del Parque Natural, en 2014 se reanudó la medida de los caudales en una serie de estaciones que están representadas en la Figura 15. En estas estaciones se ha regularizado la sección de paso y se ha instalado una regla limnimétrica para registrar la altura del agua. Paralelamente, se realizan medidas de la velocidad del agua para poder calcular el caudal mediante una curva de gasto.

El seguimiento, desde el año 2014 hasta la actualidad, de los caudales de las estaciones de aforo

puede observarse en la Figura 16. Este control permite conocer las oscilaciones en las aportaciones de las surgencias de esta zona y su relación con los períodos de recarga (Bach, 2022). El manantial más caudaloso es La Deu Grossa, con una media en el período de seguimiento de 31 l/s.

Cabe destacar que la calidad de las aguas no es exactamente igual en todas las surgencias. Si se toman como indicador los nitratos, en la gráfica de la Figura 8 se pueden observar las concentraciones de tres de los principales manantiales: La Deu Grossa, Bufaganyes y La Moixina. Las diferencias de valores entre ellas son significativas e indican distintos circuitos o líneas de flujo. Unas pueden ser más superficiales, como la de Bufaganyes, que presenta contenidos más altos, y otras, de circuitos más profundos, que mantienen concentraciones más bajas, como la fuente de La Deu Grossa. Esta casuística confirma la heterogeneidad geológica de los puntos de surgencia.

#### Referencias citadas en el texto:

- Bach, J. (2005). *Tasques de control mediambiental de l'aquífer del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, any 2005*. PNZVG informe interno, 146 pág. + vol. anexos y mapas.
- Bach, J. (2022). *Seguiment de l'oscil·lació piezomètrica. Aquífers quaternaris PNZVG. Any 2022*. DAAC. PNZVG informe interno, 70 págs.
- Bach, J. (2022). *Treballs d'assessorament i seguiment del sistema hidrogeològic del PNZVG. Any 2022*. DAAC. PNZVG informe interno, 32 págs.
- Baserba, C. (1996). *Estudi Hidrològic i Limnològic de l'àmbit del Pla Especial La Moixina – Pla de Llacs*. Propostes de Gestió. PNZVG, 156 págs.
- Bolós, X.; Planagumà, Ll.; Martí, J. (2014). *Volcanic stratigraphy of the Quaternary La Garrotxa Volcanic Field (north-east Iberian Peninsula)*. Journal of Quaternary Science, 29 (6) 547-560.
- Danés i Torras, J. (1977) «*Història d'Olot. Notes geogràfiques*». Aubert-Impresor.
- Fayas, J.A; Doménech J. (1974). *Morfología volcánica de Olot y su interés hidrogeológico*. Revista Agua, julio-agosto, 1974. núm. 85.

22 de març  
**Dia Mundial de l'Aigua**  
#DiaMundialAigua



#DocAmbCat



Diputació  
Barcelona



Generalitat  
de Catalunya



## Para completar la visita del Hidrogeodía en Olot:

Trabajos sobre Hidrogeología de la Garrotxa,  
sobre la Zona Volcánica de la Garrotxa,  
consultables en digital y/o en papel  
al Centro de Documentación del #PNGarrotxa  
o en los Puntos de documentación:

[https://bit.ly/BibDigital\\_Hidro\\_PNGarrotxa](https://bit.ly/BibDigital_Hidro_PNGarrotxa) (digital)

[https://bit.ly/BEG\\_HidrogeologiaGarrotxa](https://bit.ly/BEG_HidrogeologiaGarrotxa)

**Otros sobre salud pública y biodiversidad:**

<https://www.consorcisigma.org/documents-sigma-garrotxa/>

<http://biodiversitatmoixinaparcnou.consorcisigma.org/>

<https://bit.ly/2022BfiaMoixinaParcNou>

[https://bit.ly/Links\\_BiodiversitatGarrotxa](https://bit.ly/Links_BiodiversitatGarrotxa)

**Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa:**

<https://parcsnaturals.gencat.cat/garrotxa>



**CENTRE de  
DOCUMENTACIÓ**  
DEL PARC NATURAL DE  
LA ZONA VOLCÀNICA  
DE LA GARROTXA

**Centro de Documentación del #PNGarrotxa**

Visitas concertadas al 972 26 46 66 o al e-mail:

[wgrabolo@gencat.cat](mailto:wgrabolo@gencat.cat) (Montserrat Grabolosa @montsevolcanica)



EXCURSIÓN DIVULGATIVA DE CAMPO:  
**LAS FUENTES DEL GUARDAL EN EL ENTORNO  
DEL CANAL DE CARLOS III**  
Domingo 16 de abril de 2023



*“La importancia del agua”*

Colaboran:



*En este Hidrogeodía  
descubre Sierra Seca  
sus aguas son fantasía  
que nos dejan una mueca  
¡cuando vemos esta guía!*

*Curro Roldán*



El HIDROGEODÍA es una jornada de divulgación de la hidrogeología (rama de la geología que estudia las aguas subterráneas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción humana), que se celebra con motivo del Día Mundial del Agua.

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), y ha sido organizada por el Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME CSIC) y la Diputación Provincial de Granada en el marco del convenio de colaboración existente entre ambos organismos, con la colaboración de: la Universidad de Jaén, el Geoparque de Granada, la asociación Conoce Tus Fuentes y la piscifactoría Las Fuentes. La jornada consiste en un recorrido de campo durante el cual se van a realizar actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas y guiadas por especialistas en hidrogeología y otras disciplinas.

El recorrido que se va a realizar en este Hidrogeodía 2023 será el de las **fuentes del Guardal dentro del entorno del Canal de Carlos III**. Se han previsto 6 paradas temáticas desde las que se podrán observar:

- Parada 1. **La fábrica de la luz de Huéscar.**
- Parada 2. **Geología regional del geoparque.**
- Parada 3. **Canal de Carlos III.**
- Parada 4. **Manantial de la Natividad.**
- Parada 5. **Yacimiento prehistórico de las Fuentes.**
- Parada 6. **Trop Plein del Guardal.**

## ITINERARIO

**PUNTO DE ENCUENTRO. RECEPCIÓN (UTM ETRS89 529797-4189569).** El punto de partida será el Asador La Parra (<https://asadorlaparra.wixsite.com/asadorlaparra>). La organización de los grupos y de los horarios de la ruta se realizará en el aparcamiento del Asador La Parra (Carretera G-9101, Huéscar. 18830 Embalse de San Clemente).

Para la primera parte del recorrido (Paradas 1 y 2) será necesario el desplazamiento en coche. Desde el embalse de San Clemente (Parada 2), es también necesario el vehículo para llegar al parking de la piscifactoría Las Fuentes. Una vez en el parking el itinerario se hará a pie siguiendo las distintas paradas previstas, donde diferentes guías especialistas realizarán las explicaciones. Los trayectos entre paradas también serán guiados. El inicio del recorrido se realizará en tres turnos a

las 9:00, 9:30 y 10:00 horas del domingo 16 de abril de 2023. No es necesaria la inscripción previa y la inclusión en cada turno es libre dependiendo de la hora de llegada. La organización se reserva la opción de equilibrar el número de personas asistentes en cada turno. La duración del recorrido completo es de unas cuatro horas aproximadamente.



*Asador la Parra*

### Parada 1. **CANAL FLUVIO – KÁRSTICO DEL RÍO GUARDAL. Monitor: Francisco Juan García Tortosa (Doctor en Ciencias Geológicas)**

El agua es uno de los mejores elementos que originan la erosión de la naturaleza. Excava valles, profundiza barrancos, disuelve las rocas, arrastra la tierra y penetra en el interior de la corteza terrestre, donde continúa su imparable labor. El predominio de rocas de naturaleza carbonatada en las diferentes sierras que conforman el borde norte del Geoparque; la acción del agua y del hielo en las altas cumbres determina la existencia de un paisaje muy singular denominado karst. El modelado kárstico es el resultado de los procesos de disolución que tienen lugar en las rocas carbonatadas, por acción del ácido carbónico del agua, dando lugar a una gran diversidad de formas, tanto en la superficie del terreno (dolinas) como en su interior (cuevas y galerías). Existe un factor importantísimo que favorece el desarrollo de un sistema kárstico: la presencia de fallas y fracturas en la roca, que permiten la circulación del agua por estas vías preferenciales, y donde los procesos de disolución van a concentrarse.

Al contrario de como ocurre en la cuenca de Guadix-Baza en la que los ríos, a su paso por los sedimentos blandos, forman valles en “V” en los que en sus laderas se han desarrollado cárcavas y barrancos que configuran los actuales paisajes de badlands. El cañón del río Guardal, en las inmediaciones de Duda, atraviesa rocas calizas estratificadas de gran belleza, que están recorridas por una gran fractura que sigue la alineación del río. Este río ha ido excavando con el paso del tiempo las rocas calcáreas con paredes muy verticalizadas en ambos márgenes con alturas de varias decenas de metros.



*Cañón del río Guardal en la fábrica de la luz de Huéscar*

El encajamiento del río Guardal y el ligero levantamiento de Sierra Seca en la parte occidental, han contribuido a que se haya producido un gran proceso erosivo de la vertiente de la sierra. Este proceso erosivo queda reflejado con una gran superficie inclinada hacia el río en la cual los agricultores han aprovechado para el cultivo de almendros y olivos. Bajo esta superficie, denominada glacis, se distribuyen arenas y conglomerados con cantos fundamentalmente calcáreos procedentes de la sierra. Los manantiales adosados a la sierra y las filtraciones que concurren sobre estos sedimentos originan unas rocas denominadas travertinos. Su estructura interna es un conglomerado calcáreo con eventuales restos de plantas, asociadas a un periódico encharcamiento que cede sus aguas a las paredes verticales del río Guardal. Este proceso de escorrentía del agua a través de los conglomerados ha originado una cementación carbonatada endurecida que se nos ofrece con unos tonos blanquecinos, formando unas superficies relativamente planas denominadas "terrazas travertínicas". Estas terrazas, así como en otros lugares, suelen mostrar surgencias de gran belleza en forma de cascadas.



*Plataforma de travertinos en la fábrica de la luz de Huéscar*

**Parada 2. GEOLOGÍA REGIONAL DEL GEOPARQUE. ZONAS GEOLÓGICAS. Monitor: Curro Roldán García (Doctor en Ciencias Geológicas)**

El Geoparque de Granada, ocupa una extensión de 4.722 km<sup>2</sup>, a lo largo de las comarcas de Guadix, Baza y Huéscar. Geográficamente esta región se halla dentro de las Cordilleras Béticas, con el Sistema Penibético al sur y el sistema Bético al norte; con un conjunto de zonas entre las anteriores y más llanas denominadas depresiones como las de Guadix-Baza, Granada, Guadalquivir, etc.

Desde el punto de vista geológico la Cordillera Bética (o Cordilleras Béticas, Figura 1), situada al sur del Macizo Ibérico (Meseta), se divide en varias zonas denominadas: Zonas Internas (Penibético) y Zonas Externas. En estas últimas se adscriben dos dominios, el Subbético al sur y el Prebético al norte. Entre estas Zonas se ubican diversas cuencas sedimentarias (depresiones), entre las que se encuentra la cuenca de Guadix-Baza.

El acercamiento que se está produciendo entre África y Europa por colisión entre estos dos continentes, es la causa de la estructuración y formación de la Cordillera Bética. Este choque es la causa que las Zonas Internas, con su máximo exponente Sierra Nevada, prosiga su levantamiento en los últimos 8 millones de años. Este levantamiento se ha calculado en 400 metros por cada millón de años. Lo que supone unos 0,4 mm/año en tiempo humano. Y es la causa de los innumerables terremotos que acontecen en la provincia de Granada. Los pasados días 2 y 3 de Febrero se han registrado dos terremotos, uno en Zafarraya con una magnitud de 3 en la escala de Richter y otro cerca de la Puebla de don Fadrique de 3,7.

Asociado al citado levantamiento se produce simultáneamente un progresivo desplazamiento hacia el noroeste de las Zonas Externas (Figura 2). El Prebético que está más cerca del Macizo Ibérico (MI) se estructura en escamas tectónicas, que se van apilando unas sobre otras al frenarse las más frontales sobre el MI. El Subbético apenas tiene espacio para acomodarse en escamas entre Las Zonas Internas y el Prebético, saliendo desplazado en su mayor parte hacia el oeste como también lo hace la parte meridional del Prebético.



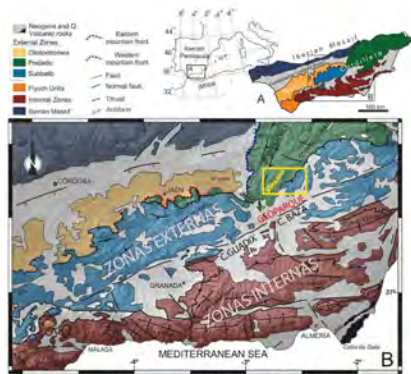


FIGURA 1.- ESQUEMA GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA BÉTICA. SITUACIÓN DEL GEOPARQUE. CUENCAS DE GUADIX-BAZA

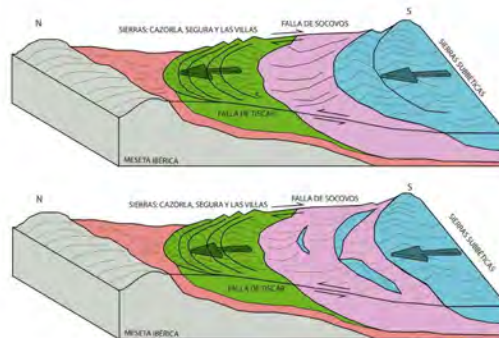


FIGURA 2.- DEFORMACIÓN PROGRESIVA DE LAS ZONAS EXTERNAS SOBRE LA MESETA IBÉRICA

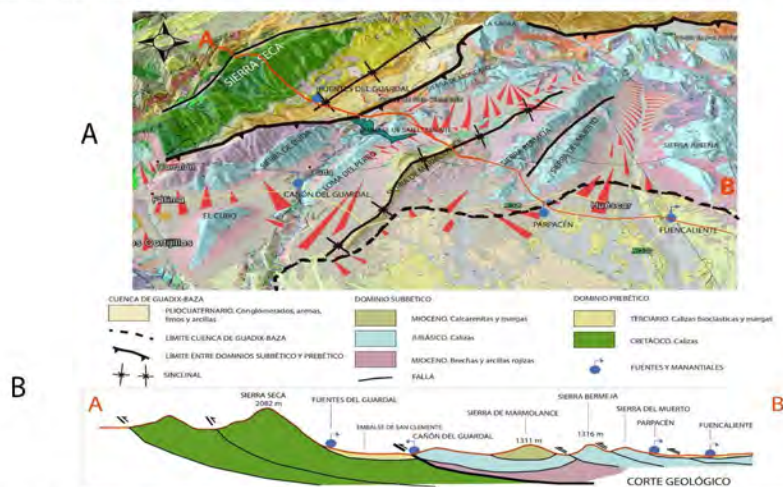


FIGURA 3.- A) MAPA GEOLÓGICO DE HUÉSCAR Y SAN CLEMENTE; DISTRIBUCIÓN DE LAS SIERRAS PREBÉTICAS Y SUBBÉTICAS. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE GUADIX-BAZA (GEOPARQUE) B) SUPERPOSICIÓN EN ESCAMAS DE ESTOS DOS DOMINIOS. SITUACIÓN DE LOS PRINCIPALES MANANTIALES DE LA REGIÓN.

En la Figura 3 A, se muestran diversas sierras prebéticas bien estructuradas en escamas. La más meridional es sierra Seca en la cual se sitúan las fuentes del río Guardal entre otras, cuyas aguas van a rellenar el embalse de san Clemente. Separadas por un límite tectónico se distribuyen las sierras subbéticas, que se muestran parcialmente desarticuladas unas de otras. Las más importantes son: sierras de Duda, Moncayo y Sagra y al oeste las sierras del Perro, Marmolance, Bermeja, del Muerto y Jureña. Todas ellas formadas fundamentalmente por rocas de naturaleza calcárea. Más al sur se delimita la cuenca de Guadix-Baza bastante más llana y formada por rocas más blandas de conglomerados, arenas, margas y yesos.

En la Figura 3 B, se interpreta una sección geológica de cómo se estructuran en escamas las sierras anteriormente descritas. Este esquema muestra la disposición solapada de las sierras y la distribución de los manantiales más importantes de la región. Sus aguas drenan a los ríos Guardal, Bravatas y Raigadas, que vierten al embalse de san Clemente y de ahí al río Guadiana Menor. El río Guardal, aguas abajo del embalse, se encaja en un bello desfiladero, el manantial más caudaloso que cae

en forma de cascada sobre el río Guardal origina un edificio travertínico de gran belleza.

### PARKING DE LA PISCIFACTORÍA LAS FUENTES (UTM ETRS89 528425-4193475).

En esta segunda parte del recorrido iremos en coche, unos 4,6 km. desde el embalse de San Clemente hasta la piscifactoría Las Fuentes (<https://piscifactorialasfuentes.es>. Camino de las Fuentes. 18830 Huéscar, Granada). Los vehículos se dirigirán al parking desde donde se continuará a pie la ruta.



Parking de la piscifactoría

En el trayecto se pasará por el interior de la piscifactoría donde se podrán ver los tres lagos trucheros, destinados a la pesca familiar, y las piscinas y criaderos que se dedican a la reproducción, cría, desarrollo y comercialización de la trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*) y la trucha común (*salmo trutta*).

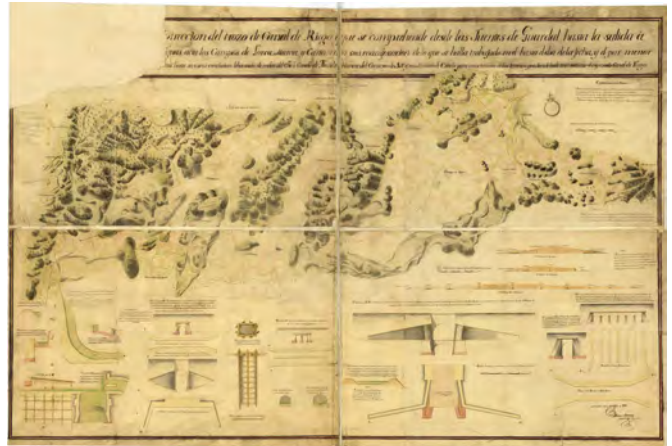


*Piscifactoría las Fuentes*

**Parada 3. CANAL DE CARLOS III. Monitor: José Julio Martínez Valero (Profesor de historia)**

Los caudales de agua drenados por el grupo de manantiales de las Fuentes del Guardal, han sido objeto de diversos intentos históricos de aprovechamiento para su utilización en regadíos de zonas muy alejadas a su nacimiento. La idea de construir un canal de riego para alimentar los regadíos de tierras murcianas fue planteada de forma recurrente ya desde el reinado de Carlos I. Pero sería en tiempos de Carlos III quien autorizará la construcción del canal creando la Compañía del Canal de Murcia, concesionaria, por Real Cédula, en 1775 (Díaz López, 1995). Se encargó el proyecto al ingeniero holandés Krayenhoff y al ingeniero francés Boizot. Este proyecto dio lugar al inicio de la construcción del denominado Canal de Carlos III cuyas obras pueden contemplarse hoy día en el entorno de las surgencias de la Fuentes del Guarda y el embalse de San Clemente hasta Huéscar. El proyecto pretendía construir un canal que captase las aguas de estos manantiales y un ramal secundario al que se le unieran las aguas procedentes del vecino río Castril. La idea era que el canal fuese navegable hasta el Cabo de Palos entrando a las tierras de Murcia por la zona de Topares (T.M. de Vélez Blanco, Almería) tras atravesar el T.M. de Huéscar. En 1785 se disuelve la compañía por Real Decreto y se abandonan las obras tras un informe ordenado por el ministro Floridablanca. Aun así, en el siglo XIX, se intentó retomar el proyecto. Hoy quedan visibles los restos de aquellas obras, en el punto de arranque del Canal en el entorno de la piscifactoría de las Fuentes, siendo los más representativos “La Muralla” o “La For-

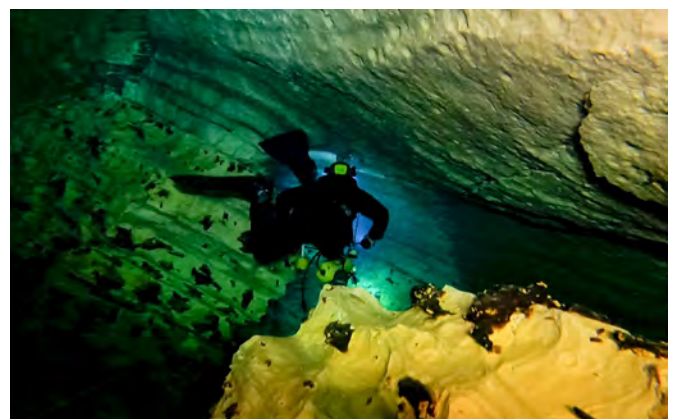
talesa”, a pocos metros por debajo de la piscifactoría, “Los Pilares”, un espectacular acueducto sobre el río Raigadas, o el *Puente Las Ánimas* también en el río Raigadas, así como en trincheras excavadas en diversos tramos.”



*Plano del canal de Carlos III (Puente de las Ánimas)*

**Parada 4. MANANTIAL DE LA NATIVIDAD. Monitor: Antonio Lope Morales González (Grado en Ciencias Ambientales)**

El manantial de la Natividad, surge en el entorno de la piscifactoría las Fuentes, justo en el contacto entre los carbonatos del Cretácico superior y un nivel margoso terciario, que hace de barrera impermeable. El nacimiento principal denominado de Pedro Jiménez se localiza en los mismos carbonatos, en la ruptura de pendiente del talud de la ladera de la sierra. El agua brota en una cavidad localizada en el fondo del cauce al que alimenta. Aguas abajo existe una galería artificial justo bajo el cortijo de la Natividad que alcanza una zona de fractura por donde surge un importante caudal. Un poco por debajo del punto donde se unen estas dos descargas se localiza la estación de aforos de la Natividad, controlada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.



*Espeleobuceo en el manantial de Pedro Jiménez*

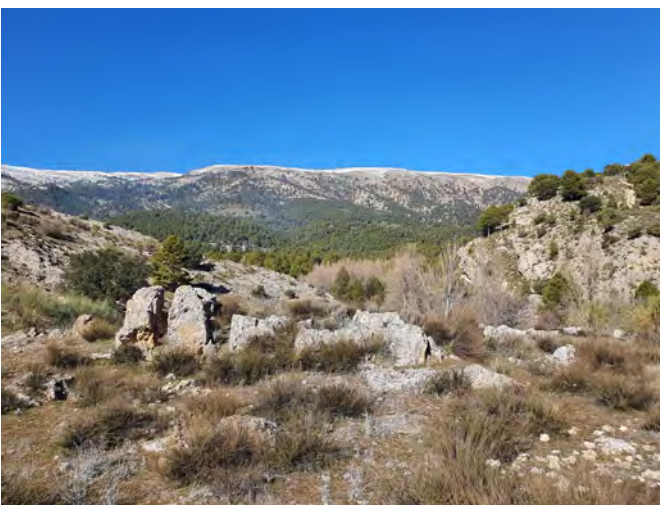




Galería del Cortijo de la Natividad

**Parada 5. YACIMIENTO PREHISTÓRICO DE LAS FUENTES. Monitor: Raúl Bustamante Ortega (Arqueólogo)**

Está catalogado como patrimonio inmueble de Andalucía con el código 01180980051. Se trata de un poblado perteneciente a la Prehistoria Reciente (hace 5.000 años) situado en un espolón rocoso, perteneciente a la finca de Las Fuentes, junto al río Guardal, en una posición estratégica, con un importante control visual y en una encrucijada de caminos. Este poblado conserva abundantes restos de estructuras, algunas de ellas excavadas y rebajadas en la propia roca. También un conjunto de enterramientos, en posición fetal, que fueron descubiertos en los años 80 y que se adscriben a la Edad del Bronce, a la famosa Cultura del Argar. Su relevancia histórica, viene además acompañada de la gran belleza paisajística de su entorno y de unas impresionantes visitas del fantástico entorno de Las Fuentes.



Yacimiento prehistórico de las Fuentes

**Parada 6. TROP PLEIN DEL GUARDAL. Monitores: Antonio González Ramón (Espeleólogo y Doctor en Ciencias Geológicas) y Manuel López Chicano (Doctor en Ciencias Geológicas)**

El nacimiento permanente de Fuente Alta se localiza a la cota 1139 m s.n.m. Aguas arriba, siguiendo el mismo cauce se encuentra la entrada a la Cueva Baja del Nacimiento del Río Guardal, a 1146 m s.m.m. y por encima de ella, a corta distancia, aparece la entrada a la Cueva Alta del Nacimiento del Río Guardal (1150 m s.n.m.).

La Cueva Alta del Nacimiento del Guardal también se le denomina Cueva de los Murciélagos. Fue topografiada por el Grupo de Espeleólogos Granadinos (GEG) en el año 2006 La entrada aparece al pie de un pequeño escarpe rocoso, junto al cauce del barranco. La primera galería presenta una dirección NO-SE y una inclinación de unos 30° al SE siguiendo la máxima inclinación de los estratos. En seguida, y tras un paso de techo bajo, aparece una amplia galería descendente en dirección perpendicular a la anterior, que finaliza tras un corto recorrido.

La cueva se encuentra totalmente seca, sin embargo, en periodos húmedos, como el ocurrido a finales de 2010 o en diciembre de 2019, puede inundarse por completo durante cortos periodos de tiempo y expulsar grandes caudales de agua por su entrada. Cuando esto ocurre, se activan también otros puntos de surgencia cerca de su entrada, relacionados con una zona colapsada que obstruye la galería principal de la cueva baja. De hecho, se interpreta que la cueva alta formaba parte de la misma red de galerías que la cueva baja hasta que se produjo este hundimiento.

(A) Imagen de la entrada de la Cueva Alta del Nacimiento del Río



Guardal tomada en Junio de 2014. (B y C) Activación del Trop Plein en diciembre de 2010. (B y C cedidas por Jesús García Maldonado). D) Trop plein en funcionamiento el 21 de diciembre de 2019 a las 9 de la mañana en el punto álgido de la crecida (Foto cedida por Antonio Lope).





En las figuras 1, 2 y 3 se observa el mapa geológico de la comarca, donde confluye el dominio Prebético y Subbético, así como un corte geológico que refleja un apilamiento hacia el Noroeste de los materiales que constituyen las diferentes sierras, como resultado de los esfuerzos generados durante la orogenia Alpina. El dominio Subbético está mucho más deformado que el Prebético, fruto de los grandes desplazamientos que ha sufrido aquél para colocarse encima de este último.

La naturaleza calcárea de las diferentes sierras y su disposición, favorece la existencia de importantes acuíferos kársticos que drenan a través de copiosos manantiales, dando origen a los principales ríos de la comarca: El Guardal, El Bravatas y Raigadas, que vierten al Guadiana Menor. Al llegar a la llanura, los ríos se encajan aprovechando fallas y fracturas, dando lugar a bellos cañones y desfiladeros, como el del río Guardal.

La Sierra Seca, donde se localizan los manantiales de las Fuentes del Guardal, constituye una alineación montañosa de dirección NNE-SSO formada por una secuencia de rocas fundamentalmente carbonatadas de edad Cretácico-Mioceno. Pertenece al Dominio Prebético y se extiende hacia el N hasta enlazar con los extensos campos de Hernán Pelea.

El Cretácico inferior finaliza con un tramo de calizas, con rudistas en la parte superior, que es en el que se desarrollan las cavidades del Nacimiento del Río Guardal. Estos carbonatos, de unos 400 m de espesor en Sierra Seca, aparecen a techo sellados parcialmente, en la zona de ruptura de pendiente, por un nivel de margas y margocalizas de espesor variable. Cerca del contacto entre estos dos niveles aparecen los manantiales de Fuente Alta. Hacia techo y lateralmente este nivel margoso pasa a calizas de tonos claros del Cretácico superior, de 150 m de potencia, en las que surgen los manantiales del entorno de la piscifactoría "Las Fuentes". La secuencia terciaria constituida por margas paleógenas, calizas miocenas y margas miocenas finaliza la serie (Lupiani et al., 2007).

### **Bibliografía.**

Lupiani Moreno, E y Roldán García, FJ. 2007. *Mapa Geológico Nacional escala 1:50.000. Hojas 929 (22-37) Canal de San clemente y 950 (22-38) Huéscar.*

Fernández Chacón F. et al, 2014. *Itinerarios Geoturísticos en torno al camino natural del Canal de Carlos III. 1ª Ruta: Aguas con Historia de Huéscar.*

González Ramón A., 2021. *Realización de actuaciones relacionadas con la mejora del conocimiento de puntos de patrimonio hidrogeológico: Nacimiento del Río Guardal-Canal de Carlos III. CN IGME CSIC-DIPGRA.*

García Tortosa, Francisco Juan, 2022. *Guía Geológica del Geoparque de Granada. 327 páginas. ISBN 978-84-7807-707-6*

**Relación de personas que colaboran en el HIDROGEO-DÍA 2023 de la provincia de Granada:**

**Alcaín Martínez, Gema.** Diputación Provincial de Granada. Organización HIDROGEO DÍA 2023

**Bustamante Ortega, Raúl .** Cronos Patrimonio y Cultura. Monitor de la 5ª parada.

**García Tortosa, Francisco Juan.** Geoparque de Granada. Universidad de Jaén. Monitor de la 1ª parada

**Gómez de Ayala, Rafael.** Diputación Provincial de Granada. Organización HIDROGEO DÍA 2023

**González Ramón, Antonio.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor de la 6ª parada. Organización HIDROGEO DÍA 2023

**Hueso Quesada, Luis Miguel.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Recepción e inscripciones

**Janos Hidas, Karoly.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos.

**Jiménez Escamilla, María Cristina.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Recepción e inscripciones

**Jiménez Sánchez, Jorge.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos

**López Chicano, Manuel.** Universidad de Granada. Asociación Proyecto Conoce tus Fuentes. Monitor de la 6ª parada.

**Luque Espinar, Juan Antonio.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos

**Martin Zakaluk, Thomas.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos

**Martínez Valero, José Julio.** IES Alquivira de Huéscar. Monitor de la 3ª parada

**Morales González, Antonio Lope.** Universidad de Jaén. Monitor de la 4ª parada.

**Navarro García, Juan Antonio.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Recepción e inscripciones

**Peinado Parra, Tomás.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Coordinador del HIDROGEO DÍA 2023. Organización del HIDROGEO DÍA 2023

**Pulido Velázquez, David.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos.

**Redrado Tambo, César.** Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Monitor acompañante de grupos.

**Roldán García, Curro.** Asociación Proyecto Conoce tus Fuentes. Monitor de la 2ª parada

**Viedma Ponce, Raúl.** Piscifactoría Las Fuentes. Organización HIDROGEO DÍA 2023





Plano de situación del punto de encuentro y parkings



*Escribe aquí tus notas*





*Esta guía ha sido elaborada por Tomás Peinado Parra y Antonio González Ramón del Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España CSIC. Ha contado con la colaboración de Curro Roldán García de la Asociación Proyecto Conoce tus Fuentes y Raúl Bustamante Ortega de Cronos Patrimonio y Cultura,*

*El diseño y la maquetación ha sido realizado en entorno Microsoft Publisher por Tomás Peinado Parra. Las fotografías utilizadas en las que no se cita su autoría en el pie son de Antonio González Ramón, Gema Alcaín Martínez y Raúl Viedma Ponce.*




**HIDROGEODÍA**  
2023



**II Concurso de Fotografía  
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023**






**DÍA  
MUNDIAL  
DEL AGUA**

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

**22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua**

**¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?**

**Concurso del Agua Subterránea, 2023**



**¡PARTICIPA!**



# HIDROGEODÍA

## 2023 Guadalajara

# Geoparque Mundial UNESCO Comarca de Molina Alto Tajo



II Concurso de Fotografía  
Hidrogeológica AIH- Hidrogeodia 2023



## El sistema kárstico de la laguna de Taravilla La acción del agua bajo la belleza del paisaje

Excursión guiada gratuita  
26 de marzo de 2023 a las 10:00 y 12:00h  
Laguna de Taravilla  
Parque Natural Alto Tajo

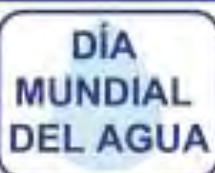


COLABORAN



parque natural  
Alto Tajo

Punto de encuentro: Aparcamiento de las Casas del Salto de Poveda  
Solo previa inscripción mediante email a: [geoparquemolina@gmail.com](mailto:geoparquemolina@gmail.com)  
Más información y folleto en: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023/>



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



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

¡PARTICIPA!



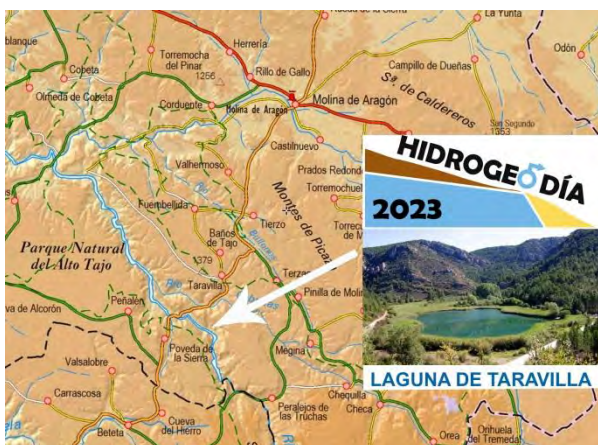


## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la hidrogeología con motivo de la celebración del Día Mundial del Agua (22 de marzo). La hidrología es la parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción humana),

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por geólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Guadalajara, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en la **Laguna de Taravilla**. Se llevará a cabo una visita guiada por un itinerario de unos 3 km de ida y vuelta con cuatro paradas en las que se explica la génesis y el funcionamiento de este sistema hidrogeológico kárstico.

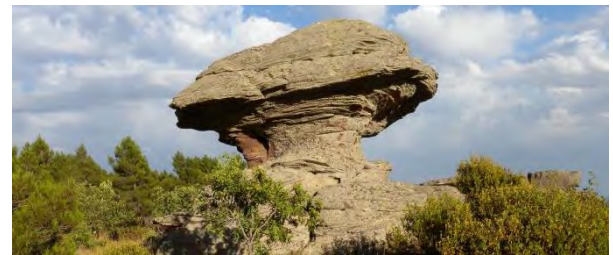


Situación



## GEOPARQUE MUNDIAL UNESCO DE LA COMARCA DE MOLINA Y EL ALTO

La Comarca de Molina y el Alto Tajo pertenecen desde 2014 a la Red Global de Geoparques Mundiales de la UNESCO. Esta organización está formada por territorios que poseen un patrimonio geológico de relevancia internacional gestionado adecuadamente para convertirlo en fuente de desarrollo sostenible.



Rocas del geoparque

El geoparque tuvo su germen en el Parque Natural del Alto Tajo, declarado en el año 2000. Este espacio desarrolla múltiples acciones relacionadas con la conservación, la divulgación y los servicios turísticos.



Panel interpretativo sobre la Laguna de Taravilla

## CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro y de partida de nuestro recorrido es el aparcamiento junto al alojamiento rural Casas del Salto de Poveda. Para llegar se debe tomar la pista forestal que sale del km. 69 de la carretera CM-210. Se llega tras recorrer unos 5 kilómetros aguas arriba por la margen izquierda del río.



*Aparcamiento de las Casas del Salto de Poveda*

Para tomar la pista forestal desde la carretera, deberemos hacerlo circulando en dirección a Molina de Aragón. Para tomarla circulando en dirección a Poveda de la Sierra, al encontrarse en una curva peligrosa, deberemos continuar hasta alguna zona adecuada de la carretera en la que cambiar de sentido. Normalmente, la pista se encuentra en buenas condiciones para la circulación de todo tipo de vehículos, si bien es necesario extremar la atención ante la posible presencia de piedras, baches u otros eventuales obstáculos.

## ENTORNO GEOLÓGICO. LAGUNA DE TARAVILLA

La laguna se encuentra en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, un área de relieves formados por el encajamiento de la red fluvial del río Tajo en su curso alto, seccionando las parameras de la zona y formando paisajes kársticos sobre las rocas carbonatadas (calizas y dolomías). En las laderas y escarpes de este accidentado paisaje quedan expuestos estratos de rocas sedimentarias del período Mesozoico, entre las que destacamos los siguientes:

Jurásico Inferior: calizas y margas sedimentadas en las costas del mar del Tethys, en ambientes de plataforma continental poco profunda, clima cálido y semi-árido. Se encuentran por el fondo del valle, próximas al curso del río Tajo.

Cretácico Medio: Areniscas y arenas con niveles arcillosos impermeables, formadas en ambientes continentales fluviales y litorales.

Cretácico Superior: calizas formadas en ambientes marinos de plataforma abierta. Afloran en bancos formando los escarpes que coronan las laderas y la superficie de los páramos circundantes. Son relativamente solubles por el agua de lluvia y contienen fracturas que actúan como reservorio de agua, dando lugar a cavidades subterráneas.



## EL SISTEMA KÁRSTICO DE LA LAGUNA DE TARAVILLA

Las calizas del Cretácico Superior, altamente solubles, que forman las parameras circundantes, presentan fracturas que favorecen la infiltración de las aguas pluviales. La solubilidad de la roca caliza facilita su progresiva disolución dando lugar a cavidades subterráneas. El flujo de agua subterránea se ve obstaculizado por la presencia de las capas arcillosas del Cretácico Medio. Cuando la erosión remontante en las laderas del valle alcanza la base de las capas de caliza, se producen surgencias de agua saturada en carbonato cálcico.

Una de estas surgencias cercana a la laguna ha dado lugar a un pequeño arroyo, en cuyo curso, la precipitación de toba calcárea ha generado un edificio tobáceo, que ha evolucionado hasta formar una barrera que ha represado el flujo de agua originando la laguna de Taravilla.



Esquema del sistema kárstico de la Laguna de Taravilla

## ITINERARIO



Itinerario del Hidrogeodía 2023 de Guadalajara

El itinerario comienza en el paraje conocido como Casas del salto de Poveda. Se trata de un pequeño embalse que desagua formando una cascada sobre una presa en desuso y cubierta por depósitos de toba. Los antiguos alojamientos de los trabajadores que construyeron la presa, se encuentran rehabilitados como alojamientos rurales en los que existen servicios de restauración y zona de aparcamiento para vehículos. A partir de allí, el itinerario, de unos 3 km de ida y vuelta, está formado por sendas (GR 66) y pista forestal, cruzando el río Tajo por una pasarela peatonal y ascendiendo por el edificio tobáceo que represa la laguna y finalizando con la llegada a la surgencia inicial que da origen a todo el sistema tobáceo.

## PARADAS

### PARADA 1:

#### El Salto de Poveda



Antigua presa del Salto de Poveda

Desde el aparcamiento, descendemos en dirección al río Tajo poco más de un centenar de metros. El sonido del agua precipitándose, nos ayudará a encontrar nuestro destino.

Se trata de una antigua presa situada sobre el cauce del río Tajo. El represamiento nunca llegó a entrar en funcionamiento debido a las dificultades para llenarla ocasionadas por el entorno kárstico en el que se enmarca, el cual genera múltiples filtraciones que impidieron el almacenamiento eficaz del agua.

Destaca el rápido desarrollo de depósitos tobáceos sobre sus muros, en menos de un siglo de existencia, lo que evidencia la elevada concentración de carbonatos en el agua de este entorno y las condiciones favorables para su precipitación.

### PARADA 2:

#### La barrera de toba



*La vegetación crece profusamente sobre la represa tobácea de la laguna*

A nuestra derecha encontramos rocas calizas y margas formadas durante el Jurásico Inferior, en las que podemos reconocer cierta estratificación. Sin embargo, a nuestra izquierda, las rocas, también de tipo calizo, son más caóticas y con abundantes oquedades por las que fluye agua y que son aprovechadas por las plantas para introducir sus raíces. Se trata de la toba que ha crecido sobre las anteriores y que forma el edificio tobáceo a modo de represamiento que bloquea el curso del agua, creando así la laguna.

La desgasificación del agua liberando  $\text{CO}_2$ , favorece la precipitación de carbonato sobre la superficie de las plantas, formando moldes de sus tallos y hojas. Progresivamente, al continuar la precipitación de carbonato, la toba se va rellenando hasta formar una roca, manteniendo su aspecto oqueroso.





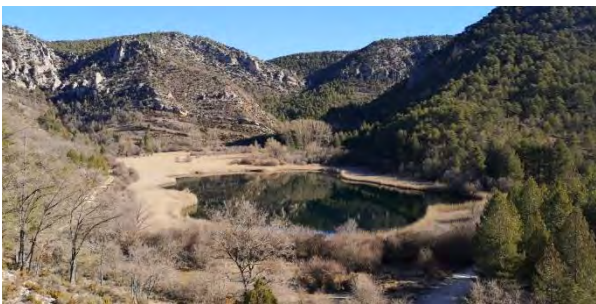
Toba calcárea

La toba caliza es una roca ligera, fácil de tallar, pero a la vez relativamente consistente, por lo que también se utiliza en construcción. Es fácil encontrarla formando parte de construcciones tradicionales como muros y especialmente para la formación de arcos y bóvedas.

### PARADA 3:

#### La laguna de Taravilla

Esta laguna funciona como un embalse natural, abasteciéndose de una surgencia situada a poca distancia aguas arriba, que es represada por el dique natural generado por el crecimiento del edificio tobáceo.



Vegetación en el margen de la laguna.

Esta peculiar génesis determina las características de la laguna como son su notable profundidad o que, salvo en momentos de intensas precipitaciones,

mantenga siempre un nivel de agua muy estable. Existen dos zonas por las que desagua cuando se alcanza el nivel suficiente, y que actúan como aliviaderos para el agua, determinando así la cota máxima de la laguna.



Aliviadero de la laguna sobre el edificio tobáceo.

En los márgenes de la laguna podemos observar que no hay señales de variación en el nivel del agua.

### PARADA 4:

#### La surgencia de agua carbonatada.

El agua de la surgencia procede de la lluvia infiltrada en el páramo situado más arriba. En su viaje subterráneo, ha disuelto la roca caliza formando cavidades subterráneas, por lo que, al emanar a la superficie, se encuentra saturada en carbonato cálcico, que precipita profusamente por todo el cauce, en especial cuando se libera el  $\text{CO}_2$  al golpear en cascadas o por las turbulencias



Zona de surgencia de agua que alimenta la laguna

## AGUA Y SOCIEDAD

Nos encontramos en una zona con escasa presencia humana y poco desarrollo industrial. El aprovechamiento tradicional del agua está relacionado con la ganadería, con abrevaderos para los rebaños, evitando así el peligro de acercarse a los ríos, y con la agricultura, consistente en reducidas explotaciones de regadío dispersas a causa de lo accidentado de la orografía. También se han construido molinos, repartidos a lo largo de los cauces y actualmente en desuso, para obtener harina de los cereales y pequeñas centrales hidroeléctricas, aprovechando la energía producida por el agua al salvar los frecuentes desniveles presentes en los cursos de los ríos de esta zona.



Pequeña presa en el río Tajo

## AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

El agua es clave para gran la riqueza que presentan los ecosistemas del Parque Natural del Alto Tajo. Su acumulación en las numerosas cavidades subterráneas y su progresiva liberación, propicia un abastecimiento continuo en cantidades moderadas. Independientemente de la época del año en que nos encontremos, numerosos manantiales se mantienen activos albergando multitud de comunidades bióticas de gran riqueza, tanto animal como vegetal.



Cañón del río Tajo

Es llamativa la diferencia entre las laderas de los cañones de solana, con comunidades vegetales propias de bosque mediterráneo, y las de umbría, más húmedas y frías, que en ocasiones conservan comunidades relictas de vegetación euro-siberiana.



## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE GUADALAJARA

Inscripción mediante mensaje de correo electrónico a la dirección:

[geoparquemolina@gmail.com](mailto:geoparquemolina@gmail.com)

Se trata de una actividad voluntaria y gratuita, por lo que las entidades y personas organizadoras no se hacen responsables de eventuales incidencias sufridas por los participantes.

La actividad tiene lugar en un espacio protegido muy sensible. Por lo tanto, es obligatorio respetar las normas del Parque Natural, entre las que destacamos:

- Solo se pueden estacionar vehículos en los aparcamientos habilitados, respetando su capacidad máxima.
- Existen varios aparcamientos repartidos por la pista de acceso y también al otro lado del río Tajo, junto a la laguna.
- No dejar ningún tipo de residuo. Que nuestra única huella sea la de nuestras botas.
- Circular por los caminos a una velocidad máxima de 30 km/hora.
- Evitar sonidos innecesarios que por su intensidad puedan alterar la convivencia con el medio natural.

## PARA SABER MÁS

[www.geoparquemolina.es](http://www.geoparquemolina.es)

Calonge A. y Rodríguez M. (eds.), 2008. Geología de Guadalajara. Obras colectivas Ciencias 03 UAH, 368 p.

Carcavilla L. y Calonge A. (eds.), 2021. Guía de Fósiles del Geoparque Molina Alto Tajo. Asociación de Amigos del Museo de Molina, Molina de Aragón, 200 p.

Carcavilla L., Ruiz R. y Rodríguez E. 2011. Guía Geológica del Parque Natural del Alto Tajo. IGME, 267 p.

## ORGANIZAN





## COLABORA



## CONCURSA

**HIDROGEODÍA 2023**  **II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023** 

 **DÍA MUNDIAL DEL AGUA** **22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua**   
**¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes? Concurso del Agua Subterránea, 2023**  
Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE) ¡PARTICIPA!





**25 de marzo de 2023**

# El Agua en las Minas de Tharsis

**VISITA GUIADA GRATUITA**

**IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA**

**email de contacto:**

**hidrogeodiahuelva@gmail.com**

**Se recomienda llevar ropa y calzado cómodo, agua y algo de comida**

**PUNTO DE ENCUENTRO:**

**Facultad de Ciencias Experimentales**

**Campus El Carmen - Huelva**

**Hora de salida: 9:00**

**Hora de llegada (estimada): 16:00**



**Información detallada y folleto de la excursión próximamente en:**

**[www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2023/](http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2023/)**

## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta ciencia es la parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre.

Esta jornada está impulsada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de actividades gratuitas, guiadas por hidrogeólogos y abiertas a todo tipo de público, sin importar sus conocimientos en la materia.

En la provincia de Huelva, el **Hidrogeodía 2023** mostrará los problemas de contaminación por **drenajes ácidos en las minas de Tharsis** y, en especial, la hidrología y evolución de las cortas inundadas por aguas ácidas.

## COMO LLEGAR

Dispondremos de un autobús que saldrá desde la puerta principal de la Facultad de Ciencias Experimentales, en el Campus del Carmen.

Para los que viajen por su cuenta el punto de encuentro será en las minas de Tharsis junto a Filón Centro, frente a la gasolinera GALP (ver Figura 1 y mapa con el recorrido al final de esta guía).



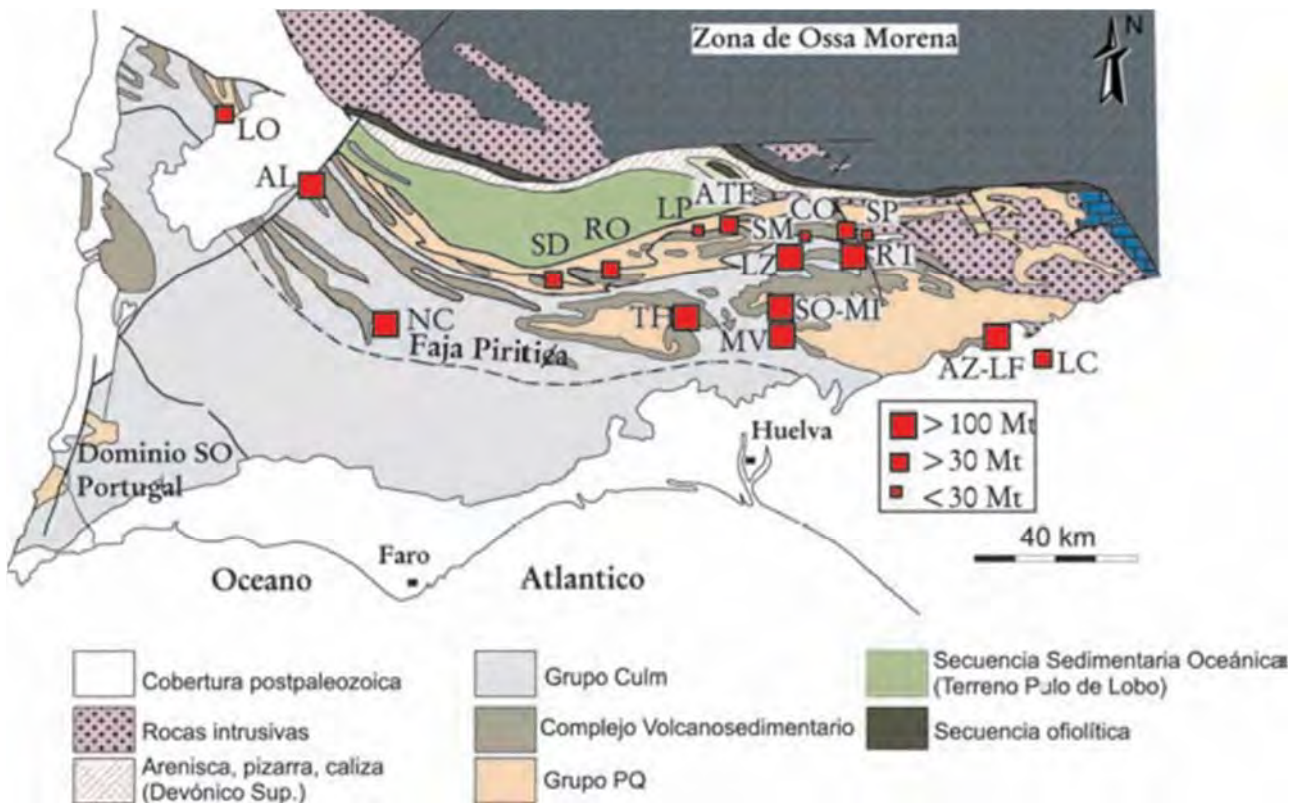
*Figura 1. Fotografía de Filón Centro desde el punto de encuentro.*

## MARCO GEOLÓGICO

En la provincia de Huelva existen tres grandes dominios geológicos: 1) La parte norte, coincidiendo con los relieves más elevados de la Sierra, pertenece a la denominada Zona de Ossa-Morena, 2) Las comarcas de la cuenca minera y del Andévalo forman parte de la Zona Sur Portuguesa (ZSP) y, 3) las comarcas del Condado y Costa, compuestas por materiales sedimentarios de la Cuenca del Guadalquivir, mucho más recientes (cobertura postpaleozoica en la figura 2).

Tharsis se ubica en el corazón de la Zona Sur Portuguesa, donde se encuentra la Faja Pirítica Ibérica (FPI) que a su vez se divide en tres unidades geológicas principales: 1) El Grupo PQ formado por pizarras y cuarcitas del Devónico Superior. 2) El Complejo Vulcano-Sedimentario (CVS) formado principalmente por rocas volcánicas y sedimentarias de inicios del Carbonífero. En esta zona existen enormes yacimientos de sulfuros masivos (Fig. 2) compuestos principalmente de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) junto a otros minerales como calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) y galena ( $\text{PbS}$ ) y, por último, 3) El Grupo Culm comprende pizarras y areniscas del Carbonífero, que se disponen encima del CVS.





**Figura 2.** Mapa geológico de la Faja Piritíca Ibérica mostrando los principales depósitos de sulfuros masivos (TH: Tharsis; Tornos, 2008).

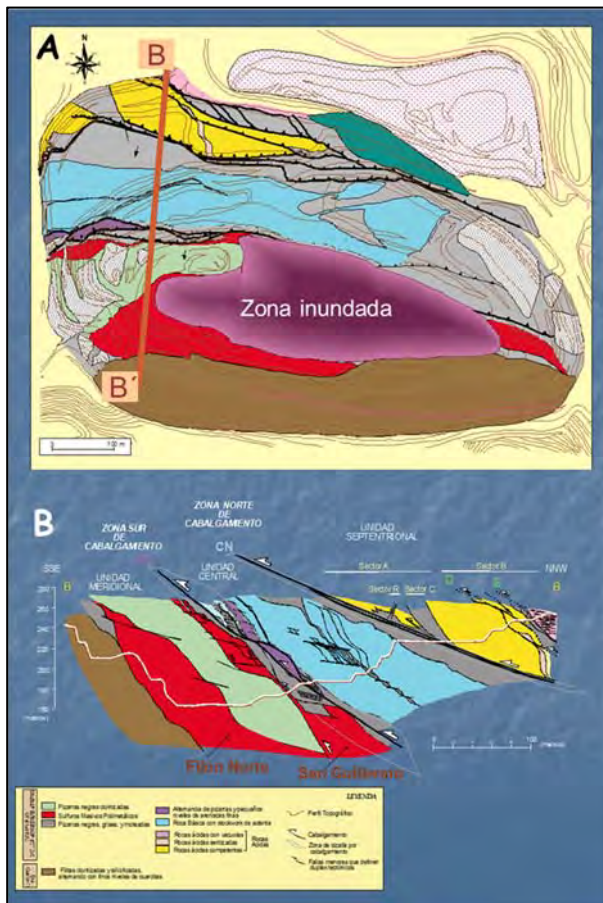
A escala local, la geología es muy compleja. Tharsis se localiza en el borde noreste del anticlinal de la Puebla de Guzmán. En la zona afloran litologías muy diversas, principalmente rocas sedimentarias y volcánicas que se acumularon en el fondo de una cuenca marina en el Devónico y Carbonífero inferior (hace unos 350 millones de años). Los materiales más antiguos son pizarras con finos niveles de cuarcitas del grupo PQ (Fig. 3) sobre las que superponen los siguientes conjuntos del Complejo Vulcano-Sedimentario: sulfuros masivos (en rojo en la figura 3), rocas básicas (de color celeste, fundamentalmente basaltos), rocas ácidas (de color amarillo, principalmente coladas de riodacitas), todas ellas con intercalaciones de pizarras (colores grises y verde claro). Estas rocas se originaron en una cuenca marina profunda en la que se produjeron varios episodios de vulcanismo. Los depósitos de sulfuros están relacionados a una importante actividad hidrotermal ligados al vulcanismo submarino.

Todos estos materiales sufrieron una importante deformación al final del Paleozoico, durante la orogenia Varisca, distinguiéndose dos grandes zonas de fallas de dirección aproximada Este-Oeste que se interpretan como mantos de cabalgamiento en los que los bloques situados por encima de las superficies de fallas han ascendido y se han desplazado hacia el sur (Fig. 3; Mantero y Alonso Chaves, 2008).

En Tharsis existen varias masas de sulfuros con unas reservas originales de unos 133 millones de toneladas, constituyendo un yacimiento denominado 'gigante'. El más importante es el de Filón Norte, San Guillermo y Sierra Bullones, con más de 88 millones de toneladas de reservas (de las que se han extraído unas 40) y unas leyes de 46,5% de S, 0,7% de Cu y 2,7% de Zn y Pb (Tornos et al., 2009).

Cuando los depósitos de sulfuros se encuentran cerca de la superficie del terreno,

y están en contacto con oxígeno atmosférico, se forman monteras de oxidación o gossans, de color rojo intenso. Estos materiales, constituidos mayoritariamente por óxidos de hierro, se enriquecen en los metales más inmóviles, como oro y plata, por lo que también han sido intensamente explotados.



**Figura 3.** Mapa y corte geológico de la zona de Filón Norte (Mantero y Alonso Chaves, 2008).

## HISTORIA DE LA MINERÍA EN THARSIS

La explotación de la mina Tharsis, como la mayoría de las minas de la FPI, se inició hace casi 5000 años, en la Edad del Cobre. Una clara evidencia de esta actividad son los restos de un antiguo poblado minero encontrado a 3 km al sur de Tharsis (Cabezo Juré), que se especializó en la metalurgia del cobre a partir de minerales como azurita y malaquita

(Nocete et al., 2005). Posteriormente, la minería experimentó un auge en la época de la civilización tartésica y, especialmente, durante la época romana. En Filón Norte existía un conjunto de 14 norias romanas, que llegaban a una profundidad de 43 m por debajo de una galería de drenaje que se dirigía al este (Gonzalo y Tarín, 1888). La minería romana y, en menor medida, la tartésica, dejaron unas 3,5 millones de toneladas de escorias cubriendo una importante superficie (Fig. 4), producidas por la metalurgia de 4,75 millones de toneladas de sulfuros. La explotación durante este período probablemente se concentró en la zona de enriquecimiento con las mayores leyes de cobre, oro y plata (Pinedo Vara, 1963).

A la explotación romana le siguió un largo período de escasa actividad minera hasta 1853, cuando las minas de Tharsis fueron redescubiertas por el ingeniero francés Ernesto Deligny, iniciándose su explotación tres años más tarde (Deligny, 1863). Para extraer los sulfuros de la zona de Filón Sur, donde se encontraba la principal montera de gossan, se amplió una antigua galería romana, la galería de la Sabina (Fig. 5). Sin embargo, este trabajo no tuvo éxito ya que estaba a una cota inferior a la masa de sulfuros y, por tanto, no llegó a cortar la mineralización (Checkland, 1967).

En 1866 la minería tuvo un gran impulso con la llegada de inversores británicos y la construcción de un ferrocarril hasta el puerto de Huelva para el transporte del mineral extraído. En este momento se inicia la minería a cielo abierto en Filón Norte y algo más tarde en Sierra Bullones y Filón Centro (Gonzalo y Tarín, 1888). Además, continuó la minería subterránea, especialmente en Sierra Bullones, cambiando el sistema de extracción por el de corte y relleno o explotación en grandes cámaras, mucho más eficiente en la recuperación de mineral (Checkland, 1967). El drenaje de la mina se realizaba mediante bombeo desde los pozos más profundos.





**Figura 4.** Mapa de los trabajos romanos en las minas de Tharsis (Checkland, 1967).



**Figura 5.** Fotografía de la Galería de La Sabina, situada al suroeste de Filón Sur. De esta galería mana un agua ácida de color verdoso debido a las condiciones reductoras, pero que rápidamente cambia en contacto con la atmósfera y se vuelve de color rojo intenso.

Durante este período, la explotación se concentró en la zona de enriquecimiento secundario rica en cobre. Parte del mineral extraído se exportaba y otra se trataba en la mina mediante un procedimiento de cementación artificial, que consistía en quemar los minerales durante unos 6 meses en pequeñas pilas triangulares de 100 toneladas, denominadas “teleras”. De esta forma, el azufre se liberaba a la atmósfera. El mineral quemado se lixiviaba comúnmente con agua ácida de mina para disolver el cobre. Posteriormente, la solución de lixiviación se desviaba hacia sistemas de canales donde el cobre precipitaba en forma de una capa delgada en contacto con chatarra de hierro (Fig. 6).

Este sistema, debido a los gases sulfurosos que se producían, tuvo un gran impacto en la salud de los mineros, el medio ambiente y los cultivos de las zonas aledañas (Carrasco Martiáñez, 2000).



**Figura 6.** Izquierda: Suelos sobre los que se quemaban las teleras hasta finales del siglo XIX al sur del embalse Grande, más de 100 años después los niveles de contaminación siguen siendo tan altos que no puede crecer ninguna planta. Derecha: Restos de canales para la precipitación de Cu con chatarra de hierro al este de Filón Norte, se observan lixiviados ácidos y abundantes sales evaporíticas de colores blanquecinos y amarillentos.

El problema se agudizó con la intensificación de la actividad minera, hasta que fue prohibida a finales del siglo XIX por las protestas de los mineros y los habitantes de los pueblos de los alrededores. Se cambió el sistema a cementación natural o vía húmeda, consistente en disponer el mineral en pilas de unas 100.000 toneladas y regarlas con agua de mina para favorecer la oxidación de los sulfuros. Luego de un tiempo, el mineral se lavaba para disolver el cobre y luego recuperarlo en los sistemas de canales. Una vez completado este proceso, el mineral ‘lavado’ se utilizaba para obtener ácido sulfúrico.

Hacia 1880 se construyó una galería de exploración desde la zona de Esperanza hacia el oeste, donde había pizarras ricas en cobre, hasta llegar a los sulfuros de Filón Sur (Gonzalo y Tarín, 1888). Estas pizarras fueron extraídas en su totalidad a finales del siglo XIX, generándose una corta abierta por el este (corta Esperanza), que posteriormente se rellenó con materiales extraídos del Filón Sur. La explotación en Filón Centro y Filón Norte se paralizó en 1884 y 1890, respectivamente, centrándose la extracción de mineral en Sierra Bullones tanto a cielo abierto como subterránea (Checkland, 1967).

Desde principios del siglo XX, una vez agotada la zona de enriquecimiento de Cu, el objetivo principal de la explotación pasó a ser el azufre contenido en la piritita para la fabricación de ácido sulfúrico. Más adelante, entre 1937 y 1964 se comenzó en Filón Sur un nuevo tipo de explotación con el objetivo de extraer el oro y la plata contenidos en el gossan, con una ley promedio de 2,9 y 35 g por tonelada, respectivamente (Pinedo Vara, 1963). El procedimiento utilizado fue la extracción por cianuración en una planta construida junto a Filón Sur, mientras que los residuos generados se vertían a la corta Esperanza.

A mediados del siglo XX se retomó la explotación en Filón Centro durante algunos años, ampliándose la corta. En esta época se descubrió el yacimiento San Guillermo, colindante con Filón Norte, iniciándose su explotación en la década del 60 mediante la ampliación de la corta de Filón Norte y también mediante minería subterránea. Se comunicaron los trabajos subterráneos en la zona de Filón Norte/San Guillermo con las de Sierra Bullones. En 1966 se abandonó definitivamente la actividad en Sierra Bullones tras 100 años de intensa explotación, mientras que a finales de la década de los 90 finaliza la explotación del Filón Norte.



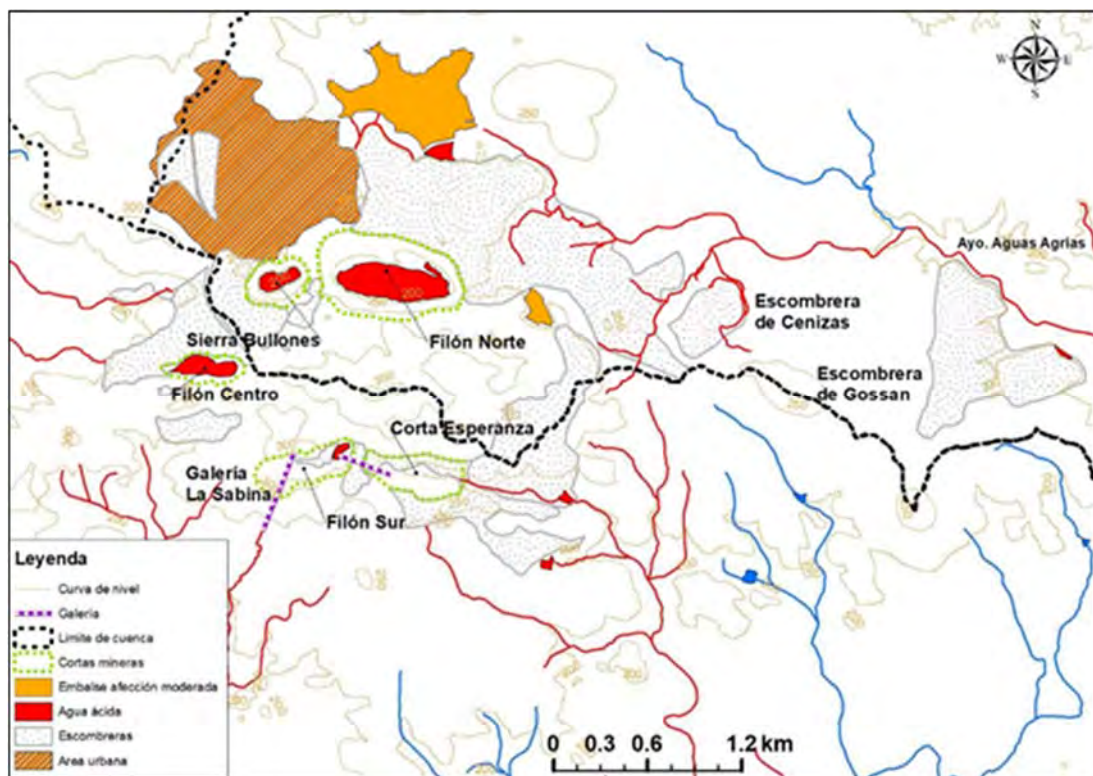
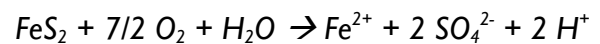
Entre 1990 y 2001 se reinició la explotación en Filón Sur para obtener oro y plata del gossan mediante cianuración, a una escala mucho mayor que en el período anterior. Los residuos generados en esta reciente explotación se acumularon al este del área minera, formando grandes escombreras (Fig. 7). Además de las minas de Tharsis, en la zona también se han explotado otras minas de menor entidad como La Lapilla, Almagrera, Vulcano y Prado Vicioso, situadas al sur, y Lagunazo, situada en el noreste.

Toda esta intensa labor minera ha dejado un rico patrimonio arqueológico e industrial, pero también graves problemas de degradación de la zona como consecuencia de una minería antigua en la que no se exigían controles ambientales, como veremos a lo largo del Hidrogeodía. En la actualidad, la empresa Tharsis Mining está realizando labores de investigación para la reapertura de la mina.

## EL PROBLEMA DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS

La minería realizada desde mediados del siglo XIX hasta finales del XX ha dejado cinco grandes cortas (Fig. 7), cuatro de ellas inundadas con aguas ácidas, y una gran superficie ocupada por escombreras, algunas de ellas ricas en sulfuros, y suelos intensamente afectados por las actividades mineras (Fig. 6).

Los sulfuros son estables y muy insolubles bajo las condiciones reductoras que existen en el subsuelo. Pero la exposición de estos minerales a condiciones atmosféricas, como ocurre en las escombreras y las cortas a cielo abierta, desestabiliza su estructura y se produce su oxidación, liberando  $Fe^{2+}$ , sulfatos y acidez, según la reacción:



**Figura 7.** Mapa de las minas de Tharsis indicando en color rojo los cursos fluviales afectados por aguas ácidas de mina.

El hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en condiciones oxidantes pasa rápidamente a hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que, a su vez, puede servir de agente oxidante de nueva pirita o precipitar como hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) y otros minerales más complejos. Estos minerales confieren el característico color rojizo de los medios afectados por aguas ácidas de mina. Una vez que se alcanzan condiciones ácidas se desarrollan microorganismos acidófilos que catalizan las reacciones de oxidación de los sulfuros, aumentando su velocidad en hasta un millón de veces y haciendo el proceso imparable. Una vez iniciado, la producción de aguas ácidas continuará durante centenares o miles de años, aunque la actividad minera cese.

Además, junto a la pirita también se oxidan otros sulfuros como arsenopirita, calcopirita, galena, etc. liberando al medio hídrico As, Cd, Cu, Pb, Zn y muchos otros metales que alcanzan concentraciones elevadísimas. Todo ello hace que los lixiviados ácidos de minas sean muy tóxicos y peligrosos para el medio ambiente

## PARADA 1: BALANCE DE AGUA EN FILÓN CENTRO

Mientras una mina se explota las labores de desagüe mediante bombeo hacen que el nivel freático en la zona descienda. Pero cuando

finaliza la extracción las labores de desagüe se paralizan y la mina se empieza a inundar, creando lagos artificiales que, en el caso de la minería de sulfuros suelen almacenar aguas ácidas con concentraciones extremas de metales. Las entradas de agua a estos lagos se producen por: 1) La precipitación directa sobre la corta, 2) La escorrentía superficial que se genera en la cuenca vertiente a la corta, y 3) Los aportes de aguas subterráneas. Las salidas se producen por: 1) Evaporación desde la superficie inundada y 2) En algunos casos, reboses superficiales o salidas subterráneas no visibles. Los aportes de aguas subterráneas son mayores al principio, debido a la gran diferencia de nivel freático en la corta y en el entorno, y van disminuyendo a medida que el nivel del agua en la corta asciende. Por el contrario, las salidas por evaporación se van incrementando a medida que la superficie inundada es mayor. El nivel del agua ascenderá hasta que se alcance un equilibrio entre las entradas de agua a la corta y las salidas.

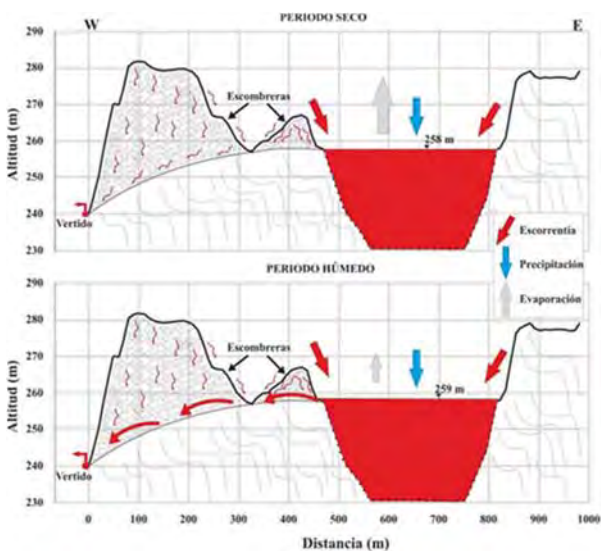
En Filón Centro el volumen de aguas ácidas es de  $1 \text{ hm}^3$ , lo que equivale a  $1.000.000 \text{ m}^3$  o 1000 millones de litros (Tabla 1). El nivel del agua permanece aproximadamente constante desde hace unos 50 años, aunque existen ligeras oscilaciones entre los periodos húmedos y los secos.

**Tabla 1.** Características de las cortas inundadas con aguas ácidas (datos de superficie y volumen de agua en 2016).

	Fin de la minería	Superficie de la cuenca ( $\text{hm}^2$ )	Superficie de la corta ( $\text{hm}^2$ )	Superficie del agua ( $\text{hm}^2$ )	Volumen del agua ( $\text{hm}^3$ )
<b>Filón Norte</b>	1999	60	52	12,9	3,6
<b>Sierra Bullones</b>	1966	104	10	2,3	0,5
<b>Filón Centro</b>	1960	20	7	3,8	1,0
<b>Filón Sur</b>	2001	29	13	0,6	0,006



Un balance hídrico de las entradas y salidas a la corta ha puesto de manifiesto que durante años secos no existen salidas de agua de la corta, es decir la evaporación compensa las entradas por la precipitación directa y los aportes de aguas superficiales y subterráneas (Fig. 8). Por el contrario, en años húmedos las entradas son superiores por lo que el nivel asciende ligeramente y se producen salidas hacia una surgencia ácida que existe al oeste, situada al pie de unas escombreras que están en contacto con la corta (Moreno et al., 2018).



**Figura 8.** Corte en dirección Oeste-Este mostrando las entradas y salidas de agua en Filón Centro durante periodos secos y húmedos (Moreno González et al., 2018).

## PARADA 2: BALANCE DE AGUA EN FILÓN SUR

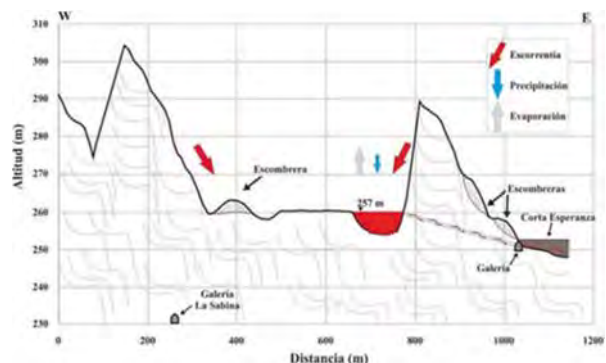
En Filón Sur (Fig. 9) el nivel del agua está estabilizado desde poco después de la finalización de la actividad minera en el año 2001, con un volumen de aguas ácidas acumuladas pequeño (sólo unos 6000 m<sup>3</sup>). No obstante, la superficie de la corta junto con la de su cuenca vertiente es elevada, bastante mayor que la de Filón Centro (Tabla 1). El balance hídrico entre las entradas y salidas pone de manifiesto que las entradas por las

precipitaciones y la escorrentía superficial son muy superiores a las salidas por evaporación. Ello implica que deben existir salidas no visibles desde la corta.



**Figura 9.** Fotografía de Filón Sur, la superficie inundada y el volumen de agua ácida es mucho menor que en las otras cortas de la zona de Tharsis.

Se creía que estas salidas se producían a través de la galería La Sabina, localizada al sur (Fig. 5). Sin embargo, los caudales de esta galería son constantes y muy inferiores a los que, por su superficie, se deberían generar en Filón Sur. La salida debe producirse por otra antigua galería situada hacia el este, en Corta Esperanza (Fig. 10). Esta galería fue perforada a finales del siglo XIX (Gonzalo y Tarín, 1888) y su salida está oculta actualmente, enterrada bajo los materiales que rellenan Corta Esperanza.



**Figura 10.** Corte en dirección Oeste-Este mostrando las entradas y salidas de agua en Filón Sur (Moreno González et al., 2018).

## PARADA 3: APORTES DE CONTAMINANTES A LOS RÍOS MECA Y ORAQUE

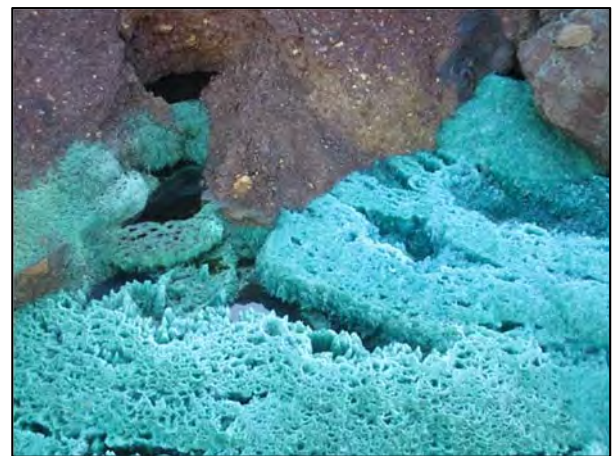
En la zona de Tharsis existen más de 25 focos puntuales de contaminación donde se producen lixiviados ácidos con altas concentraciones de contaminantes (Moreno González et al., 2020). La mayoría son permanentes con caudales habituales entre 0.1 y 5 L/s, aunque se incrementan notablemente durante periodos de lluvias intensas. Las condiciones más extremas se generan en los lixiviados de las escombreras de sulfuros, como en la que nos encontramos en esta parada (Fig. 11), con valores de pH incluso negativos, salinidades mayores que las del agua de mar y concentraciones disueltas de hasta 2.2 g/L de As y 194 g/L de Fe (Fig. 12).



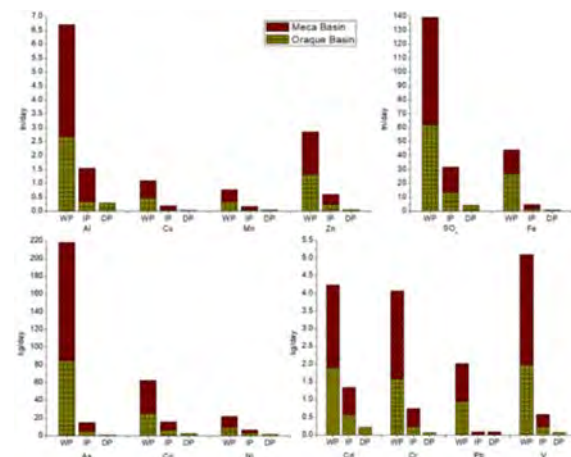
**Figura 11.** Fotografía de una escombrera de sulfuros de grandes dimensiones en la zona de Corta Esperanza. Se observan pequeños hoyos (dolinas) por la intensa disolución de los sulfuros, al pie de esta escombrera surgen lixiviados ácidos enormemente contaminantes.

La mayor parte de los lixiviados ácidos producidos se dirigen (Fig. 7): 1) al este hacia el arroyo de Aguas Agrias, afluente del río Oraque y 2) al sur hacia el rivera de San Agustín y otros afluentes del río Meca situados al suroeste (arroyos de Valdeoscuro y Dehesa Boyal). La carga contaminante generada en todos estos puntos durante distintas

condiciones hidrológicas (periodos secos, húmedos e intermedios) se muestra en la Figura 12. La mayor emisión de contaminantes se produce en los periodos lluviosos, con hasta 139 ton/día de sulfatos, 44 ton/día de Fe, 6,7 ton/día de Al, etc. A excepción de Fe, los contaminantes liberados durante los periodos intermedios son aproximadamente entre cuatro y cinco veces menor que la de los periodos lluviosos. Por último, en los periodos secos la cantidad de contaminantes que llega a los ríos es mucho menor (Fig. 13).



**Figura 12.** Cristales de melanterita en las minas de Tharsis, en este punto que surge al pié de una escombrera de sulfuros se alcanzan las condiciones más extremas de toda la Faja Pirítica Ibérica, con valores de pH próximos a cero.



**Figura 13.** Carga de contaminantes que se emiten desde las minas de Tharsis hacia los ríos Oraque y Meca con distintas condiciones hidrológicas: WP: periodo húmedo, IP: periodo intermedio y DP: periodo seco (Moreno González et al., 2020).



Por otro lado, la cuenca del río Meca recibe más de la mitad (alrededor del 60%) de Al, As, Cd, Cu, Co, Mn, Ni, V, Zn y sulfatos durante el periodo húmedo, mientras que los aportes de Fe a la cuenca del Oraque son mayores (61%).

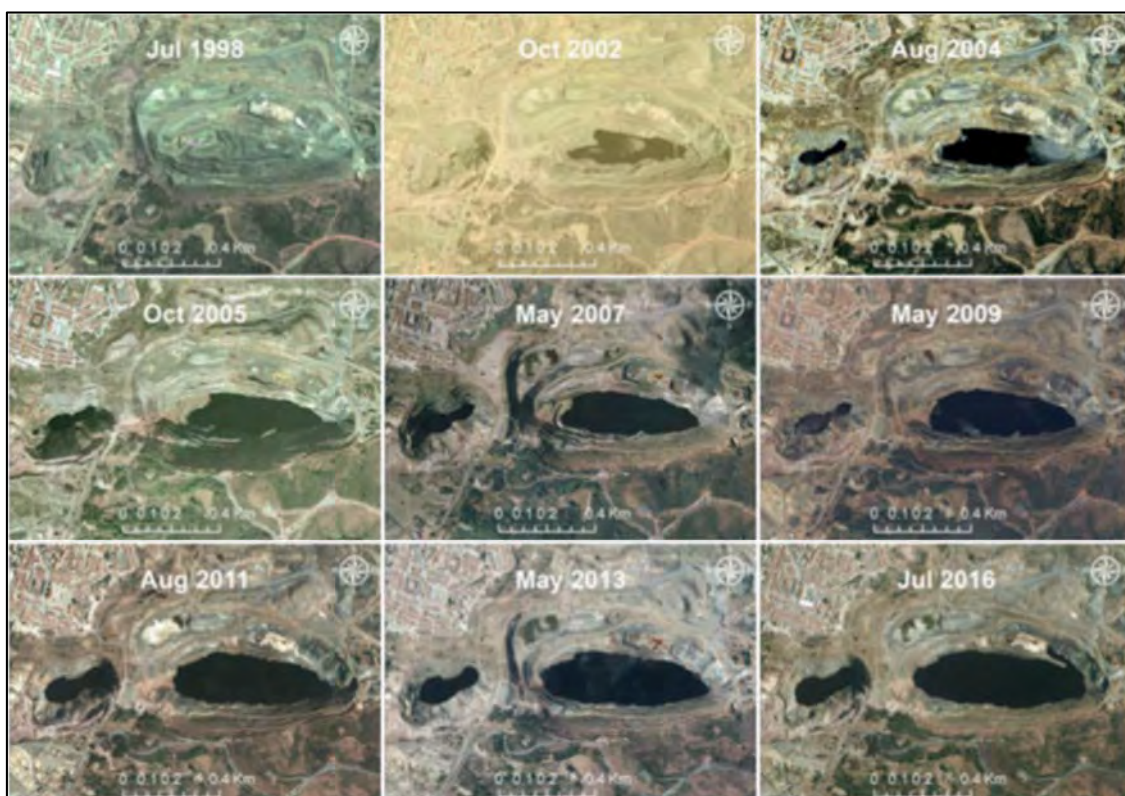
Los aportes hacia el río Meca producen la contaminación del embalse del Sancho, que tiene condiciones ácidas (pH próximo a 3,5) y elevadas concentraciones de metales disueltos. Este embalse ha sufrido un empeoramiento de calidad en los últimos 20 años debido a la mayor emisión de contaminantes desde que cesó la minería en Tharsis a finales de los años 90 y se paralizaron las actividades de control medioambiental (Cánovas et al., 2016).

Por otro lado, los lixiviados ácidos que transporta el Arroyo de Aguas Agrias suponen uno de los principales aportes contaminantes al río Oraque y comprometen la calidad del agua en el futuro embalse de Alcolea, cuya construcción ahora mismo está paralizada,

pero existe una fuerte presión por parte de las comunidades de regantes para que se reanude (Oliás et al., 2022).

## PARADAS 4 y 5: EVOLUCIÓN DEL AGUA EN FILÓN NORTE Y SIERRA BULLONES

El nivel del agua en Sierra Bullones y Filón Norte está subiendo desde la paralización de la actividad minera (Fig. 14). En 1998 ambas cortas estaban secas, pero ya en 2002 Filón Norte, más profunda que Sierra Bullones tenía agua. En 2004 se observa agua en ambas cortas, desde entonces la superficie inundada ha ido aumentando y, por tanto, también el volumen de aguas ácidas almacenadas. En la figura 15 puede observarse Sierra Bullones en el año 2020 (la situación actual de Filón Norte se muestra en el cartel del Hidrogeodía).



**Figura 14.** Ortofotografías históricas mostrando la inundación progresiva de las cortas de Filón Norte y Sierra Bullones

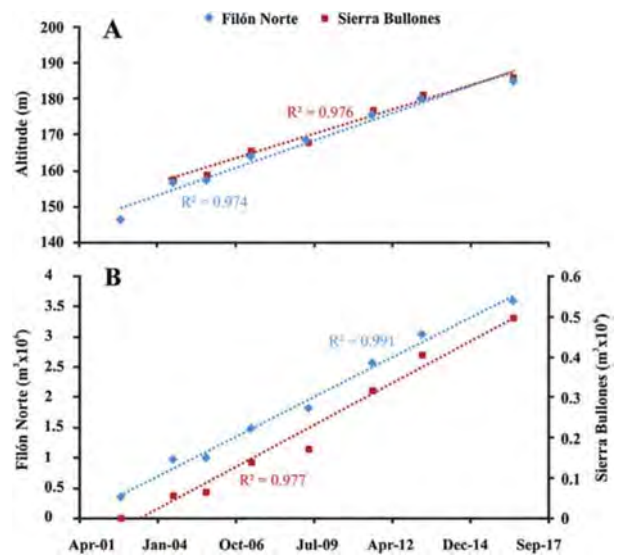


**Figura 15.** Fotografía de Sierra Bullones en el año 2020. El nivel del agua en esta corta y en Filón Norte aún no se ha estabilizado y continúa subiendo.

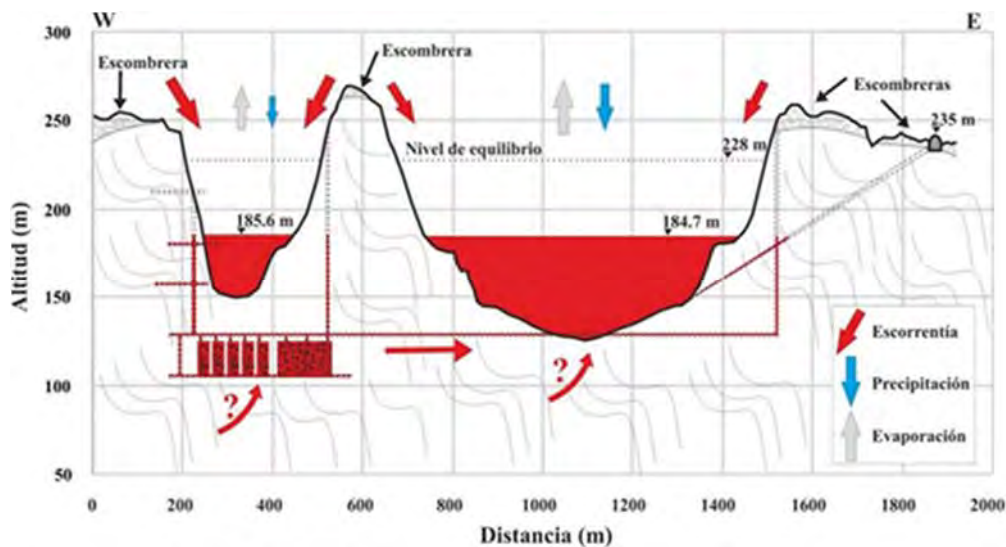
El volumen de aguas ácidas almacenadas en Filón Norte es muy superior al del resto de cortas (3,6 hm<sup>3</sup> en 2016; Tabla I). A partir de las ortofotografías en distintas fechas y el modelo digital del terreno se ha reconstruido la evolución de la inundación, observándose un incremento de 40 metros desde 2002 a 2016 (Fig. 16). Ambas cortas siguen la misma evolución pues están conectadas por galerías situadas por debajo de las mismas (Fig. 17).

Su nivel de rebose viene determinado por un plano inclinado para la extracción del mineral situado hacia el este de Filón Norte a una cota de 235 m (Fig. 17). Un ajuste polinómico de los datos de nivel obtenidos indica que el nivel

del agua alcanzaría esta cota en el año 2051, sin embargo, los resultados preliminares de un balance hídrico realizado ponen de manifiesto que la evaporación compensaría a las entradas cuando el nivel se sitúe en 228 m, de forma que no se produciría el rebose de estas cortas. También se pone de manifiesto que Sierra Bullones recibe un gran volumen de aguas de escorrentía debido a su gran cuenca vertiente (Tabla I).



**Figura 16.** Evolución de la cota del agua (A) y el volumen de agua almacenado (B) en Filón Norte y Sierra Bullones (Moreno González et al., 2018).



**Figura 17.** Perfil en dirección Oeste-Este indicando las entradas y salidas de agua de Filón Norte y Sierra Bullones (Moreno González et al., 2018).



## CONCLUSIONES FINALES

En la actualidad, en las minas de Tharsis se generan grandes caudales de lixiviados ácidos con elevadas concentraciones de metales tóxicos que causan un gravísimo impacto en las cuencas de los ríos Oraque y Meca, acidificando el embalse del Sancho y comprometiendo la calidad del embalse de Alcolea, cuya construcción está paralizada en la actualidad. Así mismo, en las cortas se almacenan elevados volúmenes de aguas ácidas. El nivel del agua en las cortas de Sierra Bullones y Filón Centro continúa ascendiendo, a pesar de que la explotación en esta zona finalizó en los años 90 del pasado siglo.

Esta situación se debe sobre todo a la intensa actividad minera realizada desde mediados del siglo XIX hasta finales del siglo XX, durante la cual apenas se realizaban medidas de protección del medio ambiente. La reapertura de las minas, favorecida por la elevación del precio del cobre en los mercados internacionales, es una buena oportunidad que se debería aprovechar para exigir a las compañías mineras la reinversión de parte de los beneficios generados en la recuperación de los pasivos ambientales históricos. Actualmente existen tecnologías preventivas para minimizar la generación de aguas ácidas, así como técnicas de tratamiento activo para la neutralización de los lixiviados y medidas de tratamiento pasivo una vez que cese la actividad minera.

## INFORMACIÓN IMPORTANTE

Se recomienda llevar ropa, calzado cómodo, bebida y protección solar. La visita guiada comenzará a las 10:00 y la hora prevista de finalización será sobre las 14:00. La organización no dispone de un seguro de

accidentes ni de responsabilidad civil, por lo que los asistentes, por el hecho de inscribirse, eximen de cualquier responsabilidad a las entidades organizadoras.

## ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA DE HUELVA

Esta actividad ha sido organizada por investigadores del Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva.

Francisco Macías

Manuel Olías

Raúl Moreno González

María Dolores Basallote

Carlos Ruiz Cánovas

Rafael León

Jonatan Romero Matos

José Luis Guerrero

Rafael Pérez López

José Miguel Nieto

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Dpto. de Ciencias de la Tierra, la Facultad de Ciencias Experimentales, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía y el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, así como las facilidades dadas por Tharsis Mining para la organización de este Hidrogeodía.

## PARA SABER MÁS

Cánovas, C.R., Olías, M., Macías, F., Torres, E., San Miguel, E.G., Galván, L., Ayora, C., Nieto, J.M. (2016). Water acidification trends in a reservoir of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Science of the Total Environment*, 541: 400-411

Carrasco Martiáñez, I (2000). Historia en la Faja Pirítica. *Bocamina* 5: 8-49.

Checkland, S.G. (1967). The mines of Tharsis. Roman, French and British enterprise in Spain. George Allen & Unwin Ltd, London, pp. 288.

Deligny, E. (1863): Apuntes históricos sobre las minas cobrizas de la Sierra de Tharsis (Thartesis Baetica). *Revista Minera*, XIV: 111-121, 158-163, 182-189 y 208-220.

Gonzalo y Tarín, J. (1888). Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva. *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, Tomo II, Madrid, 660 p.

Mantero, E. y Alonso Chaves, F.M. (2008). Geología de la corta minera 'Filón Norte' (Tharsis). En: *Geología de Huelva. Lugares de Interés Geológico*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 112-115.

Moreno González, R. (2021). Evolution of flood levels of open pits in the Tharsis mining district and characterization of the pollutant load from acid mine drainage sources. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva

Moreno González, R., Olías, M., Macías, F., Cánovas, C.R., Fernández de Villarán, R. (2018). Hydrological characterization and prediction of flood levels of acidic pit lakes in the Tharsis mines, Iberian Pyrite Belt. *Journal of Hydrology* 566: 807-817.

Moreno González, R., Cánovas, C.R., Olías, M., Macías, F. (2020). Seasonal variability of extremely metal rich acid mine drainage from

the Tharsis mines, Iberian Pyrite Belt. *Environmental Pollution*, 259: 113829.

Nocete, F., Alex, E., Nieto, J.M., Sáez, R., Bayona, M.R. (2005). An archaeological approach to regional environmental pollution in the south-western Iberian Peninsula related to Third Millenium B.C mining and metallurgy. *Journal of Archaeological Science* 32: 1566-1576.

Olías, M., Cánovas, C.R., Moreno González, R., Macías, F., Nieto, J.M. (2022). Factores condicionantes de la acidificación de embalses por lixiviados mineros en la Faja Pirítica Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 35: 28-40.

Pinedo Vara, I. (1963). Piritas de Huelva. Su historia, minería y aprovechamiento. *Summa*, Madrid.

Tornos, F. (2008). La Geología y metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica. *Macla* 10: 13-23.

Tornos, F., Lopez-Pamo, E., Sánchez España, F.J. (2009). The Iberian Pyrite Belt. En: *Spanish Geological Framework and Geosites*. IGME, Madrid, pp. 56-64.







## NOTAS





Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



# Aproximación a la Hidrogeología del futuro Parque Geológico y Minero de La Llitera y Ribagorza



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



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

¡PARTICIPA!



II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023





## HIDROGEODÍA

El Hidrogeodía es una jornada de divulgación de la **Hidrogeología** y de la profesión del **Hidrogeólogo** como motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo), promocionada por el Grupo español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos ([AIH-GE](#)).

La jornada consta de actividades **gratuitas, abiertas a todo tipo de público**, sin importar conocimientos, y guiadas por especialistas en la materia. La estructura es sencilla y consiste en recorrer un itinerario en el que se van realizando diferentes paradas con sus pertinentes explicaciones.

El Hidrogeodía 2023 de la provincia de [Huesca](#) consistirá en una visita guiada por diferentes elementos hidrogeológicos característicos situados dentro del perímetro del futuro [Parque Geológico y Minero de La Litera y Ribagorza](#). En concreto, se recorrerán los municipios de Baldellou, Camporrélls, Estopiñán del Castillo, Benabarre y Peralta de Calasanz.

### PARADA 1: INTRO. CONGOSTO DE CAMPORELLS/BALDELLOU

Aunque no lo parezca, desde un punto de vista geológico, tanto esta primera parada como las siguientes, se encuentran dentro del dominio pirenaico o Pirineo. Concretamente en el sector centro-sur conocido como Unidad Surpirenaica Central (USPC), unidad clave para comprender la geología del futuro PGyM de La Litera y Ribagorza, así como de esta ruta. Ver Figura 1.

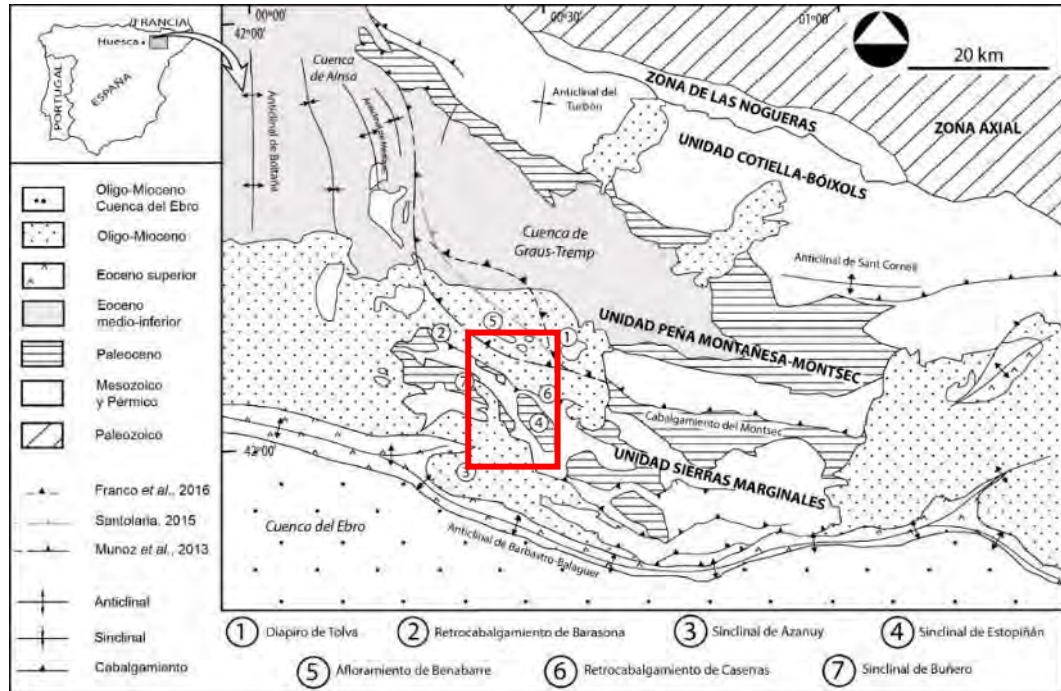


FIGURA 1. Unidad Surpirenaica Central y situación del recorrido. Modificado de Franco y Casas (2016).



Esta USPC está formada a su vez por tres subunidades que de norte a sur son: Cotiella-Bóixols, Peña Montañesa-Montsec y Sierras Marginales. Todas las paradas se desarrollan dentro de la subunidad de Sierras Marginales, salvo la parada de Benabarre, donde ya nos desplazamos hacia el norte y nos situamos en la subunidad Peña Montañesa-Montsec. Ver Anexo I.

Desde esta parada contemplaremos una espectacular panorámica del congosto de Baldellou/Camporrélls que nos permitirá conocer e introducirnos a la geología del Pirineo, presente en todas las paradas siguientes.

Desde el punto en el que nos encontramos, los rasgos más destacables son 2 elementos estructurales y otro estratigráfico. El más fácil de identificar es el último, concretamente se observa en el lado opuesto del barranco. Se trata de lo que en geología se conoce como discordancia angular. No es otra cosa que la falta de paralelismo entre los estratos que componen las distintas unidades geológicas formadas por rocas sedimentarias. En este caso en concreto, esta falta de paralelismo, se encuentra entre las calizas del Cretácico superior, inclinadas hacia el norte, y las potentes capas masivas de conglomerados de edad Oligoceno-Mioceno horizontales o con una ligera inclinación hacia el sur. Ver Figura 2.



*FIGURA 2. Discordancia angular a la salida del congosto de Baldellou/Camporrélls. Vista general (izquierda) y detalle (derecha).*

Esta discordancia está íntimamente relacionada con los 2 elementos estructurales siguientes: un pliegue sinclinal y una falla de tipo inversa conocida como cabalgamiento. Ésta última nos resultará más difícil de identificar, ya que se encuentra parcialmente cubierta por los conglomerados del Oligoceno-Mioceno. En cuanto al sinclinal, desde el punto en el que nos encontramos resulta complicado identificarlo, pero lo iremos viendo conforme nos desplazemos hacia Camporrélls por el congosto.

## **PARADA 2: BARRANCO PEDRIZA Y TOBAS CALCÁREAS**

La situación de la localidad de Camporrélls no es casualidad. Se asienta en la orilla izquierda del barranco Pedriza, en una zona relativamente llana, deprimida y hundida respecto a los relieves circundantes, donde destaca la presencia de numerosos manantiales de agua dulce que permitieron cultivar en el pasado minifundios de fértiles tierras. Ver Figura 3.



*FIGURA 3. Font de Ferri.*

Próximo al pueblo existe también un manantial, la fuente de la Fundación, hoy prácticamente desaparecida, de aguas termales y sulfurosas que antaño fueron explotadas en el Balneario de Camporrélls y que proporcionaba un caudal de unos 2 litros / minuto. Ver Figura 4.

Las aguas sulfurosas de Camporrélls, ya en tiempos de la Princesa Almodis, la más bella de toda la cristiandad, le fueron recomendadas por un doctor francés de la Occitania por un problema de psoriasis que padecía la esposa de Ramón Berenguer.

Las aguas fueron declaradas mineromedicinales y de utilidad pública en 1899. El establecimiento de los baños se creó en 1905, en 1932 sufrió una importante reforma y hacia 1965 modernizó su galería de baños. Inicialmente, dichas aguas se denominaron sulfurosas, calcáreo-nitrogenadas y uso terapéutico era para afecciones de la piel (psoriasis), herpes, asma y enfermedades de aparato respiratorio. Ante el anuncio de la existencia de aguas con propiedades curativas y terapéuticas acudieron a “darse las aguas” gentes de todas las regiones del país.

Las características físico-químicas de dichas aguas nos indican un origen y / o circulación a través de las masas de rocas ofitas que se presentan en cuerpos de dimensiones variables, intercaladas en la gran masa de arcillas, yesos y sales de la facies Keuper de la zona de Camporrélls.

Los datos analíticos de sus aguas proporcionados por el estudio del IGME - DGA, estudio de las Aguas Minero-Medicinales de la Comunidad Autónoma de Aragón, nos indican que se trata de aguas sulfatadas cálcicas, de elevada conductividad eléctrica, 1.700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y elevadas concentraciones de  $\text{SiO}_2$  (26,1 mgrs/l) y  $\text{S}^-$  (2,50 mgrs/l), valores muy superiores en caso del  $\text{SiO}_2$ , o bien inexistentes en el caso de  $\text{S}^-$  en el resto de manantiales de la zona. El agua de precipitación infiltrada a través de las numerosas fracturas existentes en las masas de rocas ofitas que fueron intensamente afectadas por procesos hidrotermales, disuelve  $\text{SiO}_2$  de los minerales afectados por los procesos hidrotermales, así como las piritas, incorporando  $\text{S}^-$  a su composición, dando lugar al típico olor de “huevos podridos”. Los valores de las concentraciones del isótopo radiactivo tritio (U.T.) en dichas aguas, semejantes a las precipitaciones actuales de la zona, nos indican que las aguas de la fuente de la Fundación son recientes y en referencia a los contenidos en isótopos estables (O-18 y deuterio, D) nos indican que se trata de aguas meteóricas de



infiltración local. Finalmente, cabe mencionar la presencia de un pequeño manantial de aguas similares a las explotadas en el balneario situado en el margen izquierdo del lecho del barranco de La Pedriza.



FIGURA 4: Edificio del antiguo balneario de Camporrélls construido en 1890 (fototeca).

El origen del resto de manantiales de aguas dulces y frías es doble. Por un lado, los manantiales situados en el entorno más próximo a Camporrélls se relacionan con los materiales calcáreos del Triásico medio (unos 240 ma) conocidos como Muschelkalk. Se trata de calizas y dolomías muy fracturadas y deformadas, con una permeabilidad relativamente alta, y que aparecen a modo de cuerpos aislados unos de otros dentro de una potente serie de arcillas versicolores que actúan de impermeable.

Por otro lado, los manantiales situados al norte de Camporrélls, de mayor caudal, pero con importantes variaciones estacionales, sobre todo en momentos de tormentas, están relacionados con otras calizas, pero esta vez del Cretácico superior y en menor medida del Eoceno que se sitúan al norte de Camporrélls.

Destaca el manantial del Molá situado en las proximidades del Pantano que con un caudal de unos 15 l/s drena el acuífero cárstico desarrollado en las calizas bioclásticas del Cretácico superior (unos 80 ma) por el margen sur del sinclinal de Estopiñán del Castillo. Sus aguas son bicarbonatadas cálcicas con conductividades de unos 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ver Anexo II.

La recogida de las aguas de todos estos manantiales forma el barranco Pedriza que parte la localidad de Camporrélls en 2 mitades asimétricas. Se trata de un lugar fresco, donde abundan las cascadas y una planta conocida como cola de caballo (*Equisetum sp.*) presente en el registro fósil desde el periodo Devónico (aproximadamente 400 ma). Ver Figura 5.

Como hemos comentado, las calizas son las que constituyen estos grandes acuíferos en este sector, lo cual se traduce en que las aguas de Camporrélls son unas aguas muy duras, es decir, muy cargadas en iones, concretamente en calcio y magnesio y bicarbonatos.



*FIGURA 5. Cascadas y sendero entorno al barranco Pedriza.*

Estos iones disueltos, al emerger las aguas a superficie y como consecuencia de cambios en las condiciones de presión y temperatura y liberación de gas  $\text{CO}_2$  disueltos, provoca que precipiten los carbonatos disueltos formando un tipo de roca conocida como toba o *tosca* en la lengua local. En el entorno de Camporrélls son muy abundantes estas rocas llegando a construir grandes estructuras conocidas como edificios tobáceos, entre ellos la propia iglesia del municipio dedicada a San Pedro.

En algunos puntos entorno a Camporrélls se han llegado a datar la edad de estas rocas, resultando edades de hasta 210.000 años las más antiguas.

### **PARADA 3: SINCLINAL DE ESTOPIÑÁN. FONT REDONA**

Si observamos desde el aire el recorrido que estamos haciendo y la situación de esta parada, lo primero que nos llama la atención es la distribución tan curiosa de la vegetación y campos de cultivo que hay en este sector. La alternancia de campos de agricultura, bosques, matorral y monte bajo, describen una morfología que se asemeja a la de un gran ojo.

Este ojo es lo que en geología se conoce como sinclinal de Estopiñán. Lo que vemos no es más que la sección de un pliegue, en el que la alternancia de rocas duras y blandas permite, a través de la vegetación, identificar perfectamente las diferentes capas concéntricas de este sinclinal.



Entre los materiales que forman esta estructura predominan las calizas, arcillas y margas, y en menor medida areniscas. Las calizas bioclásticas del Cretácico superior y las calizas bioclásticas con alveolinas del Eoceno inferior, constituyen auténticos acuíferos de importancia regional y de los que se abastecen las localidades del entorno, así como diferentes industrias ganaderas y agrícolas. Por tanto, de forma coloquial podemos decir sin equivocarnos que el sinclinal de Estopiñán constituye una auténtica esponja. Los dos acuíferos se hallan separados por un nivel de lutitas y areniscas ocre y rojizas de la facies Garumniense. Así el acuífero del Eoceno inferior es libre; mientras que el acuífero del Cretácico superior es confinado/semiconfinado. Ver Anexo II.

La situación de la Font Redona en la que desarrollaremos esta parada, no es casual. Este punto es el topográfico más bajo en el que aparecen las calizas del Eoceno dentro de la estructura del sinclinal de Estopiñán. Por ello, la Font Redona constituye un auténtico punto de descarga de este acuífero. Ver Figura 6.

Si nos fijamos en el entorno del manantial, veremos que existen unas rocas muy similares a las que hemos visto en Camporrélls. En efecto, se trata también de tobas. Esto nos indica que las aguas de este manantial también están cargadas en carbonatos que al salir a superficie precipitan. Estas tobas se han datado y muestran una edad de unos 7.000 años.



*FIGURA 6. Font Redona.*

## **PARADA 4: FUENTE Y LABADERO DE BENABARRE**

En el entorno de la localidad ribagorzana de Benabarre existen fuentes y manantiales con caudales variables algunos de los cuales en las estaciones más secas llegan a secarse. A pesar de ello, todos están relacionados con los mismos materiales geológicos, agrupados en lo que se conoce tradicionalmente como Formación Conglomerados de Graus.

Se trata de una unidad geológica constituida por materiales detríticos continentales como conglomerados, areniscas y lutitas rojizas. Se formaron allá por el Oligoceno-Mioceno (hace unos

30 ma), en los últimos estadios de la formación del Pirineo. En aquel entonces, grandes ríos descendían desde la Zona Axial hacia el sur transportando enormes cantidades de sedimentos que se depositaban en estas latitudes. Ver Figura 7.



*FIGURA 7. Paleocanal conglomerático con base erosiva y estratificación cruzada.*

Cada uno de los estratos de arenisca y conglomerado de esta unidad, constituye un “acuífero independiente”, separado del resto por materiales de granulometría más fina (lutitas). Esto es lo que se conoce como acuífero multicapa y la razón principal por la que en Benabarre existe un gran número de pequeños manantiales sin aparentemente relación los unos con los otros.

Desde un punto de vista hidrogeológico, esta unidad acuífera del Oligoceno-Mioceno no presenta importancia ni interés a nivel regional, pero sí a nivel local, siendo en algunos casos explotada para uso como abastecimiento de explotaciones agrarias, ganaderas y puntualmente humano. Ver Figura 8.



*FIGURA 8. Font de las Comellas (izquierda) y Font de El Pou (derecha).*



Fuentes como las de Capellans, Comellas, Fontaneta, Pou o el abrevadero son una muestra de la importancia que tuvieron en el pasado estos pequeños manantiales para las gentes del país, algunos hoy ya secos o con un comportamiento muy estacional.

## PARADA 5: POLJÉ DE SAGANTA

La palabra *poljé* es de origen eslavo y significa campo. Con este origen y su significado podemos hacernos una idea sobre qué va a ir el tema de esta parada. En efecto, nos hemos adentrado en el mundo del karst. Ver Figura 9.

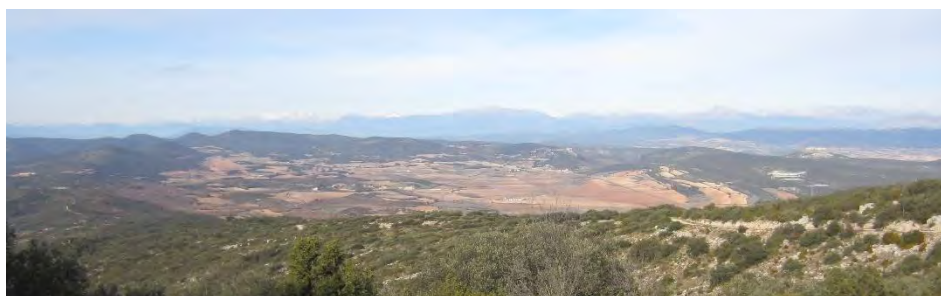


FIGURA 9. Vista del poljé de Saganta desde el camino a la ermita de San Quilis.

El concepto resulta algo complejo de definir, pero podríamos simplificarlo en que se trata de una depresión de grandes dimensiones, de origen kárstica y con un fondo plano y cerrado a modo de cuenca endorreica. Este fondo suele estar colmatado de arcillas procedentes de la meteorización de las calizas constituyendo tierras fértiles que son aprovechadas como cultivos.

Los bordes de estas depresiones suelen ser escarpados y afloran las calizas. En ocasiones es muy frecuente la presencia de un río o pequeño arroyo que desaparece ya sea por infiltración o a través de algún sumidero o *pónor*. En ocasiones, debido a que se trata de una cuenca endorreica, puede llegar a inundarse temporalmente, ya sea porque el agua de escorrentía supera la capacidad del desagüe o por ascensos del nivel freático.



FIGURA 10. Pónor de Castillo del Plá.

El caso que nos ocupa cumple prácticamente al 100% con esta definición. En nuestro caso, se trata de un *poljé* controlado parcialmente por una falla normal situada en el borde oeste. Como hemos dicho, es una cuenca endorreica donde las aguas de todos los manantiales y las superficiales de escorrentía no tienen salida y se infiltran al sistema kárstico a través de un sumidero, en esta ocasión, situado cerca de la localidad de Castillo del Plá. Ver Figura 10.

Las aguas del *poljé* de Saganta se introducen al sistema kárstico a través de las calizas del Cretácico superior, calizas estrictamente relacionadas con el sinclinal de Estopiñán y su acuífero.

## PARADA 6: BARRANCO DE GABASA

Desde un punto de vista geológico, la localidad de Gabasa se asienta en el límite entre el Pirineo y la Cuenca del Ebro. Los estratos verticales que protegen a esta localidad de los vientos del norte constituyen los últimos materiales pirenaicos antes de adentrarnos en la Cuenca del Ebro. Ver Figura 11.



*FIGURA 11. Localidad de Gabasa. Límite geológico entre la Cuenca del Ebro y el Pirineo.*

En esta parada recorreremos buena parte del conocido como barranco de Gabasa, un pequeño y escondido rincón que en verano constituye un verdadero oasis. El agua y la exuberante vegetación nos acompañarán durante todo el recorrido.

El barranco de Gabasa es alimentado fundamentalmente por aguas subterráneas, entre las que destacan las que proceden del manantial conocido como Clot del Ull. En esta ocasión no llegaremos a verlo, pero sí disfrutaremos de sus aguas justo antes de llegar al barranco formando una preciosa cascada conocida como de Santa Ana. Ver Figura 12.

Aunque nos situamos cerca del sinclinal de Estopiñán, desde un punto de vista hidrogeológico nos encontramos en una unidad acuífera completamente distinta. En esta ocasión, las calizas del Cretácico superior que forman la Sierra de San Quilis son las que constituyen el acuífero que alimenta este barranco y cuyo punto drenante más importante se encuentra en este manantial del Clot del Ull con un caudal de unos 20 l/s. Esta masa acuífera se encuentra aislada de la del sinclinal de Estopiñán por unos materiales del Triásico superior formados fundamentalmente por arcillas y conocidos como Keuper.



De nuevo, las aguas de este manantial, al proceder de un acuífero calcáreo, se encuentran cargadas en carbonato, son aguas carbonatadas cálcicas. Al surgir a superficie, agitarse, desgasificarse y cambiar las condiciones de presión y temperatura, el carbonato disuelto se ve obligado a precipitar formando rocas similares a las que hemos visto en Camporrélls o la Font Redona de Estopiñán del Castillo: las tobas. En esta ocasión estos materiales no se han estudiado, pero es de sospechar que serán de edad muy similar a las de las paradas anteriores.

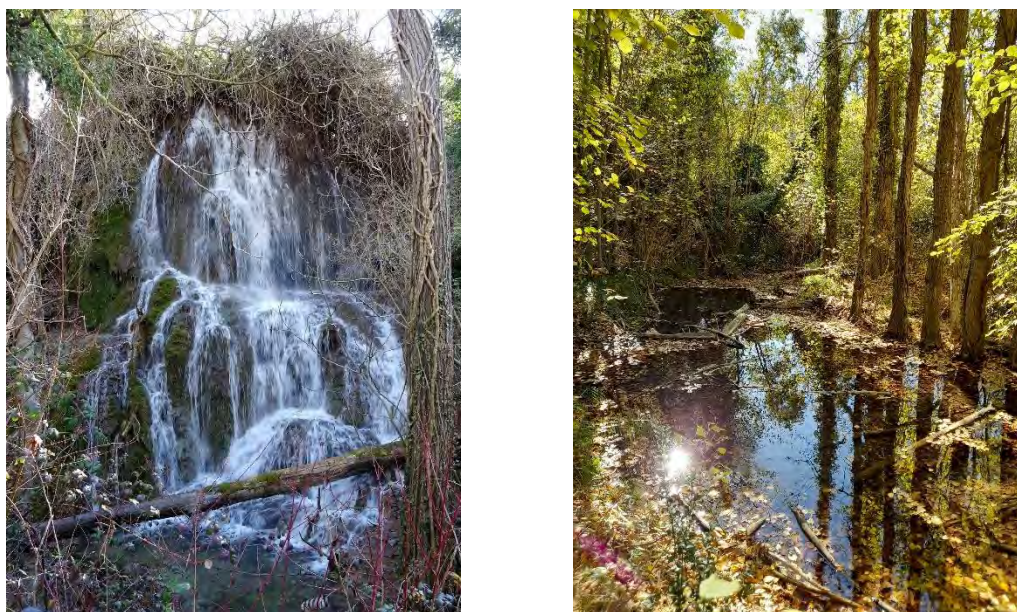


FIGURA 12. Cascada de Santa Ana (izquierda) y barranco de Gabasa (derecha).

## PARADA 7: SALINAR DE PERALTA DE LA SAL

Tras la comida realizaremos la última parada del día. Visitaremos las instalaciones del salinar de Peralta y conoceremos cómo extraían este recurso de la mano de uno de los últimos trabajadores de la explotación.

La situación del salinar de Peralta no es casualidad. Se emplaza sobre un área de elevada complejidad geológica e hidrogeológica a día de hoy todavía por conocer. Geológicamente se encuentra en la Cuenca del Ebro, pero muy próximo al Cabalgamiento Frontal Surpirenaico (CFS), situado en las proximidades de la localidad de Gabasa. Ver Figura 13.

De forma resumida, el salinar se sitúa en el flanco sur del anticlinal de Peralta; un pliegue compuesto por materiales detríticos y evaporíticos de la transición Eoceno-Oligoceno (hace unos 34 ma). Ver figura 14.

Inicialmente, quizás en época romana o anterior, el salinar se abastecía de tres manantiales de aguas saladas que brotaban en su entorno. Estas aguas se asocian con unos materiales de naturaleza diversa que se agrupan bajo el nombre de Formación El Salinar compuesta por más de 1.000 m de serie donde dominan las lutitas, areniscas y carbonatos de origen fluvial y lacustre. Entre estos materiales se intercalan niveles de yesos de la Formación Barbastro.



*FIGURA 13.. Eras del salinar de Peralta de la Sal.*

Durante el siglo XX, la empresa SALPURA, S.A., que por aquel entonces explotaba el salinar, quiso aumentar la producción, para lo cual construyó varios pozos por el entorno próximo del salinar. Uno de ellos, de unos 150 m de profundidad, atravesó una potente serie de cloruros masivos junto a unas margas con intercalaciones salinas. A pesar de dar con esta potente serie salina, desde un punto de vista hidrogeológico la producción de estos pozos no fue la esperada, pero, aun así, se utilizaron para explotar este mineral.



*FIGURA 14. Eras, en primer plano, y materiales detríticos del anticlinal de Peralta al fondo.*

Podemos decir entonces, que la base de la Fm. El Salinar está formada por una importante serie de materiales evaporíticos salinos, que algunos autores relacionan con el mismo sistema salino que se explotaba en las minas de Cardona. (Barcelona).

En superficie estas sales no afloran, en caso contrario serían rápidamente disueltas por el agua de lluvia y escorrentía. Por tanto, gracias a estas prospecciones hoy conocemos con mayor certeza el origen de estas aguas saladas, así como el subsuelo que rodea al salinar.



## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

**CHE (2010):** *Caracterización de las masas de agua subterránea. LITERA ALTA.*

**FRANCO, J. y CASAS, A.** *Estructura de la terminación occidental del cabalgamiento del Montsec (Pirineos Centrales).* *Rev. Soc. Geol. de España* 29 (2): 39-55.

**IGME (1994).** *Estudio de las aguas minero-medicinales, minero-industriales, termales y de bebida envasadas en la Comunidad Autónoma de Aragón.* Informe de síntesis. Tomo I.

**MARCÉN, S. (1988).** *El polje de Saganta (Sierras Exteriores Pirenaicas, prov. de Huesca).* Cuaternario y Geomorfología, vol 2 (1-4): 107-113.

**MATA-PERELLÓ, J.M. (2009).** *Recorregut de recerca geològica i mineralògica per les comarques de La Llitera/Llitera i Ribagorça/Ribagorza: des de Purroy de la Solana a Estanya, Estopinyà, Camporrélls, Vall-de-Llou i a Castillonroi.* Inèdit. 14 pp. Manresa

**MATA-PERELLÓ, J.M. i MONTANÉ GARCÍA. P. (2002).** *Recorregut de recerca geològica i mineralògica per les comarques del Segrià, La Llitera i Baixa Ribagorça: des d'Alfarràs a Camporrélls, a Caladrons i a Benavarri.* Inèdit, 14 pp. Manresa

**MATA-PERELLÓ, J.M. i MONTANÉ GARCÍA. P. (2005).** *Recorregut de recerca geològica i mineralògica per les comarques del Segrià, La Llitera i Baixa Ribagorça: des d'Alfarràs a Vall-de-Llou, Estopanyà i a Benavarri.* Inèdit. 13 pp. Manresa.

**MATA-PERELLÓ, J.M. i MONTANÉ GARCIA, PAU, (2008).** *Recorregut de recerca geològica i mineralògica per les comarques de La Llitera i Baixa Ribagorça: des de Castillonroi a Vall-de-Llou, Camporrélls, Estopanyà i a Ciscar.* Inèdit 10, pp. Manresa

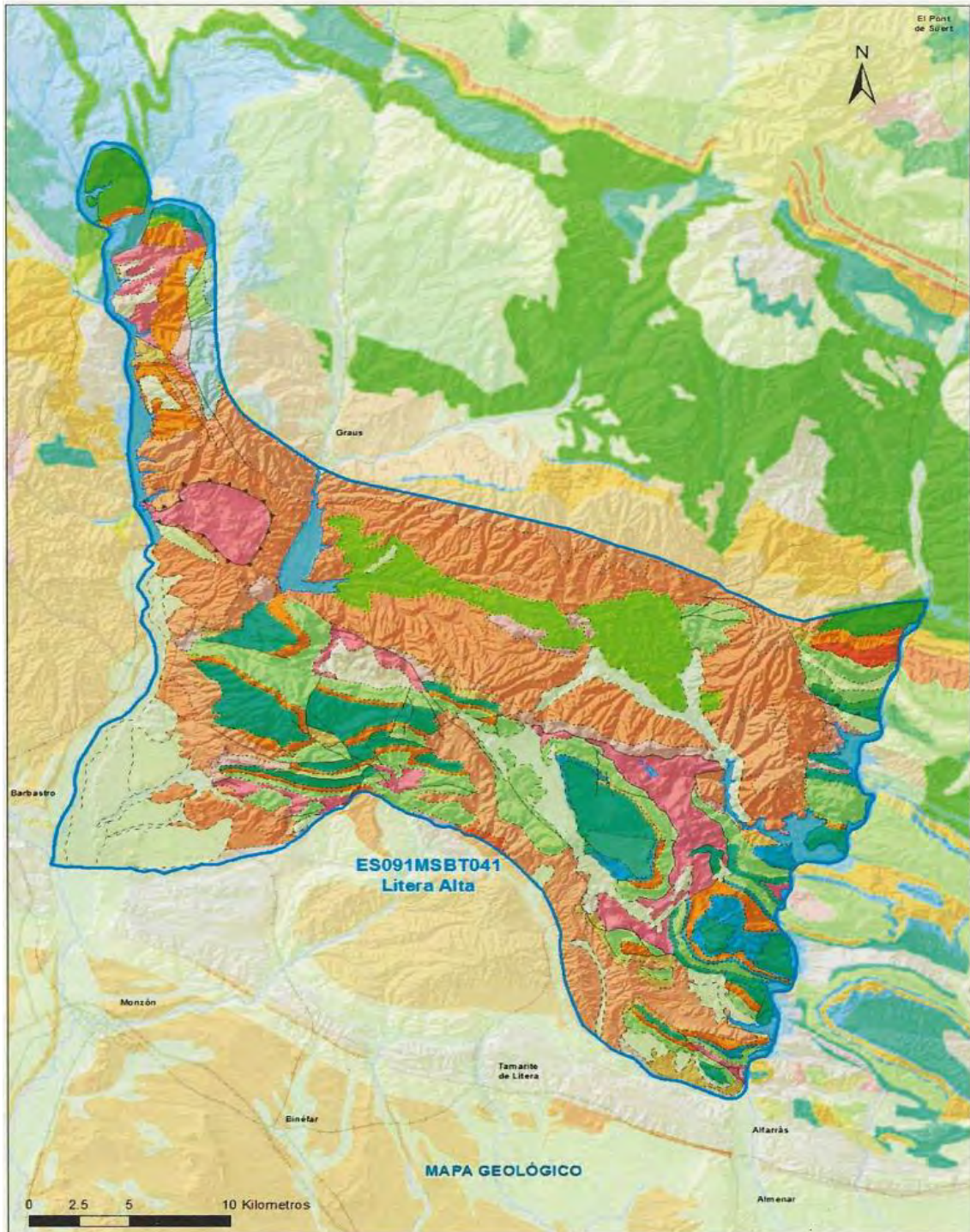
**MATA-PERELLÓ, J.M. i PUIG ORIOL, J.S. (2017).** *Recorregut de recerca geològica i mineralògica per la comarca de La Llitera/Llitera: des de Natjà a l'Ermita dels Martirs, a Camporrélls i a l'Estret de Camporrélls.* Inèdit. 12 pp. Manresa

**PÉREZ BIELSA, C. (2013).** *Funcionamiento hidrogeológico de un humedal hipogénico de origen kárstico en las Sierras Marginales Pirenaicas.* Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 335 pp.

## **ANEXO I**

Mapa geológico de la masa de agua subterránea  
LITERA ALTA (ES091MSBT041)





## LEYENDA



### Estructuras

- Anticlinal
- Anticlinal supuesto
- Sinclinal
- Sinclinal supuesto

### Contactos y fallas

- Contacto concordante
- Contacto concordante supuesto
- Contacto discordante
- Contacto discordante supuesto
- Contacto intrusivo
- Contacto intrusivo
- Masas de agua
- Limite politico
- Falla conocida
- Falla supuesta
- Cabalgamiento conocido
- Cabalgamiento supuesto

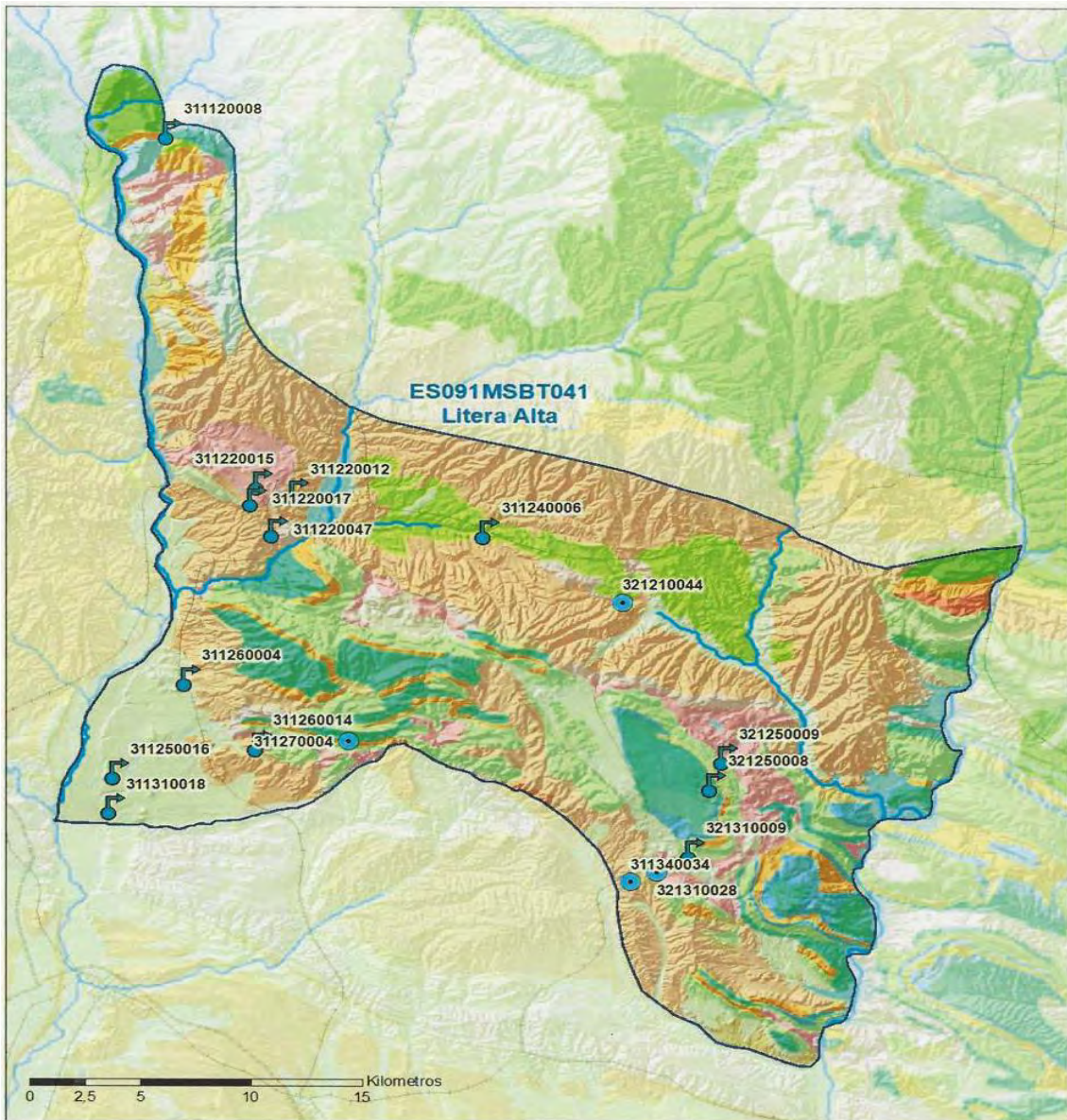
## LITOLOGÍAS

Código	Descripción Litología
5000	Masa de agua superficial
706	Gravas, arenas, limos (Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos princ.)
704	Gravas, arenas, limos y arcillas (Depósitos de terrazas medias y altas)
703	Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glaciares, piedemonte y superficies)
378	Conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas. Costras a techo
377	Calizas, localmente con lutitas
372	Conglomerados, areniscas, lutitas y a veces margas
368	Lutitas, con intercalaciones de areniscas
357	Alternancia de areniscas y lutitas, localmente conglomerados
366	Conglomerados, areniscas, lutitas y a veces margas y calizas
361	Lutitas con intercalaciones de areniscas
360	Alternancia de areniscas y lutitas, localmente conglomerados
359	Conglomerados, areniscas y lutitas
357	Calizas, localmente con lutitas
356	Yesos y arcillas, con alguna intercalación de halita
353	Areniscas, lutitas, margas y, localmente, conglomerados
352	Conglomerados, con intercalaciones de areniscas, margas y niveles de yeso
351	Conglomerados, con intercalaciones de areniscas y lutitas
349	Calizas, localmente con lutitas
348	Alternancia de areniscas y lutitas, localmente conglomerados
346	Margas y margocalizas
341	Areniscas y lutitas. Areniscas de
340	Calizas, calcarenitas, dolomías y margas
179	Areniscas y conglomerados
177	Lutitas y areniscas (Facies Flysch)
173	Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas
154c	Calizas, margas y calcarenitas
147	Calizas, dolomías y margas
141	Arcillas abigarradas y yesos, a veces con margas y areniscas (F. Keuper)
137	Dolomías, calizas y margas (F. Muschelkalk)
72	Ofitas y rocas volcánoclasticas (Ofitas del Keuper)





## **ANEXO II**

Inventario de Puntos de Agua (IPA)  
de la masa de agua subterránea  
LITERA ALTA (ES091MSBT041)



**LEYENDA**

-  Red hidrográfica
-  MSBT

**Tipo de Captación**

-  MANANTIAL
-  POZO







## EXCURSIÓN:

# ATRACTIVOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL NOGUERA PALLARESA (LLEIDA)

### 18 DE MARZO DE 2023

PROFESORADO: JOSEP MARIA MÀSICH, MANEL PASCUAL Y CARLES BALASCH






ESTANY DE MONTCORTÈS

### VISITA GUIADA CON LAS SIGUIENTES PARADAS


- Embalse de Terradets
- Font de la "O" (Aramunt)
- Roca L'Argenteria (Collegats)
- Real Alfolí y Salinas de Gerri de la Sal
- Estany de Montcortès
- Font de Rivert

#### INSCRIPCIÓN PREVIA (GRATUITA)


- **Imprescindible reserva previa** por correo electrónico a: [mpd6655@gmail.com](mailto:mpd6655@gmail.com)
- En el correo se debe indicar nombre, apellidos, teléfono de contacto y opción de comida en restaurante.
- La aceptación será por riguroso orden de recepción de los correos hasta un máximo de 50 participantes.
- Más información en:  
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023/>

#### HORARIO Y TRANSPORTE (GRATUITO)

- **Hora y lugar de salida:** 8.15 h. Camp d'Esports (Lleida). Viaje en autocar hacia el lago de Terradets.
- **Comida** en Pobla de Segur. La inscripción no incluye la comida en restaurante que irá a cargo de cada participante (opción de pícnic). Indicar en el mail de inscripción.
- **Hora y lugar de regreso:** 19.30h. Camp d'Esports (Lleida).




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



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



II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023









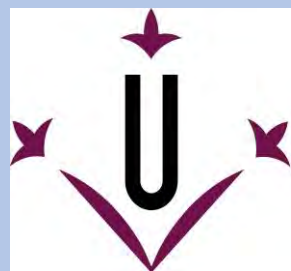
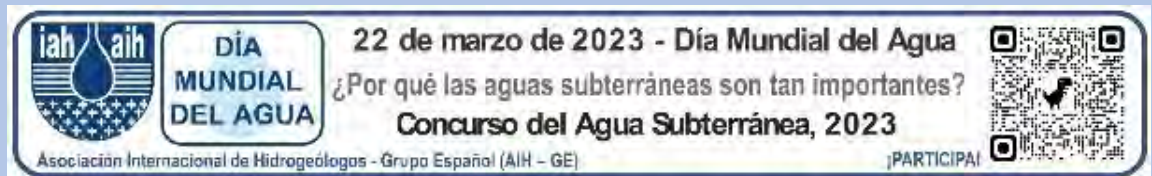
**GUÍA DE CONTENIDOS DE LA EXCURSIÓN CONMEMORATIVA DEL DÍA MUNDIAL  
DEL AGUA 2023 EN LLEIDA:**

# **ATRATIVOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL NOGUERA PALLARESA (LLEIDA).**

**Josep Maria Màsich,**

**J. Manel Pascual**

**J. Carles Balasch**



**Universitat de Lleida**  
**Vicerectorat de Cultura**  
**i Extensió Universitària**





## EL HIDROGEODIA

El **HIDROGEODIA** en Lleida es una de las actividades que se celebrarán para conmemorar el **DIA MUNDIAL DEL AGUA**. Durante una jornada se organizará una excursión gratuita guiada por hidrogeólogos para divulgar el trabajo de estos profesionales y la *hidrogeología* como ciencia útil para la sociedad por lo que va a ser una jornada destinada a todo tipo de público interesado en el conocimiento de la misma, independientemente del nivel o tipo de formación de los participantes.

El HIDROGEODIA se celebra con el amparo del **Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos** que lo coordina todos los años y promueve la participación de numerosas provincias del Estado, y al que se ha querido sumar la **Universitat de Lleida** por segundo año consecutivo.

La presente guía resume el contenido de la excursión que se realizará el día **18 de marzo de 2023** y estará organizada por el **“Departament de Ciències del Sòl, Medi Ambient i Química”** de la **“Universitat de Lleida”**.

## LA EXCURSIÓN

La ruta se realizará íntegramente en autocar y las caminatas serán fáciles y cortas. El transporte en autocar y el disfrute de las explicaciones son gratuitas, no así el desayuno y comida que se abonarán en los establecimientos donde se consuma. A las 8'15 h se saldrá del aparcamiento del Camp d'Esports de Lleida. Se parará a desayunar en el Hostal del Llac en el embalse de Terradets, donde se hará la presentación de la jornada. Durante el

día se contará con la presencia de Xavier Mir, director del Geoparc Orígens de la UNESCO. Durante las explicaciones introductorias en el embalse de Terradets, Xavier Mir presentará y dará la bienvenida al Geoparc por el que se desarrollará la ruta.

A las 15'00 h se parará a comer en la Poble de Segur, frente a la estación del ferrocarril. Quien lo desee podrá comer en el restaurante previamente reservado (hay que indicarlo expresamente en la inscripción); no obstante, quien lo prefiera podrá hacer picnic por las cercanías.

*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.*

Aunque los accesos a los puntos de explicación son fáciles, se recomienda usar ropa y calzado cómodo de campo y estar informados de la previsión meteorológica y adecuar la ropa de abrigo a misma.

La jornada de 2023 se presenta bajo el título: **ATRATIVOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA CUENCA DEL NOGUERA PALLARESA (LLEIDA)**.

La zona que se visitará comprende el tramo medio de la cuenca del río Noguera Pallaresa entre Aramunt y Gerri de la Sal. El río atraviesa las sierras de Sant Corneli, Valle del río Carreu, Serrat d'Hortoneda, Congost de Collegats y Serra de Gurp, así como Gerri de la Sal y el Pla de Corts a Montcortés.

El objetivo principal de la ruta es exponer las bases conceptuales del funcionamiento de los principales acuíferos de la zona descrita y la observación y disfrute de las espectaculares surgencias más destacadas que drenan a los mismos.

La zona seleccionada esta justamente al norte del acuífero de las areniscas de Areny visitado en la excursión del Hidrogeodía de 2022 y se intenta que las dos excursiones sean complementarias.

La ruta que se seguirá se indica en la figura 1, y consta de las siguientes paradas:

**PARADA 1. Hostal del Llac - Embalse de Terradets, desde donde se realizará la explicación introductoria (marco geológico) y las generalidades de la excursión. El director del Geoparc Origenes, Sr. Xavier Mir, hará una bienvenida y breve explicación sobre el Geoparc.**

**PARADA 2: Visita a la Font de la "O" y su trop-plein: Font Mentidera. Descarga de las Sierras de Sant Corneli-Boixols.**

**PARADA 3: Visita a la Roca Argenteria formada por tobas calcáreas precipitadas en la zona de descarga del manantial. Se comentará que la morfología de la roca Argenteria fue la fuente de inspiración de Antoni Gaudí para la construcción de la basílica de la Sagrada Familia.**

**PARADA 4: Visita a las Salinas de Gerri de la Sal. Miembros del museo de las salinas realizaran una explicación sobre las mismas y el Real Alfolí.**

**PARADA 5: Visita al Estany de Montcortés alimentado por aguas subterráneas.**

**PARADA 6: Visita a la Font de Rivert y las tobas calcáreas en cascada asociadas. Drenaje del acuífero cárstico formado en los conglomerados del Eoceno medio - Oligoceno de la Serra de Gulp-Lleràs.**

**Parada opcional:**

**PARADA 7: Visita al Forat de l'Or (Congost de Terradets) y regreso a Lleida ciudad.**

Los acuíferos que se explicarán este año están funcionando prácticamente en régimen no influenciado. La explotación es muy baja y se limita casi exclusivamente a un aprovechamiento mínimo de las surgencias naturales. Así pues, sus recursos y reservas hídricas se pueden considerar como "**nuevas reservas hidrológicas**".

Los acuíferos son los siguientes:

- *Triásico de Gerri y Calizas del Triásico medio de Montcortés* (Salinas de Gerri y Llac de Montcortés).
- *Calizas del Cretácico inferior del Sinclinal de Cabó – Collegats* (surgencias de l'Argenteria).
- *Calizas del Cretácico superior del anticlinal de Sant Corneli* (Font de la "O"). Se comentará también la Font Bordonera y su relación con el anticlinal mencionado.
- *Conglomerados paleógenos de la Serra de Gulp - Serradell* (Font de Rivert).





**Figura 1.** Paradas de la excursió commemorativa del Dia Mundial del Agua 2023 (HIDROGEODÍA) sobre los atractivos hidrogeològics en la cuenca de la Noguera Pallaresa (Lleida).

## PARADA 1. EMBALSE DE TERRADETS

A la orilla del embalse de Terradets se expondrán los objetivos de la excursión, la situación geográfica del recorrido y el contexto geológico que se observará durante el mismo.

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

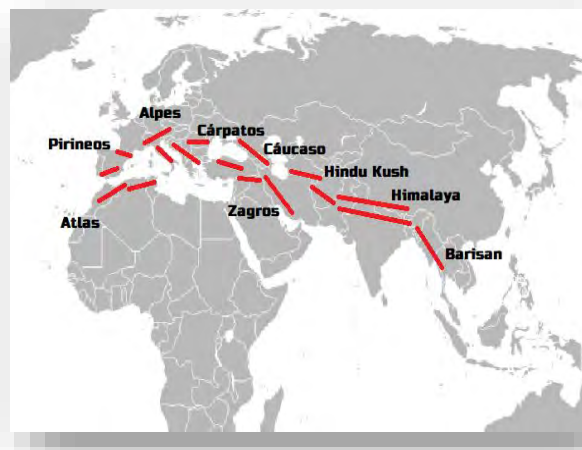
La parte media de la cuenca del Noguera Pallaresa que se visitará durante la excursión, como ya se ha comentado, se sitúa en el centro geográfico de la provincia de Lleida, a ambos márgenes del río Noguera Pallaresa, entre Aramunt y Gerri de la Sal.

La evolución paleogeográfica del área pirenaica se inició hace unos 250 millones de años (principios del Triásico), cuando la zona estaba afectada por una etapa donde fuerzas distensivas, durante un periodo de más de 150 millones de años, iban separando a Europa de la península Ibérica. Durante este largo periodo de tiempo se produjeron procesos de sedimentación principalmente en ambiente marino (mar pirenaico). Se acumularon centenares de metros de sedimentos que se visualizarán durante la excursión. Cuando la etapa distensiva dejó paso a una posterior compresiva (orogenia Alpina), la nueva cordillera inició su elevación y el mar pirenaico empezó a retirarse hacia el actual Golfo de León, emergiendo tierras de Este a Oeste.

La fase compresiva se ha de contextualizar en el proceso de choque

## LA COLISIÓN DE CONTINENTES

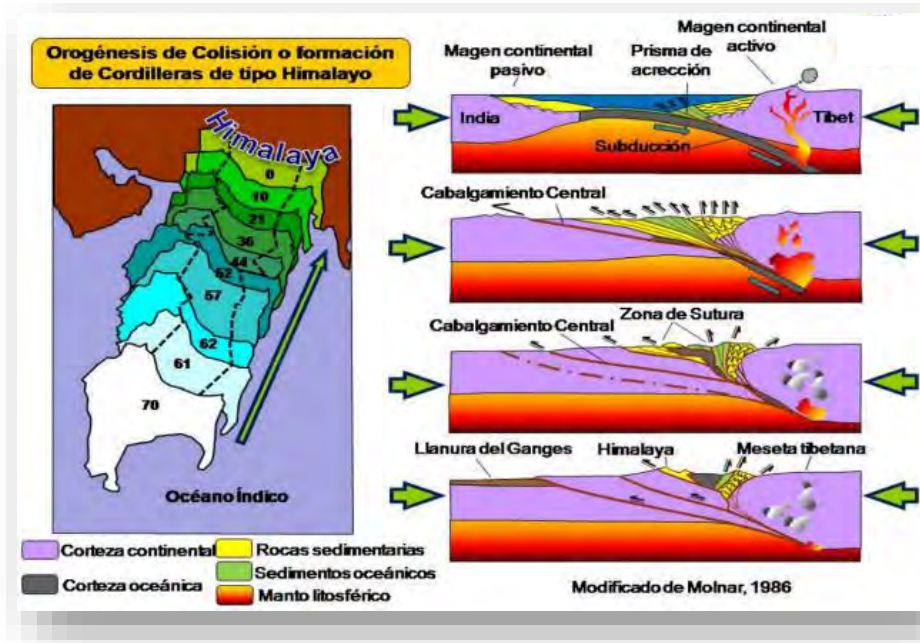
entre la placa tectónica a la que pertenece el continente europeo y la microplaca ibérica. Mediante el empuje de las microplacas mediterráneas (Ibérica, Italoadriática, Anatolia, Arábica, etc.) empujadas a su vez por la gran placa africana, junto con la de la India, son las que originaron las cordilleras del Himalaya, Cárpatos, Cáucaso, Alpes, Pirineos, etc. (figura 2). El estilo estructural de estas cordilleras resultante tras la colisión de las placas se ilustra en la figura 3.



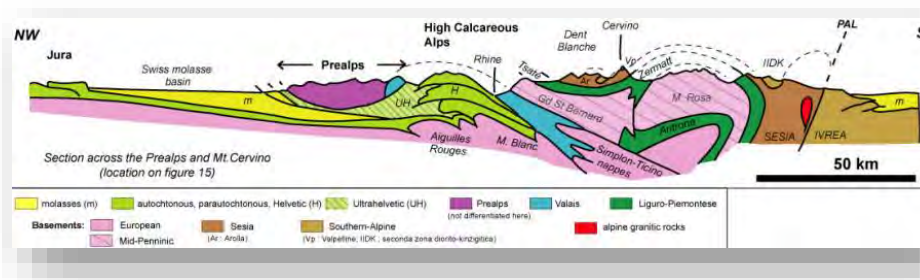
**Figura 2.** Se observa el Cinturón Alpino, también llamado cinturón orogénico Alpes-Himalaya, formado por una serie de cordilleras y sistemas montañosos que se extienden a lo largo de más de 15.000 kilómetros, desde la región de Mediterráneo hasta el centro y sureste de Asia.



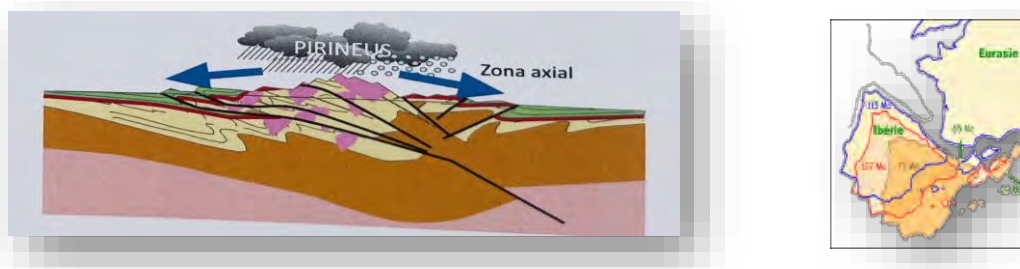
A/



B/



C/

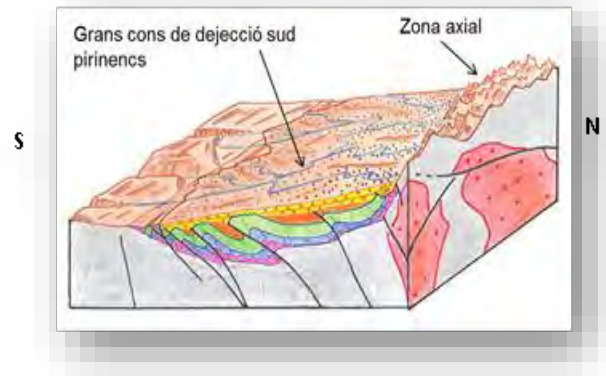


**Figura 3.** Estilos estructurales de las cordilleras alpinas originadas por el choque de los continentes euroasiático y el africano. A/ el caso del Himalaya (choque Asia-India) (modificado de Molnar, 1984). B/ el caso de los Alpes (choque Europa-Italia y adriático) (Agard y Lemoine, 2003). C/ el caso de los Pirineos (choque Europa-Iberia) (Martinez y Tudela, 2013). Obsérvese que la estructura resultante de las colisiones es similar en los tres casos, a modo de grandes corrimientos tectónicos vergentes hacia la placa subducida.

La figura 4 reproduce la parte meridional del llamado perfil ECORS que muestra la estructura geológica actual de los materiales mesozoicos y cenozoicos de los Pirineos meridionales, los cuales forman parte de la zona visitada. Su disposición estructural es resultado de la sedimentación marina que se originó en el mar pirenaico en la fase distensiva, que posteriormente, durante la fase compresiva, a medida que se iba plegando, iba dando lugar al levantamiento progresivo del conjunto de la cordillera (Zona Axial) y la retirada del mar pirenaico. Este proceso conocido como orogenia alpina, se empieza a manifestar en los Pirineos hace unos 80 millones de años (finales del Cretácico superior).

Durante el levantamiento de la cordillera, a finales del Eoceno y durante el Oligoceno, es cuando empiezan a predominar los procesos erosivos de las cumbres formadas, los cuales originan masas detríticas de origen fluvio-torrencial que tras su consolidación formaran las grandes masas conglomeráticas que cubren a las estructuras mesozoicas previas (figura 5). Estos sedimentos se observarán en dos de las paradas de la excursión (formaciones de La Pobla, Sierra de Gulp, Montcortès).

Finalmente, dos procesos importantes dieron lugar a la fisonomía de la red fluvial por la que se discurrirá la excursión, principalmente los congostos de Collegats y de Terradets (y también los de Camarasa, Mont-rebei, etc. fuera de la zona visitada). Estos eventos son la desecación casi total del mar Mediterráneo a finales del Mioceno (Messiniense) por el cese de aportación hídrica des del Océano Atlántico a través del estrecho de Gibraltar hace 6



**Figura 5.** Etapa paleógena de la formación de los Pirineos (hace entre 25 y 40 millones de años). La figura muestra los plegamientos i cabalgamientos de los sedimentos mesozoicos (Sierras marginales al sur, Montsec en medio y Bóixols al norte), las cumbres que se han ido formando en el corazón de los Pirineos (zona axial) y los sedimentos continentales transportados por grandes ríos y conos de deyección (Eoceno-Oligoceno) que cubrirán a los sedimentos marinos mesozoicos. En púrpura se indica el Triásico, en azul el Jurásico, en verde el Cretácico, en naranja el Eoceno y en amarillo los conglomerados del Eoceno-Oligoceno. El esquema es adimensional y únicamente ilustrativo (Pascual et al. 2021).

millones de años, con una duración de unos 800.000 años (figura 6), y las diferentes glaciaciones de los últimos 3 millones de años. Ambos procesos, produjeron el descenso/ascenso periódico del nivel de descarga del río Ebro en el Mar Mediterráneo (más de 1000 m de descenso durante la crisis Messiniense) y por ende de todos sus afluentes, aguas arriba, como el Segre y los ríos Nogueras. La consecuencia fue el encajamiento de estos formando los congostos mencionados y, como se verá durante la excursión, la aceleración de los procesos cársticos que afectaron a las formaciones carbonatadas y conglomeráticas.





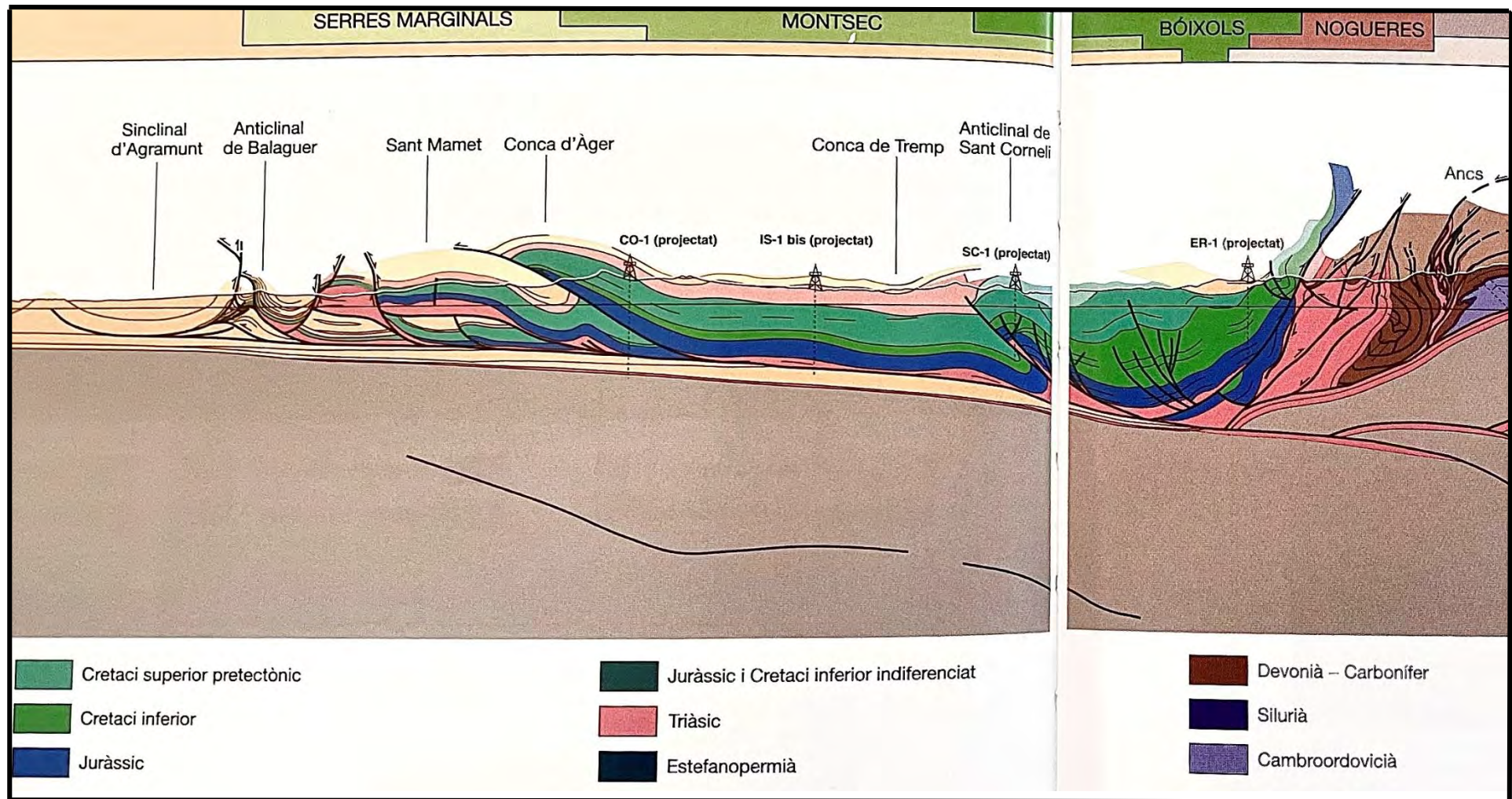
**Figura 6.** Ilustración del mar Mediterráneo parcialmente desecado durante el Messiniense. Obsérvese como el río Ebro se ha encajado para ir a buscar la cota del mar interior entre las Baleares y Córcega y Cerdeña a través de una gran cuenca fluvial entre la Península Ibérica y Baleares, compartida con la del Ródano. Las líneas blancas indican las costas actuales. (de Ledesma Rubio, 2005).

En la figura 4 se pueden distinguir tres grandes dominios: Sierras Marginales, Montsec y Bóixols.

Las Sierras Marginales son las más meridionales y se extienden entre Balaguer y la Vall d'Àger. Comprenden los cabalgamientos de menor desplazamiento de Sant Llorenç de Montgai-Camarasa, Sierra de Montroig, Sant Mamet, etc.

El manto del Montsec y la Conca de Tremp-Isona, entre la Vall d'Àger y Tremp, dan nombre al dominio intermedio, que se visitó en la edición del Hidrogeodia 2022.

El dominio más septentrional corresponde a la lámina cabalgante del manto de Bóixols, entre Tremp y Gerri de la Sal, y es el dominio que se visitará durante el Hidrogeodia 2023.



**Figura 4.** Parte meridional del perfil ECORS (S-N) mostrando los sedimentos del Triásico, Jurásico, Cretáceo, Eoceno y Oligoceno plegados como consecuencia de la orogenia Alpina (de IGCC, 2010).

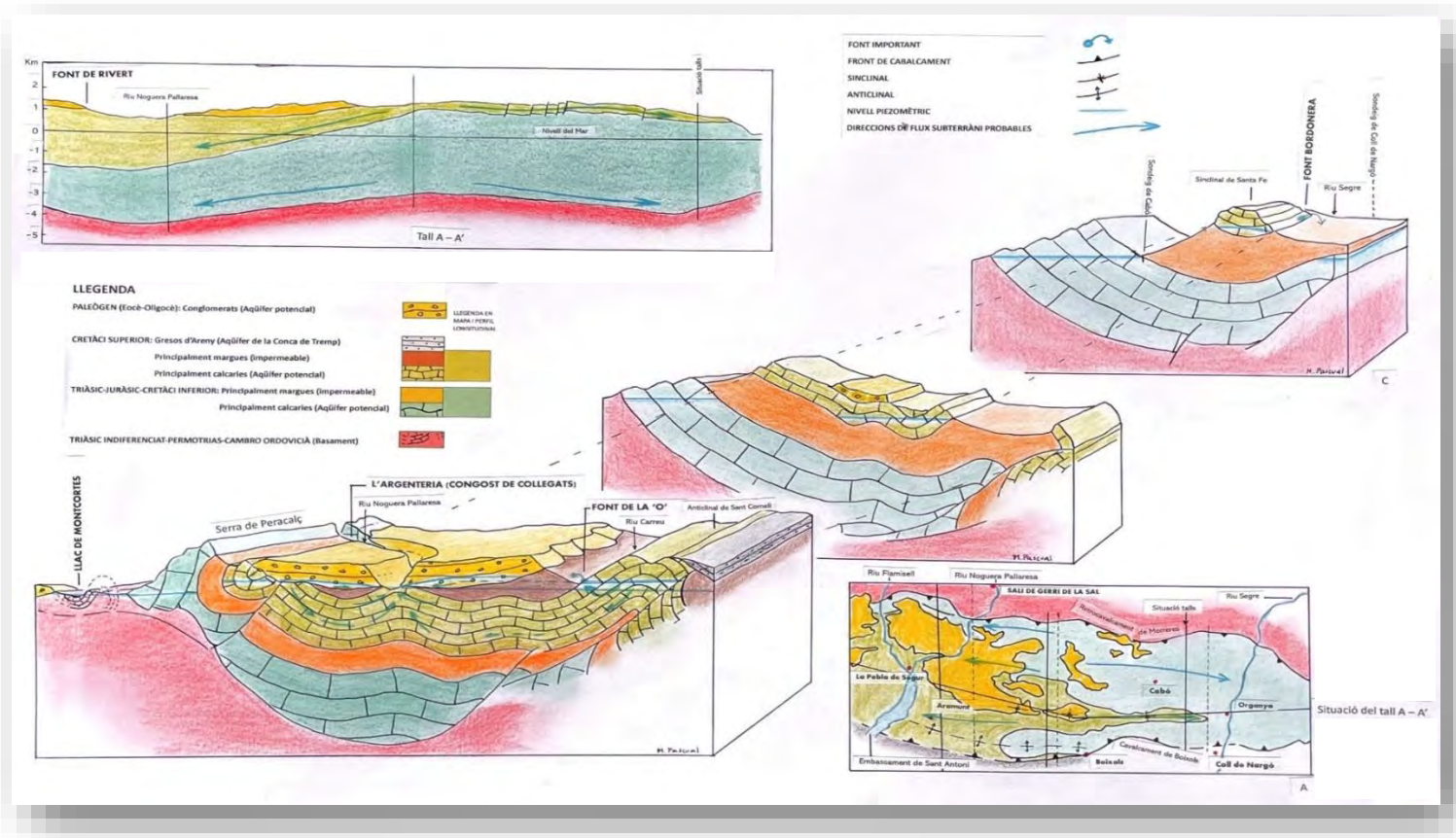


## LA LAMINA CABALGANTE DE BÓIXOLS

El denominado manto o lámina cabalgante de Bóixols es el más corto en sentido N-S, pero es el más potente. Tiene la forma de un gran sinclinal limitado al sur por el cabalgamiento de Bóixols y anticlinal de Sant Corneli, y al norte por el retrocabalgamiento de Les Morreres que pone en contacto a la serie mesozoica con los materiales paleozoicos de la Zona Axial Pirenaica. Este contacto casi siempre se produce a través del Triásico fuertemente tectonizado, lo que se manifiesta en afloramientos de tonalidades rojizas donde se entremezclan caóticamente sedimentos evaporíticos salinos (Keuper), calizas y dolomías (Muschelkalk) y conglomerados de base (Buntsandstein y Permotrias). Estos materiales se corresponden con un cuarto dominio en la figura 4: la zona de Les Nogueres.

La zona que se visitará durante toda la jornada se extiende entre la presa de Sant Antoni (ya visitada en la edición de 2022) y el Congost de Collegats - Gerri de la Sal, de forma que el manto de Boixols se atravesará de sur a norte, hasta llegar al Triásico de les Nogueres.

La figura 7 muestra, esquemáticamente, la geometría de la lámina cabalgante entre el río Noguera Pallaresa y el río Segre. El mapa de la figura ilustra en planta los límites norte (cabalgamiento de Les Morreres) y sur (cabalgamiento de Bóixols) de la lámina y los afloramientos del Cretácico inferior, Jurásico y Triásico (estos tres periodos se representan de forma conjunta en los cortes por lo que a partir de ahora las referencias al Cretácico inferior se entenderá que engloban los tres periodos), Cretácico superior, Paleógeno y materiales del basamento que sustentan a la lámina (Triásico indiferenciado, Permotrias, y Cambro-ordovícico). El mapa y el perfil longitudinal (E -W) de la figura 6 que va de río Segre al Río Noguera muestran que el afloramiento del Cretácico inferior en la parte oriental es dominante y el Cretácico superior solo aflora en el sinclinal de Santa Fe, cerca de Organyà. Contrariamente, hacia el oeste, la presencia del Cretácico superior se incrementa a costa de la disminución de la presencia del Cretácico inferior.



**Figura 7.** Composición esquemática ilustrativa de la 'hidrogeología' de la lámina cabalgante de Bóixols. A/ mapa de situación geológica de la lámina (simplificado de García Senz, 2002), con indicación de la situación de los perfiles tridimensionales y longitudinal, y direcciones del flujo de agua subterránea a escala regional. B/ perfil hidrogeológico longitudinal de la lámina entre los ríos Noguera Pallaresa y Segre con indicación de la situación de los perfiles transversales (simplificado de García Senz, 2002). C/ Perfiles hidrogeológicos tridimensionales transversales con indicación de las principales formaciones acuíferas, niveles piezométricos y direcciones de flujo indicativas (la interpretación hidrogeológica ha tomado como base la geología de García Senz, 2002).



## HIDROGEOLOGIA DE LA LÁMINA CABALGANTE DE BÓIXOLS

El conjunto de surgencias de agua subterránea que se visitaran y los acuíferos que las originan se pueden considerar como “*nuevas reservas hidrológicas*” dada su reducida explotación y el reducido conocimiento que de ellos se tiene.

Des del punto de vista hidrogeológico la disposición geológica explicada en el apartado anterior es importante. Tanto el Cretácico inferior (hay que recordar que se engloban también el Jurásico y el Triásico) como el Cretácico superior están constituidos por formaciones permeables carbonatadas (principalmente calizas) que constituyen importantes masas acuíferas y una formación impermeable (principalmente margosa) que las separa, las cuales se indican en la figura 7.

Ambos acuíferos carbonatados del Cretácico inferior y superior vierten en sentidos contrarios hacia los ríos Segre y Noguera, aproximadamente des de la divisoria de aguas superficiales (ver perfil longitudinal de la figura 7). La pequeña parte de las descargas que se explotan del Cretácico inferior se hace a través de los pozos de abastecimiento de Cabó y el Vilar (figura 8) y de Coll de Nargó en la cuenca del Segre, y de la Roca Argenteria en la cuenca del Noguera. Las descargas más importantes conocidas del acuífero calcáreo del Cretácico superior son la Font Bordonera en la cuenca del Segre y la Font de la ‘O’ en la de la Noguera. En

los esquemas de la figura 7 se indican los posibles niveles piezométricos y las direcciones probables de los diferentes flujos.

Finalmente, también dentro del perímetro de la lámina cabalgante de Bóixols, en la excursión también se visitará el acuífero paleógeno de los conglomerados de la Serra de Gulp-Serradell (parada 6). Este acuífero también de grandes dimensiones se sitúa por encima de las formaciones cretácicas a las que cubre discordantemente. La descarga más importante se produce a través de la Font de Rivert



**Figura 8.** Perforación del sondeo de Cabó situado a unos 250 m al oeste del núcleo del Vilar. Al fondo de la foto calizas del Cretácico inferior (Barremiense) del sinclinal de Cabó – Collegats (flanco norte buzando hacia el sur). El sondeo tiene una profundidad de 293 m. Hasta los 85 m se perforaron margas impermeables, a partir de donde los materiales perforados fueron margas calcáreas o calizas negras, algunas con ligero olor a hidrocarburo. El caudal obtenido durante la perforación fue de unos 20 m<sup>3</sup>/h (Pascual, 1993).

## HIDROGEOLOGÍA DE LOS ACUÍFEROS EXTERIORES A LA LÁMINA CABALGANTE DE BÓIXOLS

En la misma figura 7 se indican también los emplazamientos de 'Els Salins' de Gerri de la Sal y del Estany de Montcortès ya fuera de la lámina cabalgante de Bóixols, en materiales basales del Triásico. Ambos afloramientos de agua tienen diferencias importantes en cuanto a la hidroquímica del agua, dado que, aunque ambas proceden de materiales triásicos, drenan formaciones evaporíticas y carbonatadas diferenciadas.

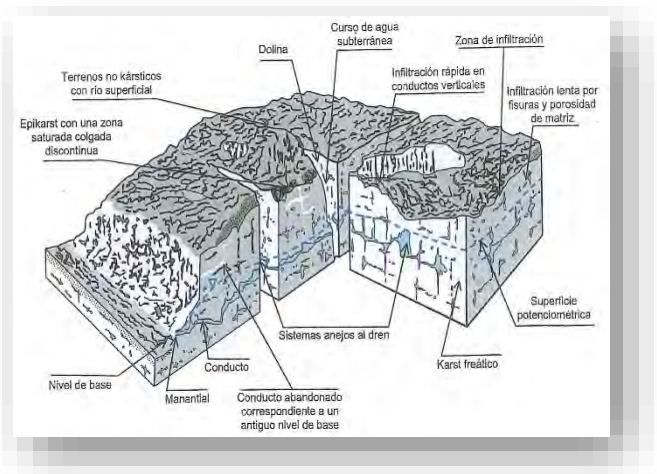
En cada parada se explicarán las particularidades visibles de los acuíferos descritos.

principal ( $2(\text{CO}_3^{2-})\text{CaMg}$ ), aunque en este caso también se pueden incluir las formaciones de conglomerados con matriz carbonatada como será el caso del acuífero conglomerático de la Sierra de Gurb-Lleras. En ellos el agua circula ocupando las fisuras, fallas y huecos que se van formando por disolución. La morfología, tanto superficial como subterránea, se denomina cárstica cuando su desarrollo alcanza una entidad considerable. La figura 9 ilustra las formas que caracterizan a los sistemas cársticos, mientras que la figura 10 representa un posible proceso de desarrollo de un sistema cárstico originado por variaciones del nivel de descarga del sistema, que como se verá puede explicar algunas de las surgencias que se visitarán.

## LOS ACUÍFEROS EN ROCAS CARBONATADAS

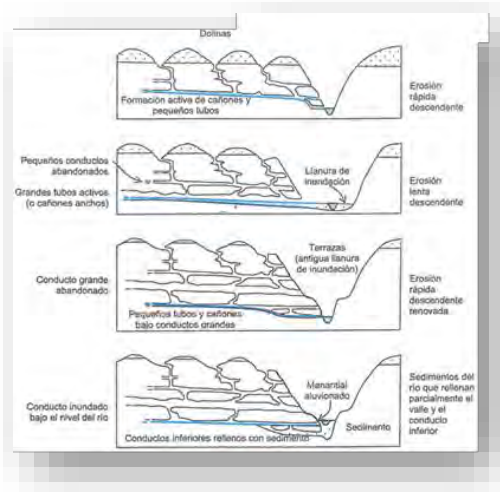
Como se ha comentado a lo largo de la presentación, durante la excursión, en su mayoría, se verán y explicarán acuíferos en rocas carbonatadas. Así pues, para facilitar la comprensión del funcionamiento hidrogeológico de los mismos, se incluye en la guía una breve explicación sobre las bases teóricas de la hidrogeología en rocas carbonatadas.

Estos acuíferos son los formados por calizas, con calcita como mineral principal predominante ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), y/o dolomías, con dolomita como mineral



**Figura 9.** Esquema ilustrativo de las principales formas superficiales e internas generadas en los acuíferos carbonatados (Custodio y Llamas, 1983; FCiHS, 2009).



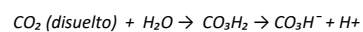


**Figura 10.** Esquema ilustrativo de la evolución de un sistema cárstico debido a variaciones del nivel de base asociado a un cauce fluvial que lo atraviesa (Custodio y Llamas, 1983; FCIHS, 2009).

La formación de las vías de flujo del agua subterránea en estos sistemas se da por la disolución progresiva de los carbonatos que forman el macizo rocoso por la acción del agua infiltrada en superficie. El proceso hidrogeoquímico actuante es el siguiente:

$CO_2$  (gas)

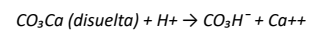
↓ (procesos biológicos en el suelo, incremento de  $CO_2$ )



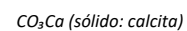
↓



+



↑ (disolución de calcita)



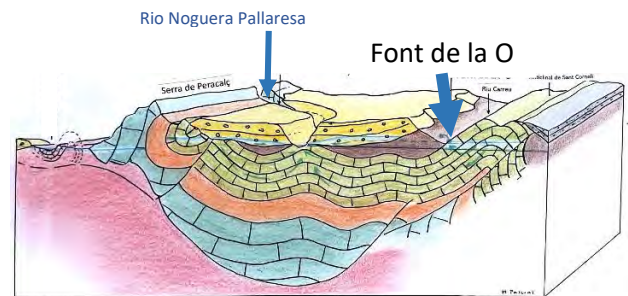
## PARADA 2. FONT DE LA "O"

### DESCRIPCIÓN DE LA SURGENCIA

La Font de la 'O' se encuentra en el pie del extremo occidental de la Serra de Sant Corneli (1351 msnm), a unos 250 m del pantano de Sant Antoni en la Noguera Pallaresa. La Serra de Sant Corneli se extiende desde el Noguera Pallaresa hacia el este, a la cuenca del río Segre, enlazando con la sierra de Carreu, sierra de Boumort y sierra de Sant Joan. La Serra de Sant Corneli, desde el punto de vista geológico, constituye el margen norte del dominio del Montsec y el margen sur de la lámina cabalgante de Bóixols.

Los materiales de la Serra de Sant Corneli se disponen en anticlinal con eje buzando hacia el embalse de Sant Antoni (figuras 7 y 11). Su flanco sur se dispone cabalgando sobre el dominio Montsec (Conca de Tremp-Isona). El anticlinal está formado por calizas del Cretácico superior (Coniaciense-Santoniense) con unos 380 m de potencia flanqueado en ambos flancos por las margas también del Cretácico superior (Santoniense). En la vertiente norte del anticlinal, el río Carreu discurre por el contacto de estas margas suprayacentes y las calizas, erosionando el paquete de margas e originando un relieve estructural donde las calizas presentan un suave buzamiento de unos 35° hacia el nord-oeste. La vertiente sur del anticlinal presenta buzamientos más acusados y una intensa fracturación, originándose un paisaje más abrupto con fuertes pendientes (figura 12). La Sierra de Sant Corneli enlaza hacia el este con la sierra de Carreu y hacia el

norte con la Sierra de Boumort formada por conglomerados del Paleógeno (Eoceno-Oligoceno).



**Figura 11.** Situación geológica de la Font de la 'O' (corte N-S) (leyenda en figura 7).

Las calizas del **Cretácico superior** del anticlinal forman un acuífero cárstico libre poco regulado y muy jerarquizado. Su recarga se produce por infiltración de las precipitaciones (lluvia y nieve) a las cotas más altas de la sierra. El drenaje de este acuífero se produce, mayoritariamente, a través de la Font de la 'O', aunque existen dos fuentes próximas de carácter intermitente que drenan el sistema en periodos muy húmedos. Estas son la Font Mentidera, situada unos 300 m al sur de la Font de la 'O', y la Font del Bullidor, situada en el lecho del río Carreu, aguas arriba del núcleo de Aramunt.

La Font de la 'O' emerge de las calizas justo en la zona de contacto con las margas santonienses. Presenta un caudal permanente de unos 10 l/s. El agua aflora de un substrato rocoso envuelto por una arqueta de hormigón donde se puede observar la ascensión de pequeñas burbujas de gas carbónico disuelto en el agua del acuífero, fenómeno típico de los acuíferos carbonatados. Durante los periodos de lluvias entra en funcionamiento el 'trop-plein', situado a unos 25 m por encima de la fuente, que puede llegar a drenar un caudal unas cien veces superior al



caudal de base (figura 12B). Es excepcional la imagen y el ruido del ‘trop-plein’ en funcionamiento. Este gran volumen de agua drenada durante los periodos húmedos hace suponer que la zona de recarga no se limita a la sierra de Sant Corneli y que se extiende a las sierras de Carreu y de Boumort. No se puede identificar el punto donde se sitúa el ‘trop plein’ ya que existe un recubrimiento de grandes bloques de calizas a lo largo de los 25 m del recorrido. Las aguas de la Font de la ‘O’ son drenadas superficialmente por un pequeño barranco afluente del río Carreu unos 500 m antes de su desembocadura en el embalse de Sant Antoni. El mayor volumen de agua del río Carreu proviene de la Font de la ‘O’, aunque el río Carreu tiene un recorrido de 20 km. Aguas arriba de la desembocadura del barranco de la Font de la ‘O’ el caudal de base del río es bajo.

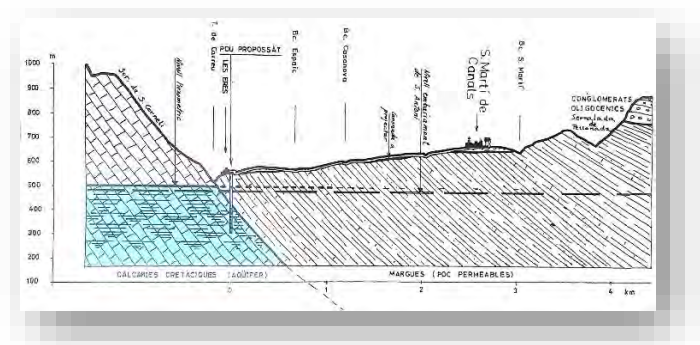
La conductividad del agua es de 470 microS/cm (medida por los autores de la guía en julio de 2019) y la composición del agua es bicarbonatada cálcica.

El uso del agua, en una pequeña cantidad, es para el abastecimiento municipal de Aramunt, para ganadería y para el riego de una pequeña extensión de cultivos. La mayor parte del agua se vierte en el embalse de Sant Antoni a través del río Carreu.

**EJEMPLO DE EMPLAZAMIENTO DE UNA CAPTACIÓN EN EL ACUÍFERO CALCÁREO DEL CRETÁCICO SUPERIOR EN EL ANTICLINAL DE SANT CORNELI**

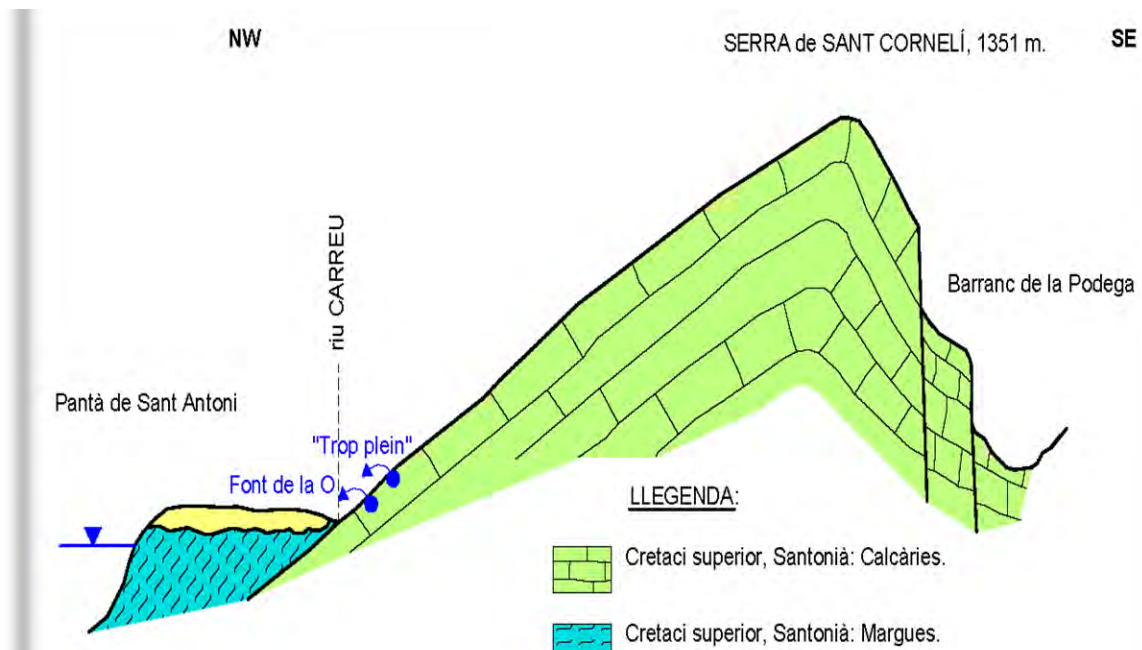
Como ejemplo de proyecto, en la figura 13 se presenta un perfil hidrogeológico realizado en los años noventa para definir el emplazamiento de un pozo para el abastecimiento de Sant Martí de

Canals, Aramunt y otros núcleos cercanos, que también podría haber servido para cualquier otro tipo de demanda. El perfil es de detalle, y a escala, para poder dimensionar aproximadamente el tipo de pozo y sus características constructivas, diámetros, profundidad, etc. Se puede considerar una calidad del agua adecuada para cualquier uso doméstico (convenientemente tratada), para riego o industrial, que los recursos hídricos son suficientes dadas las dimensiones del acuífero y su vulnerabilidad es escasa. Obsérvese que a medida que se aumenta la distancia a las calizas del anticlinal de Sant Corneli en dirección norte, la profundidad del pozo necesaria para alcanzar a perforar las calizas es mayor y por lo tanto también su coste, no así si la demanda se desplaza en sentido este paralelamente al anticlinal siguiendo el valle del río Carreu o las prospecciones se desplazan al flanco sur del anticlinal (Barranc de Podega) (Figura 12A). La viabilidad de las captaciones por su coste dependerá del valor de las actividades económicas que se pretendan desarrollar con los nuevos recursos hídricos que se alumbren. Este acuífero puede considerarse como “nuevas reservas hidrológicas”.



**Figura 13.** Perfil hidrogeológico S-N para el emplazamiento de un pozo con el objetivo de explotar el acuífero calcáreo del Cretácico superior de Sant Corneli (Pascual, 1992).

(A)



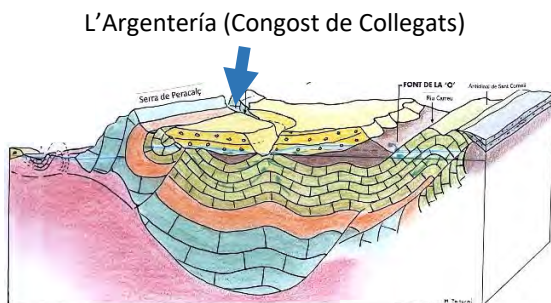
**Figura 12.** A) Corte hidrogeològic. B) Fotografias de la font de la 'O' emergiendo des del "trop-plein".



### PARADA 3. L'ARGENTERÍA (CONGOST DE COLLEGATS)

#### EL CONGOST

El Congost de Collegats és el resultado de la incisió del riu Noguera Pallaresa en las calizas del Cretácico inferior y superior, y en los conglomerados paleógenos suprayacentes. El desnivel entre las zonas más altas del Cretácico inferior y el rio Noguera Pallaresa es de más de 1000 m. La parada se sitúa en la parte más septentrional de la lámina cabalgante de Bóixols (figuras 7 y 14), por lo que los estratos del Cretácico inferior están fuertemente verticalizados, incluso invertidos en la prolongación oeste de los mismos (Serra de Peracalç).



**Figura 14.** Situación geológica de la surgencia de la Argenteria (corte N-S) (leyenda en figura 7).

La formación sedimentaria del Cretácico inferior descansa sobre los materiales Triásicos de los que los separa el retrocabalgamiento de Les Morreres. Descendiendo por el Congost hacia el sur, se va ascendiendo en la serie estratigráfica hasta que el río atraviesa los conglomerados paleógenos y los sedimentos del Cretácico superior.

#### EL ACUÍFERO CARBONATADO DEL CRETÁCICO INFERIOR

Si nos dirigimos por la carretera antigua en sentido S-N, al final del congost se encuentra la Roca Argenteria (figuras 15 y 16). Es una surgencia espectacular que drena el acuífero carbonatado del **Cretácico inferior**, a diferencia de la Font de la 'O' de la anterior parada, que drena el Cretácico superior.

El acuífero carbonatado del Cretácico inferior suministra agua a los términos municipales de Cabó y Coll de Nargó situados a unos 25 km al este del rio Noguera Pallaresa, ya en la cuenca del Segre (figura 7).



**Figura 15.** Surgencia de la Roca Argenteria con sus tobos calcáreos característicos. Se observa un vistoso plegamiento con sinclinal y anticlinal afectando a las calizas del Cretácico inferior.

La captación para estos abastecimientos se hace mediante dos sondeos habilitados como pozos de abastecimiento perforados por la extinta Junta d'Aigues de Catalunya (actual Agència Catalana de l'Aigua) de 293 m de profundidad el de Cabó y 81 m el de Coll de Nargó (Pascual, 1993 y 1994). Los caudales suministrados por ambos pozos fueron de 20 m<sup>3</sup>/h el primero y de 50 m<sup>3</sup>/h el segundo,

aunque las demandas son muy inferiores (figura 7 y 8).

La recarga se produce directamente por infiltración del agua de lluvia en los afloramientos calcáreos del flanco norte del sinclinal y a través de los conglomerados del Eoceno-Oligoceno, allá donde recubre a las calizas. En la figura 17 se representa el modelo conceptual de funcionamiento en el cual se indican la zona saturada que a nivel regional se puede considerar “*nueva reserva hidrológica*” y los niveles colgados en zona no saturada que pueden funcionar intermitentemente en épocas lluviosas movilizando flujos locales y activando surgencias que en épocas secas permanecen secas (trop pleins).

La situación de la surgencia de la Argentería está controlada principalmente por la verticalización o fuerte buzamiento hacia el sur de la estratificación y en menor medida por fracturas (figura 16 y 17). La infiltración y posterior circulación descendente se produce principalmente por los espacios entre los planos de estratificación, hasta alcanzar la zona saturada que se sitúa por debajo del nivel de base impuesto por el nivel del río al cual descarga el acuífero.

La surgencia se produce a diferentes niveles de la pared rocosa porque el río ha cambiado de nivel de base por cambios del nivel del mar durante el Messiniense y el Cuaternario. Precisamente esta incisión del río formando el Congost ha originado el descenso del nivel de base de las salidas del agua subterránea y el desarrollo del carst (figura 17). La figura 18 es un esquema ilustrativo que muestra los flujos descendentes de infiltración hasta

llegar a la zona saturada o hasta las vías preferentes de circulación horizontal que testimonian niveles de drenaje anteriores al actual (sin descartar la existencia de otros niveles de base por debajo). En principio y mayoritariamente, las formas endomorfas por encima del nivel de base actual serán vías de agua de infiltración en forma de simas, cuevas, estalagmitas, etc. de diferentes tamaños por donde solo circula agua en proceso de infiltración. En esta zona, que se puede considerar cárstica, a lo sumo solo podrán existir acuíferos colgados de pequeñas dimensiones relativas, típicos de este tipo de formaciones que utilizan los drenajes antiguos para alumbrar sus aguas a cotas superiores a las del acuífero principal.



**Figura 16.** La Roca Argentería al fondo de la imagen. Obsérvese el fuerte buzamiento hacia el sur de la estratificación por encima de la surgencia.

Las aguas por debajo del nivel de drenaje actual (nivel del Noguera Pallaresa) saturan el acuífero. Generalmente la permeabilidad en la zona saturada suele ser menor por debajo del nivel de base y va disminuyendo en profundidad, y probablemente las fracturas y planos de



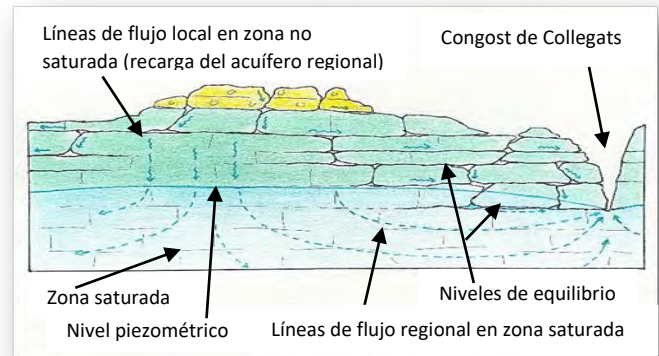
estratificación no estén carstificados y la permeabilidad sea solo a través de vías de circulación poco desarrolladas. No obstante, las reservas de agua principales se almacenan en esta zona saturada, la cual será la más interesante como “nueva reserva hidrológica”.

## L'ARGENTERÍA

Volviendo a la surgencia de la Argentería, cabe resaltar las vistosas formaciones de tobas calcáreas que vierten a diferentes niveles por las razones explicadas de cambios en los niveles de drenaje.

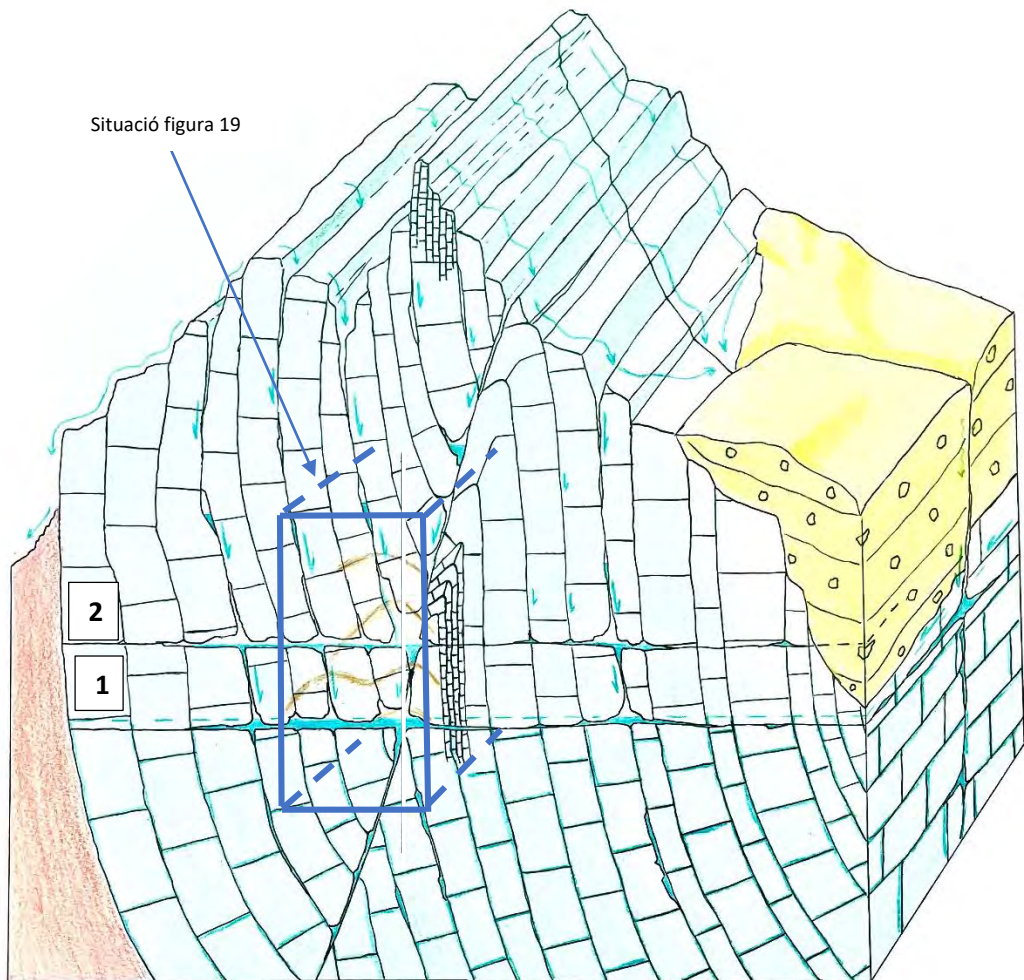
Las tobas calcáreas son rocas calizas, en la mayoría de los casos de origen fontinal y/o de interiores de sistema cársticos, caracterizadas por una alta porosidad visible a simple vista y que incorpora restos de vegetales o residuos del ambiente deposicional en el entorno de las surgencias (figuras 19 y 20).

Cuando el agua, después de circular por el interior del macizo y disolver volúmenes importantes de carbonatos, entra en contacto con el aire, sobre todo después de largos periodos de sequía sin recarga, es decir cuando las concentraciones de calcio están por encima de la saturación y el caudal de surgencia es mínimo, se produce la precipitación en forma de carbonato cálcico aprovechando el flujo lento por encima del substrato rocoso y/o por encima de la vegetación exterior a la surgencia. El contacto del agua con la atmosfera al emerger se desprende el  $\text{CO}^2$  en forma de gas desplazando las reacciones como se indica en la figura 19.

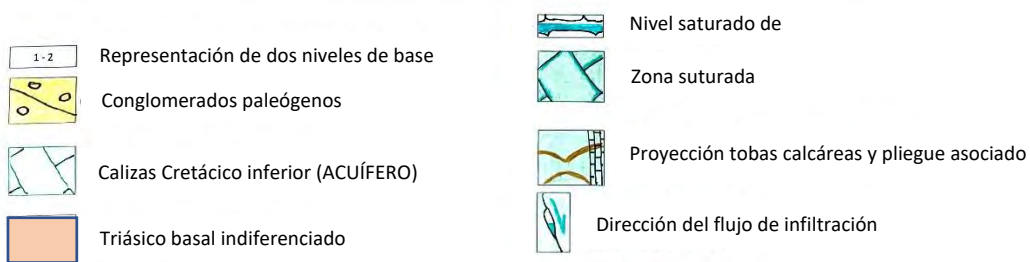


**Figura 17.** Esquema ilustrativo adimensional del funcionamiento hidrogeológico a nivel regional del Cretácico inferior al este del Congost de Collegats. En amarillo se indican los conglomerados paleógenos y en verde la formación carbonatada del Cretácico inferior que se extiende entre los ríos Segre y Noguera Pallaresa. Los niveles de equilibrio representan niveles del río más o menos estables a lo largo de los últimos 6 millones de años durante el encajamiento del mismo.

El efecto es la precipitación de carbonato cálcico a pie de las fuentes o surgencias, pudiéndose formar grandes y vistosas acumulaciones de carbonato que atrapan restos de hojas, raíces, etc. de plantas, así como la microfauna que esté presente, como en el caso de la Argentería (figura 20 A). Precisamente la espectacularidad de la Argentería parece haber sido fuente de inspiración al genial Antoni Gaudí para el templo de la Sagrada Familia (figura 20 B).

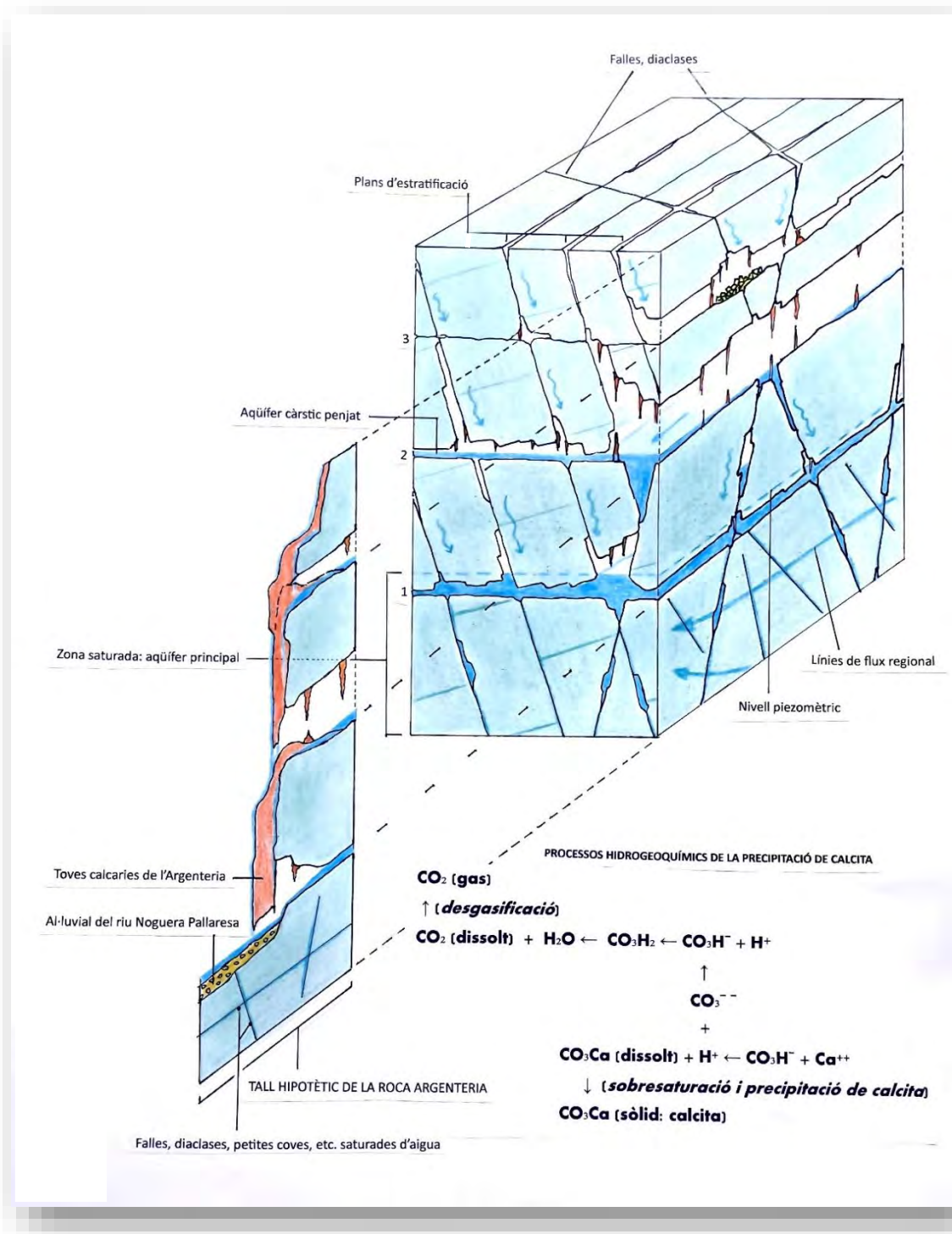


Situació figura 19



**Figura 18.** Esquema conceptual de funcionamiento del acuífero carbonatado del Cretácico inferior en la zona de descarga de la Argentería. El nivel 2 indica el nivel de base fijado actualmente por el río Noguera Pallaresa. El nivel 1 indica un hipotético nivel de base antiguo. El esquema es únicamente indicativo del modelo conceptual.





**Figura 19.** Esquema detallat (situació aproximada en figura 16) de un possible model conceptual de funcionament de la surgència de la Argenteria (parte de la zona de descarga occidental del sinclinal de Cabó). El nivel 1 indica el nivel de base fijado actualmente por el río Noguera Pallaresa. Los niveles 2 i 3 ilustran posibles niveles de base antiguos desarrollados por el río cuando tenía un nivel de equilibrio más alto que el actual. Se indican también los desplazamientos de equilibrios químicos cuando se produce la precipitación de calcita que da lugar a las tobas calcáreas, estalactitas, estalagmitas, etc.



**Figura 20.** A/ Detalle de toba calcárea colgada en la Argentería. B/ Cartel explicativo de la supuesta inspiración de Antoni Gaudí ante estas formas naturales en Collegats.



## PARADA 4. SALINAS DE GERRI DE LA SAL

En el emplazamiento de la Font Salada de Gerri, la Sra. Aroa Yagüe Medina, representante del Museo de Gerri de la Sal, ante la caseta del brollador, explicará el proceso de captación y el funcionamiento de las salinas, y seguidamente se entrará en el interior de la caseta.

### BREVE HISTORIA

No se puede entender la villa pallaresa de Gerri de la Sal sin lo que ha sido su motor económico desde la Edad Media, la sal. Las salinas, las más importantes que ha habido históricamente en la Cataluña interior, han dado una fisonomía característica al pueblo, que se completa con el Real Alfolí de Gerri o Casa de la Sal y el monasterio de Santa María, una de las joyas del románico que se conservan en los Pirineos (figura 21).

El alfolí y las salinas son las dos estructuras básicas utilizadas desde la Edad Media para extraer y tratar la sal en Gerri. A un lado del Noguera Pallaresa, entre el río y el pueblo, las salinas son estructuras de planta irregular, hechas con muros de piedra de diferentes formas y revestidas de barro, donde se conducía el agua de una fuente salada cercana al pueblo. Una vez parada en estas balsas, sólo había que esperar a que el calor evaporara el agua (proceso conocido también como "mina Ofita") y recoger la sal depositada en unas superficies planas de piedra enmarcadas con tablonces de madera.

El alfolí era el almacén de esta preciada sustancia, un edificio de planta rectangular con tres niveles que actualmente acoge la musealización de todo el proceso industrial. Ubicado en la plaza Mayor de Gerri, se trata del edificio civil más grande en planta de todo el Pallars. Finalizada la explotación salina ya bien entrado el siglo XX, actualmente el alfolí y las salinas permiten al visitante conocer el proceso de producción, transformación, almacenamiento y comercialización del oro blanco, la sal.

Las primeras noticias que se tienen de la fuente de agua salada y de las salinas son del año 807, donde en la carta fundacional del monasterio de Gerri constan como propiedades del Monasterio la fuente y las tres hectáreas de terreno salinero. El Monasterio explotó 'els salins' hasta el siglo XVIII los cuales pasaron a manos del estado. La sal servía como moneda de cambio, de aquí la palabra salario -salari (sal-salari). El Monasterio se construyó porque los monjes descubrieron el brollador y se asentaron en Gerri.



**Figura 21.** Monasterio de Gerri de la Sal y río Noguera Pallaresa.

En manos del Estado ‘els salins’ son gestionados hasta mediados del siglo XIX, y se construyeron infraestructuras de control para que los trabajadores no se llevaran la sal por su alto valor. En 1900 ‘els salins’ y el Alfolí son comprados por 32 vecinos del pueblo. Durante el siglo XX, diversas circunstancias hacen que la producción vaya entrando en crisis. Las riadas, la despoblación de los Pirineos, la crisis del sector ganadero, la aparición de nuevos medios de transporte y la mejora de la red viaria, nuevos mercados, etc. hacen que se reduzca la venta.

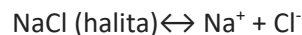
La riada de 1982 produce daños importantes que hacen que la producción de sal sea testimonial hasta el año 2000 en que cesa la producción. Aun así, en 2008, para no perder la identidad del pueblo, si iniciaron algunas labores que permiten mantener viva una pequeña producción de sal.

## LA FUENTE DE AGUA SALADA

La surgencia aflora por burbujeo a unos 20º C de temperatura y a 7-8º de densidad de sal (Escala Beaume). El agua del mar tiene unos 2-3º Beaume lo que da una idea de la alta salinidad de la surgencia. Se extraen entre unos 35 y 40 m3/h de agua salada (figura 22).

Como se observa en la figura 7, Gerri de la Sal y consecuentemente ‘els salins’ se sitúan al norte del cabalgamiento de Les Morreres, es decir al norte de la lámina cabalgante de Bóixols, claramente sobre afloramientos del Triásico, constituidos por conglomerados (Buntsandstein), calizas y dolomías (Muschelkalk) y yesos rojos o rosados (Keuper). La salinidad de la surgencia evidencia que proviene de la disolución de los cloruros sódicos del

Keuper. El proceso hidrogeoquímico es el siguiente:



Las aguas de ‘els salins’ son cloruradas sódicas y, aunque la solubilidad de la halita es alta, su alta conductividad sugiere un alto tiempo de permanencia del agua en el acuífero. La sobresaturación en cloruros de las aguas origina que una vez vertidas en las salinas con poca profundidad y expuestas al sol, se produzca la precipitación de la sal (figura 23).

En Catalunya hay dos ‘salins’ de interior semejantes al visitado, aunque de menor entidad. Son los de Vilanova de la Sal en la Noguera y de Odén en el Solsonès, todos ellos relacionados con los sedimentos evaporíticos del Triásico superior.



**Figura 22.** Salinas de Gerri de la Sal, rio Noguera Pallaresa a la derecha y caseta de la surgencia de agua salada en primer término. Obsérvese los sedimentos del Triásico superior de color rojizo al fondo.

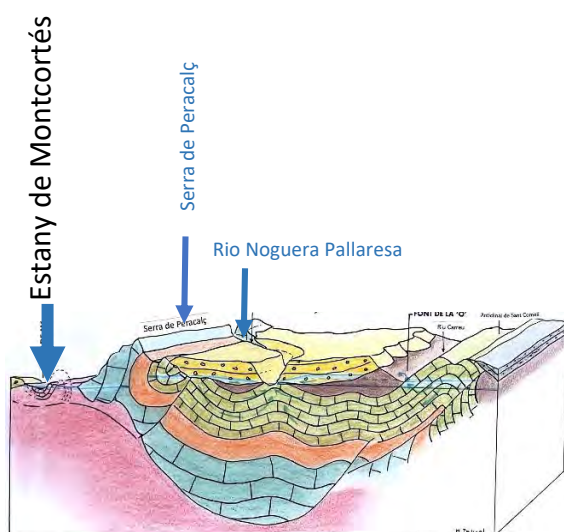




**Figura 23.** Labores de acondicionamiento del precipitado de sal en una salina de Gerri de la Sal (cortesía del Museo de Gerri).

## PARADA 5. L'ESTANY DE MONTCORTÈS

L'Estany de Montcortès se halla situado a unos 750 m. al oeste del núcleo de Montcortès de Pallars, que pertenece al municipio de Baix Pallars de la comarca del Pallars Sobirà (Lleida). Al norte de la Sierra de Peracalç (figuras 24 y 25), que forma parte de las estribaciones montañosas de la zona Prepirenaica, se extiende, a la cota 1000 m – 1100 m de altitud, el Pla de Corts delimitado por La Noguera Pallaresa al este, el río Ancs al norte y el Barranco Ruixou de la cuenca del río Flamisell al oeste. Justo en el margen oeste Del Pla de Corts se ubica l'Estany de Montcortès que se encuentra ocupando una zona deprimida, situada a la cota 1030 m. de altitud, rodeada por las estribaciones montañosas del Serrat de Terrampalau (1075 m), La Creueta (1083 m), Les Costes del Perú (1136 m), el Serrat del Corral (1157 m) y el Serrat del Bosc (1134 m).



**Figura 24.** Situación geológica del Llac de Montcortès (corte N-S) (leyenda en figura 7).

El lago es de origen cárstico y presenta una morfología en planta casi circular y paredes rectas, recubriendo una extensión de unas 12 has. La batimetría realizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) muestra la presencia de dos depresiones de 25 metros de profundidad.

Geológicamente, l'Estany de Montcortès se ubica en la denominada Zona de Les Nogueres, en el sector más meridional de la Zona Axial Pirenaica. Constituye una estrecha franja que se extiende entre los ríos Noguera Pallaresa y Noguera Ribagorzana y se sitúa entre la Zona Axial, al norte, y el cabalgamiento de Bóixols de la zona Surpirenaica, al sur. Los materiales presentes en la Zona de Les Nogueres pertenecen a las facies del Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper del Triásico. Los materiales que configuran la zona de l'Estany de Montcortès y sus alrededores próximos son las arcillas, evaporitas (yesos y sales) y ofitas de la facies Keuper y las dolomías y calizas de la facies Muschelkalk que presentan una compleja estructura tectónica debido a la plasticidad de los materiales de la facies Keuper durante su emplazamiento. Posteriormente al emplazamiento de las unidades Pirenaicas se depositaron durante el Eoceno superior y Oligoceno los grandes depósitos de conglomerados carbonatados que recubren extensas zonas en el Congost de Collegats y la Serra de Gurp i la Serra de Riuxou.

L'Estany de Montcortès está formado por dos dolinas conjugadas, morfología cárstica denominada uvala, desarrolladas por carstificación de las



calizas y dolomías de la facies Muschelkalk (Triásico).



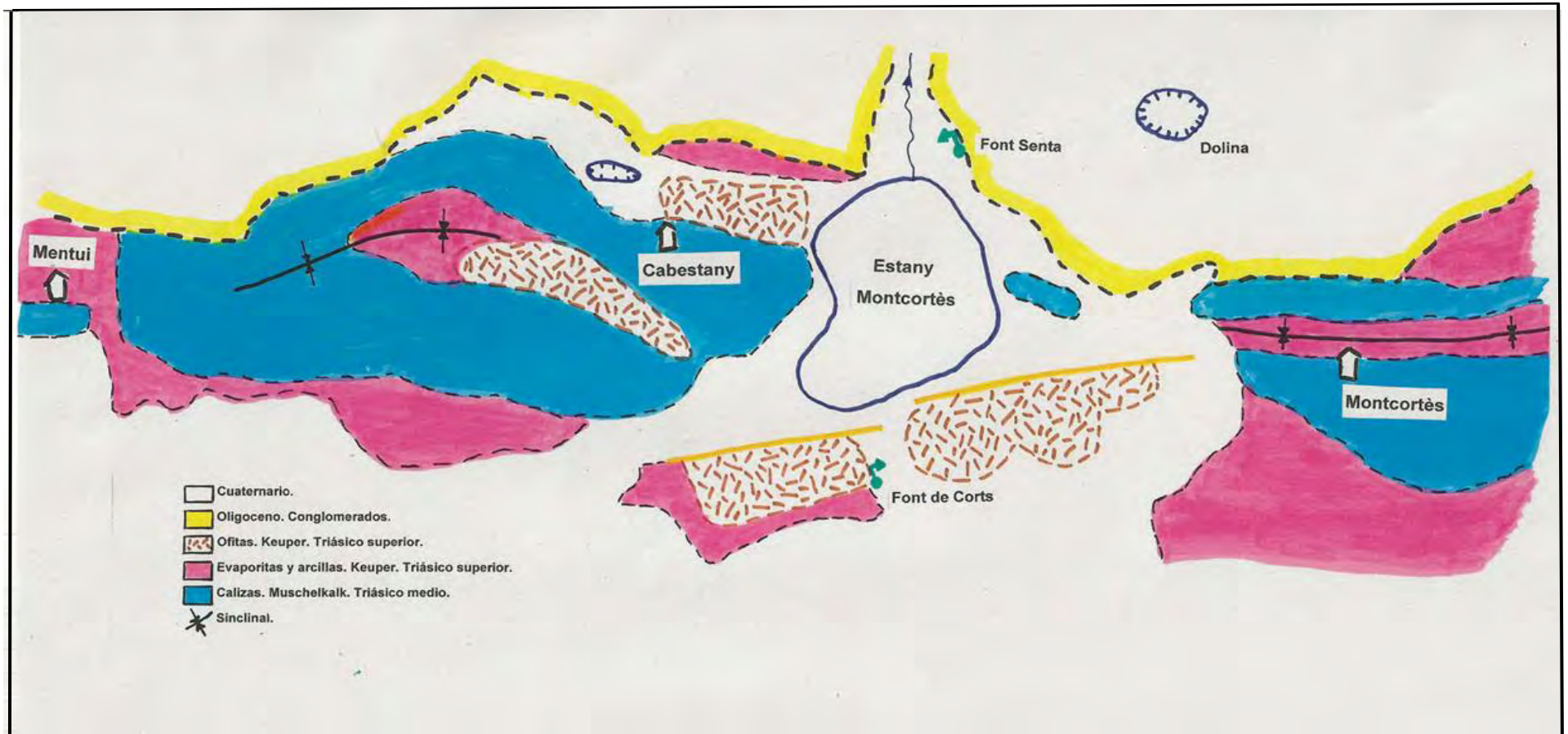
**Figura 25.** Estany de Montcortès visto desde el sur. Pirineo axial nevado al fondo.

Las calizas y dolomías de la facies Muschelkalk constituyen un acuífero cárstico cuyo drenaje natural es l'Estany de Montcortès que drena, mediante un pequeño riachuelo que a menudo se seca, hacia el barranco de Ruixau, afluente del río Flamisell (figura 26). La evaporación directa desde la superficie del lago constituye un segundo parámetro de salida de recursos del acuífero. La recarga del acuífero se realiza mediante la infiltración de las precipitaciones sobre las calizas y dolomías que se disponen en sinclinal; extendiéndose hacia el sur, hasta las proximidades del pequeño núcleo de Mentiu; mientras que hacia el norte se extienden hacia Bretiu alcanzando las proximidades de Peramea. L'Estany de Montcortès corta dicho sinclinal en su zona central. La aportación de la escorrentía superficial al sistema del lago es muy escasa.

Los estudios realizados por la CHE sobre el control de calidad de los lagos de la cuenca del Ebro según directiva 2000/60/CE durante el periodo comprendido entre los años 2007-2010

nos permiten caracterizar la composición físico – química de las aguas del estany y consecuentemente la composición del acuífero cárstico que lo alimenta. Los perfiles de análisis multiparamétricos realizados en las mencionadas campañas nos indican que la conductividad de sus aguas es constante desde la superficie del lago hasta su base, oscilando su valor entre los 480 – 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que junto a un pH de 8,4 indican que la procedencia de dichas aguas es del acuífero carbonatado desarrollado en las dolomías y calizas del Muschelkalk que sustentan l'estany de Montcortès. Así pues, las aguas son carbonatadas cálcicas. El perfil de los valores de oxígeno disuelto nos indica que hasta los 15 metros de profundidad oscilan entre los 18,8 y los 23,5  $\text{mg O}_2 /\text{l}$  y a partir de dicha profundidad la concentración de oxígeno disuelto disminuye significativamente hasta valores inferiores a los 0,5  $\text{mg O}_2 /\text{l}$ . La variación de la concentración de oxígeno disuelto en profundidad es debida a que la aportación desde el acuífero se realiza únicamente en los primeros 15 metros del lago, permitiendo la renovación de sus aguas en dicha zona y, a partir de dicha profundidad, no existe aportación de agua subterránea al lago.

El encajamiento de la red de drenaje de la cuenca del Ebro de finales de Mioceno viene reflejado en la zona por la presencia de dos dolinas colmatadas situadas a unos 70 sobre del Estany de Montcortès, una en las proximidades del pequeño núcleo de Cabestany, al sur, y la segunda, el paraje Sant Serni, al norte del lago de Montcortès.



**Figura 26.** Mapa Geológico de los alrededores de l'Estany de Montcortès. Adaptado de García Senz y Ardévol (2005) y de Gutiérrez, et al. (2012).



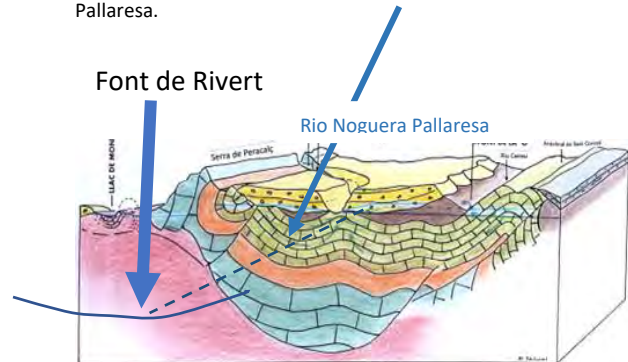
## PARADA 6. FONT DE RIVERT

Las sierras de Gulp y del Castellet, o de Serradell, con una extensión de 15 km de norte a sur y de 5 km de anchura, configuran el interfluvio entre la Noguera Pallaresa y la Noguera Ribagorçana en la parte occidental de la cuenca de Tremp, justo antes de que los dos ríos atraviesen la Serra del Montsec a través de los congostos de Terradets y de Mont-rebei (figura 27). El Puig de Lleràs (1692 m) es la máxima elevación de estas sierras. Los materiales que las constituyen son conglomerados masivos alpinos postorogénicos de edad comprendida entre el Eoceno medio y superior, coronados por una serie de conglomerados masivos con niveles de areniscas de edad comprendida entre el Eoceno superior y la base del Oligoceno. Los conglomerados están formados por elementos poligénicos redondeados (cantos paleozoicos -conglomerados del Permotrias, areniscas, cuarzo, calizas, pizarras- y mesozoicos -calizas y dolomías-) y heterométricos (medida comprendida entre 50 y 5 cm). La matriz está constituida por areniscas de grano grueso y de composición parecida a la de los cantos. La cimentación es carbonatada. La potencia máxima que alcanza el conjunto de los conglomerados es de unos 400 m.

En los estadios finales de la orogenia Alpina se originó el levantamiento de las sierras que limitan por el norte a la depresión del Ebro, y como se ha explicado en apartados anteriores, se empezaron a depositar una serie de masas conglomeráticas, de las cuales,

los conglomerados de la Serra de Gulp depositados al pie de los Pirineos son uno de los máximos exponentes, tanto en extensión como en potencia.

Líneas discontinuas: proyección de la base de los conglomerados hacia la vertiente derecha del río Noguera Pallaresa.



**Figura 27.** Situación geológica de la Font de Rivert (corte N-S) (leyenda en figura 7).

Los medios sedimentarios en que se depositaron estos conglomerados son los grandes conos de deyección y ambientes fluviales de alta energía (figura 5). El conjunto de conglomerados de las sierras de Gulp y de Castellet presentan un ligero buzamiento hacia el sudeste y el este, y se disponen discordantes, adaptándose y fosilizando los relieves preexistentes que se encuentran constituidos por un conjunto de niveles de areniscas, calizas, margas y arcillas del Cretácico superior que se presentan subverticales.

El acuífero que se desarrolla en este macizo de conglomerados es cárstico como resultado del predominio de cantos carbonados y en especial por la composición carbonatada de la cimentación. La fracturación previa ha condicionado a la orientación del desarrollo de las morfologías cársticas. Así se puede observar que la red espeleológica de la Cova de Cuberes presenta una inclinación hacia el SE, siguiendo una fractura en dirección NW-SE, y la red espeleológica del Botet de

casa del Rei es ortogonal, siguiendo la dirección de un sistema conjugado de fracturas. La Cova de Cuberes desarrollada en este macizo de conglomerados y que tiene su entrada en la Vall de Sarradell, es la cueva más grande del mundo formada en conglomerados, con 327 m de desnivel y 13 km de recorrido explorado. La dirección de la galería principal es de NW-SE, siguiendo una fractura. En la mitad de su recorrido aparece un caudal de agua continuo, el denominado río Auzmendi, que se infiltra hacia el interior del macizo. En 1980 se realizó un ensayo con trazadores por coloración al río Auzmendi por donde circulaba un caudal de unos 10 l/s, que indicó que estas aguas drenaban hacia la Font de Rivert, situada a 300 m de desnivel y a unos 5 km de distancia (Cardona-Olivan, 1989).

Existen numerosas morfologías exocársticas y endocársticas por todo el macizo, tanto en la vertiente de la Noguera Pallaresa como en la vertiente del Noguera Ribagorzana, como son el Botet de Casa Rei, Esplugu Fageda, Graller d'Espills, Cova Cuberes, Font Freda, Forat del Toscar, Grau d'Espills, Balma del Barranc del Codó, etc. Estas están situadas a diferentes cotas topográficas como consecuencia del encajamiento de la red hidrográfica del Ebro durante el Cuaternario, que ha originado el descenso continuado de los puntos de drenaje del acuífero. Actualmente, el acuífero cárstico desarrollado en los conglomerados de la Serra de Gurb y del Castellet es un acuífero colgado, dado que la base del drenaje superficial de la zona, formada por materiales mayoritariamente impermeables del Cretácico superior, se sitúa por debajo de la base del macizo de conglomerados.

La Font de Rivert, situada en la parte alta del pequeño núcleo de Rivert, emerge de la base de los conglomerados a través de una fractura de dirección norte-sud (figura 28).

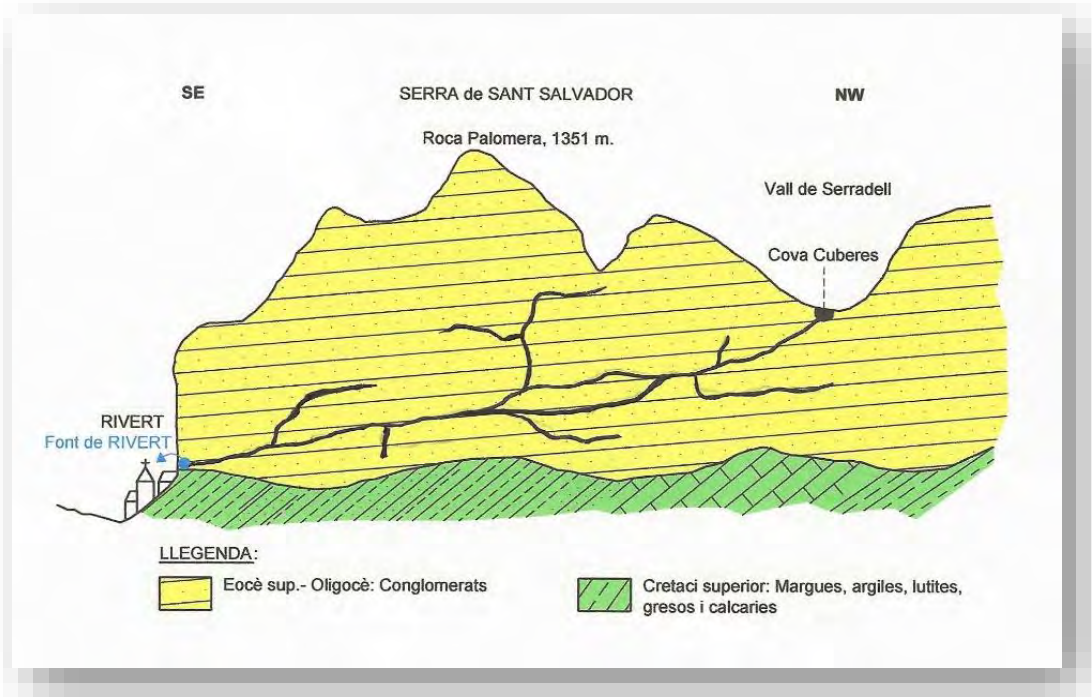
La disposición estructural de los conglomerados, con buzamiento hacia el SE, y el relieve preexistente del substrato donde se han depositado estos materiales, da lugar a que el drenaje del acuífero sea hacia el este y el sudeste, situándose en esta vertiente las surgencias más caudalosas y continuas del macizo. Así, la Font de Rivert, juntamente con la Font del Molí son las surgencias más importantes.

La recarga del acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia precipitada sobre la superficie del macizo de conglomerados a través del sistema de fracturas que afectan a todo el macizo. Las aguas de la Font de Rivert son de baja mineralización con una conductividad eléctrica de 370 microS/cm (medida por los autores de la guía en julio de 2019), siendo los bicarbonatos y el calcio los iones principales que han ocasionado la precipitación de abundantes tobas calcáreas.

El uso del agua, en una pequeña cantidad, es para el abastecimiento del municipio de Rivert y para su ganadería y para el riego de una pequeña extensión de cultivos. La mayor parte del agua fluye hacia el embalse de Sant Antoni a través del Barranc de Rivert.



(A)



**Figura 28.** A) Corte hidrogeològico. B) Diferentes fotografías de la Font de Rivert.

## PARADA 7 (opcional). CONGOST DE TERRADETS Y FORAT DE L'OR

Aunque ésta parada ya se realizó en el Hidrogeodia 2022, dada la espectacularidad del lugar, opcionalmente se podrá parar en el aparcamiento cercano a la surgencia donde se observará el Forat de l'Or que drena el acuífero cárstico del Cretácico Superior, pero en el dominio Montsec.

### EL CONGOST

La figura 29 muestra el perfil geológico subyacente a los materiales de Conca de Tremp-Isona (dominio Montsec de la figura 4). Este perfil sigue aproximadamente el trazado del Congost de Terradets formado por el río Noguera Pallaresa que atraviesa el Montsec.

Se puede observar el contacto entre las margas de base (impermeables) y las calizas campanienses del Cretácico superior (ambos niveles representados como Cs en el perfil de la Figura 29).

### EL FORAT DE L'OR

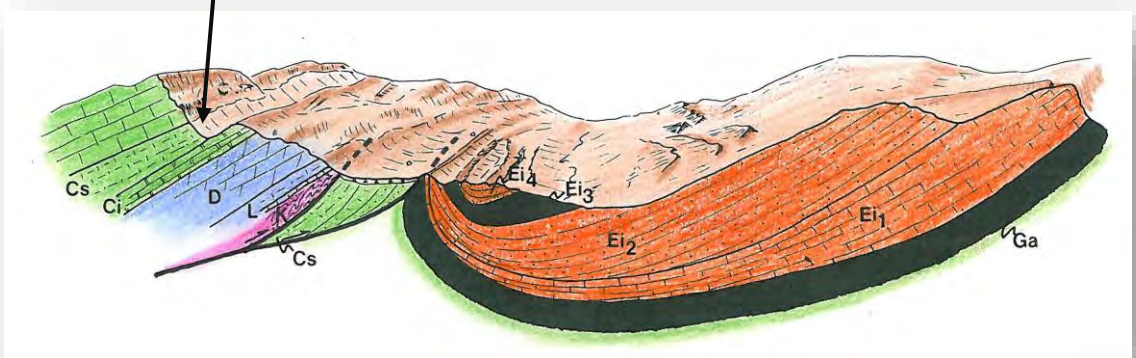
El Forat de l'Or se encuentra situado en el Congost de Terradets esculpido por la Noguera Pallaresa al atravesar el Montsec. Delante del puente del antiguo camino que conducía a Tremp (figura 29) se abren, a pie de la carretera actual, dos bocas de entrada al sistema cárstico del Forat de l'Or que se comunican a los 35 m de adentrarse en el macizo carbonatado. La entrada inferior, a escasos metros por debajo de la entrada superior, actúa como un "trop-plein" en los periodos de máxima descarga del sistema. La cueva se desarrolla a lo largo del plano de estratificación del conjunto de

materiales formados por las calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense (Cretácico superior) que presentan un buzamiento de unos 30° hacia el norte, motivo por el cual la base de la galería de entrada presenta cierta inclinación hacia el norte (figura 29). Durante los periodos de baja descarga, el recorrido aéreo en la cueva se puede realizar hasta los 200 m de profundidad, pero desde este punto se empiezan a encontrar galerías inundadas. El grupo de Espeleología de Badalona ha explorado el resto de las galerías, la mayor parte inundadas, pero con diversos sectores aéreos intercalados. La exploración total del Forat de l'Or llega, hoy en día, a los 2200 m de recorrido con un desnivel de 93 m.

El acuífero que drena el Forat de l'Or es cárstico de grandes y extensas cavidades que se adentran en el macizo carbonatado del Montsec de Rúbies, macizo que presenta una extensión de más de 12 km de recorrido. La recarga del acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia y nieve precipitada a lo largo de toda la sierra. Existen dos puntos más de drenaje del acuífero, situados justo debajo del Forat de l'Or. Estos son drenajes permanentes, aunque en periodos prolongados de falta de lluvias dejan de funcionar. El incremento de la conductividad de las aguas de la Noguera Pallaresa observada aguas abajo del Forat de l'Or, en periodos no funcionales de este drenaje, hace pensar en la existencia de una descarga continua del acuífero cárstico directamente al cauce de la Noguera Pallaresa.

La respuesta del Forat de l'Or a las precipitaciones sobre el Montsec de Rúbies es muy rápida. Por ejemplo,

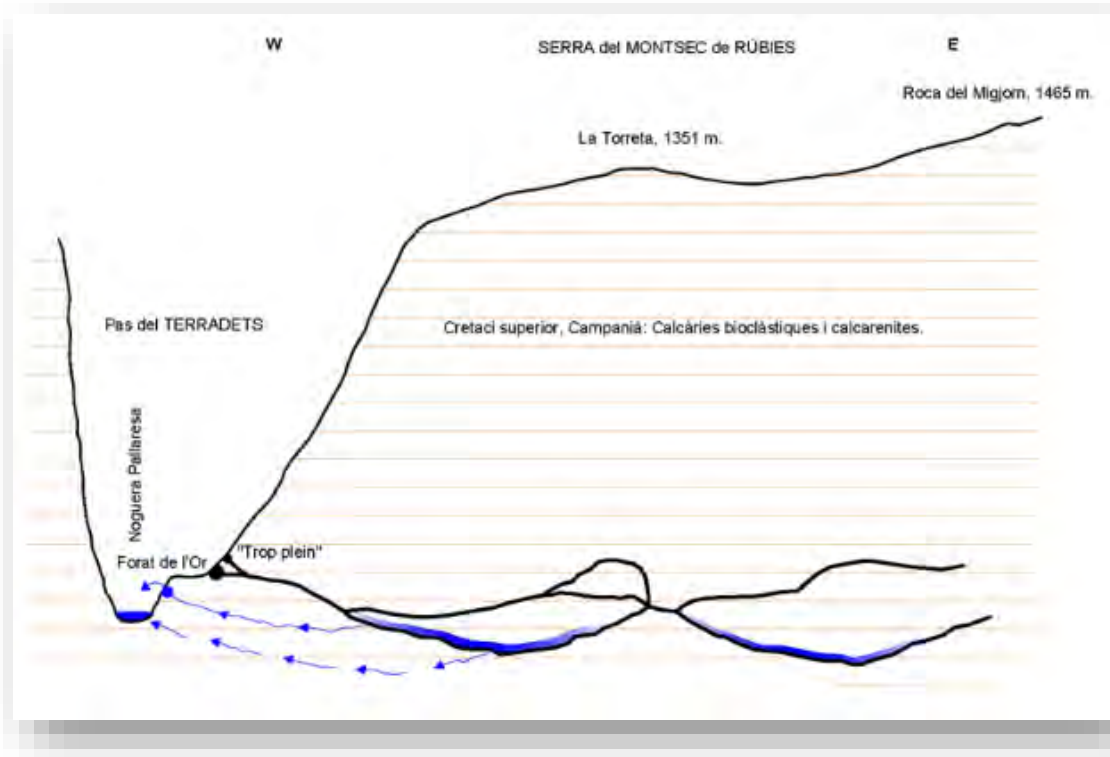




**Figura 29.** Perfil geológico del Congost de Terradets y Vall d'Ager, y fotografía de detalle de la Parada 6. De más antiguos a más modernos, los materiales geológicos representados son: L: Calizas del Jurásico inferior (Lías), debajo se representan en morado los yesos del Keuper. D: Dolomías del Jurásico medio (Dogger). Ci: Margocalizas del Cretácico inferior. Cs: Margas del Cretácico superior, y coronando la serie, calizas discordantes del Cretácico superior (Campaniense). Ga: Margas del Garumniense (son las mismas de la Conca de Tremp-Isona). Ei1: Calizas con alveolinas del Eoceno inferior (Ilerdiense)(equivalente a las calizas de la Serra de Campanetes en la Conca de Tremp-Isona). Ei2: Areniscas del Eoceno inferior. Ei3: Pelitas del Eoceno inferior. Ei4: Areniscas del Eoceno inferior. Perfil adaptado de Rosell y Llompart (1988).

durante las excepcionales precipitaciones del día 22 de octubre de 2019 (en algunos observatorios de la zona se registraron precipitaciones de un periodo de retorno de 500 años), estas se reflejaron en el Forat en menos de 24 horas con un caudal excepcional (muy difícil de medir a causa de la topografía abrupta de la salida de la surgencia), cuando justo antes de las mencionadas precipitaciones no presentaba drenaje. A los cinco días de este episodio de precipitación el Forat de l'Or dejó de drenar. La conductividad de las aguas drenadas por el Forat durante estas fechas (medida por los autores el 23 de octubre de 2019) era de 440 microS/cm, lo que indica que estas aguas no provienen directamente de la infiltración de las precipitaciones más próximas en el tiempo (22 de octubre de 2019), ya que se requiere un cierto periodo de tiempo para alcanzar esta conductividad, sino que son aguas que estaban retenidas rellenando los diferentes sifones descubiertos y explorados por diversas expediciones espeleológicas (figura 30). Por lo tanto, la entrada de agua de infiltración al acuífero cárstico desarrollado en las calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense se produce a cierta distancia del Forat de l'Or y, en periodos de caudales importantes, se moviliza el agua estancada en los diferentes conductos existentes antes de la surgencia.





**Figura 30.** A/ Corte hidrogeològic de las calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense (Cretácico superior). B/ Fotografías del Forat de l'Or en situación de funcionalidad. La fotografía de la izquierda muestra las surgencias inferiores casi permanentes.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la iniciativa del Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos por la creación y mantenimiento del HIDROGEODIA y por su soporte económico sin el cual se haría difícil su celebración. Igualmente agradecemos al Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitaria de la Universitat de Lleida por su ayuda económica, al Departament de Mediambient, Ciències del Sól i Química i a la Biblioteca de la Escuela Tècnica Superior d'Enginyeria Agraria i Veterinaria también de la Universitat de Lleida, por su cobertura organizativa.

Agradecemos también al Geoparc Origenes de la UNESCO por su soporte científico durante la excursión y a los Ajuntaments de Conca de Dalt y de Baix Pallars por su colaboración y finalmente queremos agradecer la colaboración del MNACTEC (Museo de Gerri de la Sal) por sus explicaciones en campo.

## REFERENCIAS

- Agard, Ph., Lemoine, M. (2003). Visages des Alpes : Structure et évolution géodynamique. Ed. CCGM, Paris.
- Ardèvol, Ll., Farran, J., Garcia – Senz, J., Maestro, E. i Vicens, E. (2005). *Meravelles geològiques del Pallars Sobirà*. Consell Comarcal del Pallars Sobirà. Arola Editors. Sort (Ileida). 279 pp.
- Balasch, C., Rajadell, A., Bellmunt, A., Balasch, J. (1984). L'aquífer càrstic de Font Bordonera. Aproximació a un carst prepirenaic de mitja muntanya. Organyà (Alt Urgell). Grallera. Centre Excursionista de Lleida. Num. 1, 32-44.
- Cardona-Oliván, F. (1989). Gran cavitats de Catalunya. Espeleoclub de Gràcia. Federació Catalana d'Espeleologia. V. 1. La serralada pirenaica. 484 pp Barcelona.
- Custodio, E., Llamas, M. R. (1983). Hidrología Subterránea. Vol. I y II. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 2359 pp.
- FCIHS. (2009). Hidrogeología. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. 768 pp.
- Garcia Senz. J. (2002). Cuencas extensivas del Cretácico inferior en los Pirineos centrales, formación y subsecuente inversion. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. 310 pp.
- Gutierrez, F., Linares, R., Roqué, C., Zarroca, M., Rosell, J., Galve, J.P., Carbonel, D. (2012). Investigating gravitational grabens related to lateral spreading and evaporite dissolution subsidence by means of detailed mapping, trenching, and electrical resistivity tomography (Spanish Pyrenees). Lithosphere. V. 4, No. 4, p. 331-353. USA.



IGCC (2010). *Atles Geològic de Catalunya*. Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 463 pp.

Martinez, A., Tudela, M. (2013). *Els tresors geològics del Parc Natural del Cadí-Moixeró. Pedraforca-Comabona-Fonts del Llobregat*. Ed. Itineraris Geològics. 104 pp.

Ledesma Rubio, F. (2005). *Paleogeomorfologia de la Península Ibèrica, y los primeros pobladores*.

Molnar, P. (1984). *Structure and tectonics of the Himalaya: Constrains and implications of geophysical data*. Annual Reviews Earth Planet. Sci. V.12, p. 489-518.

Pascual, J.M. (1991). *Hidrogeologia bàsica del Pallars Jussà i de l'extrem nord-occidental de la Noguera. Estimació preliminar dels recursos hídrics subterrànies*. Ilerda "Ciències" V.49, p. 233-251.

Pascual, J.M. (1992). *Hidrogeologia bàsica de las sierras marginales prepirenaicas de la provincia de Lleida*. V Simposio de Hidrogeologia. Alicante. T. XV, p.115-129.

Pascual, J.M. (1993). *Plec de prescripcions tècniques per a la construcció d'un sondeig experimental per a l'abastament de Sant Martí de*

*Canals*. Junta d'Aigües. Generalitat de Catalunya.

Pascual, J.M. (1994). *Plec de prescripcions tècniques per a la construcció d'un sondeig experimental per a l'abastament a Coll de Nargó*. Junta d'Aigües. Generalitat de Catalunya.

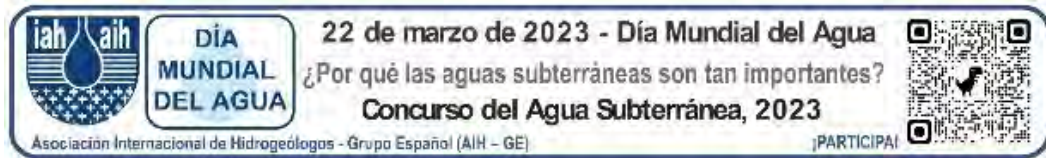
Pascual, J.M., Freixes, A., Màsich, J.M., Balasch, J.C., Monterde, M. Ramoneda, J., Remacha, R. (1996). *Los acuíferos carbonatados en el Pirineo de Lleida (Pirineo occidental de Catalunya)*. Jornadas sobre recursos hídricos en regiones kàrsticas. Vitoria. p. 127-144.

Pascual, J. M., Masich, J. M., Lopez, J. A. (2021). *Els camins subterranis de les aigües del Prepirineu central de Lleida, entre la Noguera Ribagorçana i el Segre*. Medi Ambient i Ciències del Sòl. Miscel·lània homenatge a Jaume Porta, p. 230 – 250. Institut d'Estudis Ilerdencs, Diputació de Lleida, Universitat de Lleida.

San Román, J., Màsich, J.M., Pascual, J.M. (1996). *Hidrogeología de las sierras exteriores surpirenaicas: cuenca de Tremp-Graus (Lleida y Huesca)*. Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Jucar e Internas de Catalunya y su papel en la Planificación Hidrológica, Asociación Internacional de Hidrogeólogos. G.E., p. 453-468.

Rosell, J. Llompart, C. (1988). Guia geològica del Montsec i de la Vall d'Àger. Centre Excursionista de Catalunya. Ed. Montblanc-Martín. Barcelona. 168 pp.

Rosell, J. (2014). Gestació i naixement de la Serra del Montsec. Garsineu Edicions. Tremp. 146 pp.



**Universitat de Lleida**  
Vicerectorat de Cultura  
i Extensió Universitària



Universitat de Lleida  
Departament de Medi Ambient  
i Ciències del Sòl



**Museu  
de Gerri de la Sal**  
MNACTEC

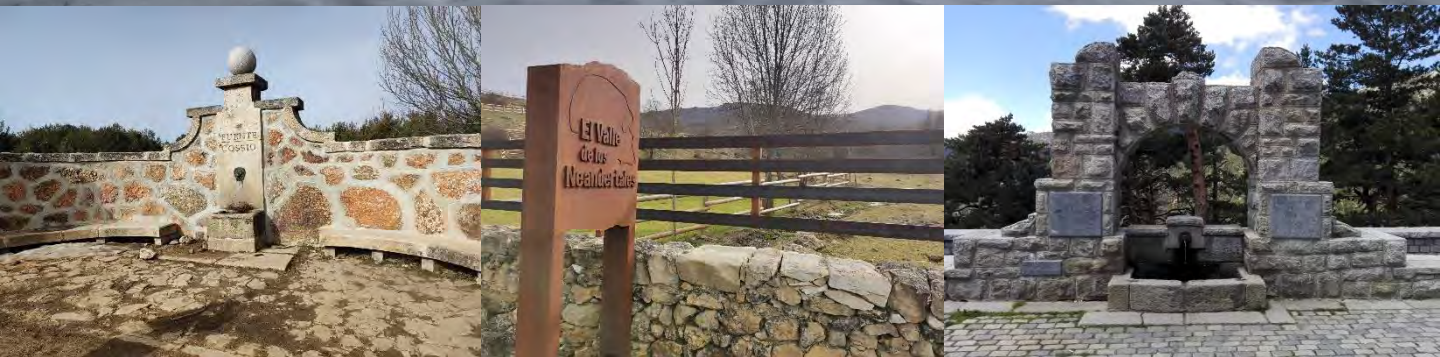


# Un paseo hidrogeológico por el Valle Alto del Lozoya:

## *Las aguas subterráneas que esconde el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*



**25 de marzo de 2023**



### EXCURSIÓN GRATUITA

Plazas limitadas

Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo,  
agua y comida.

### IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA

e-mail de contacto: [a.delalosa@igme.es](mailto:a.delalosa@igme.es)

Información detallada y folleto de la excursión en: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023/>

### PUNTO DE ENCUENTRO: IGME

C/ Ríos Rosas 23, 28003 - Madrid

 Metro: Ríos Rosas (línea 1)

Hora de encuentro: 8.15

Hora de salida: 8.30

Hora de llegada (estimada): 15.00



# Un paseo hidrogeológico por el Valle Alto del Lozoya:

## Las aguas subterráneas que esconde el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama



**25 de marzo de 2023**



**Fuente Cossío - Dolomías del Calvero de la Higuera - Fuente de los Geólogos**



## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología, ciencia que estudia las aguas subterráneas analizando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como su interacción con el medio físico (materiales geológicos que atraviesan y donde se almacenan), biológico y humano. Se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua (22 de marzo)**.

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público general**.

El **objetivo de esta sexta edición del Hidrogeodía** en Madrid es conocer los tipos de acuíferos y las aguas subterráneas de la Sierra de Guadarrama, visitando la zona del Valle Alto del Lozoya y realizando cuatro paradas temáticas:

- 1) **Fuente Cossío, geología del entorno y acuíferos fracturados.**
- 2) **Borreguil de la cabecera del arroyo del Aguilón y acuíferos detríticos superficiales vinculados a zonas húmedas.**
- 3) **El Calvero de la Higuera (Pinilla del Valle) y los acuíferos carbonáticos.**
- 4) **Fuente de los Geólogos y acuíferos coluviales de ladera.**



Figura 1. Hidrogeodía 2022 Madrid (Embalse del Atazar).

## ITINERARIO

A continuación, se muestra un esquema y un mapa del recorrido y de las paradas que vamos a realizar.



Figura 2. Itinerario del Hidrogeodía 2023 – Madrid.



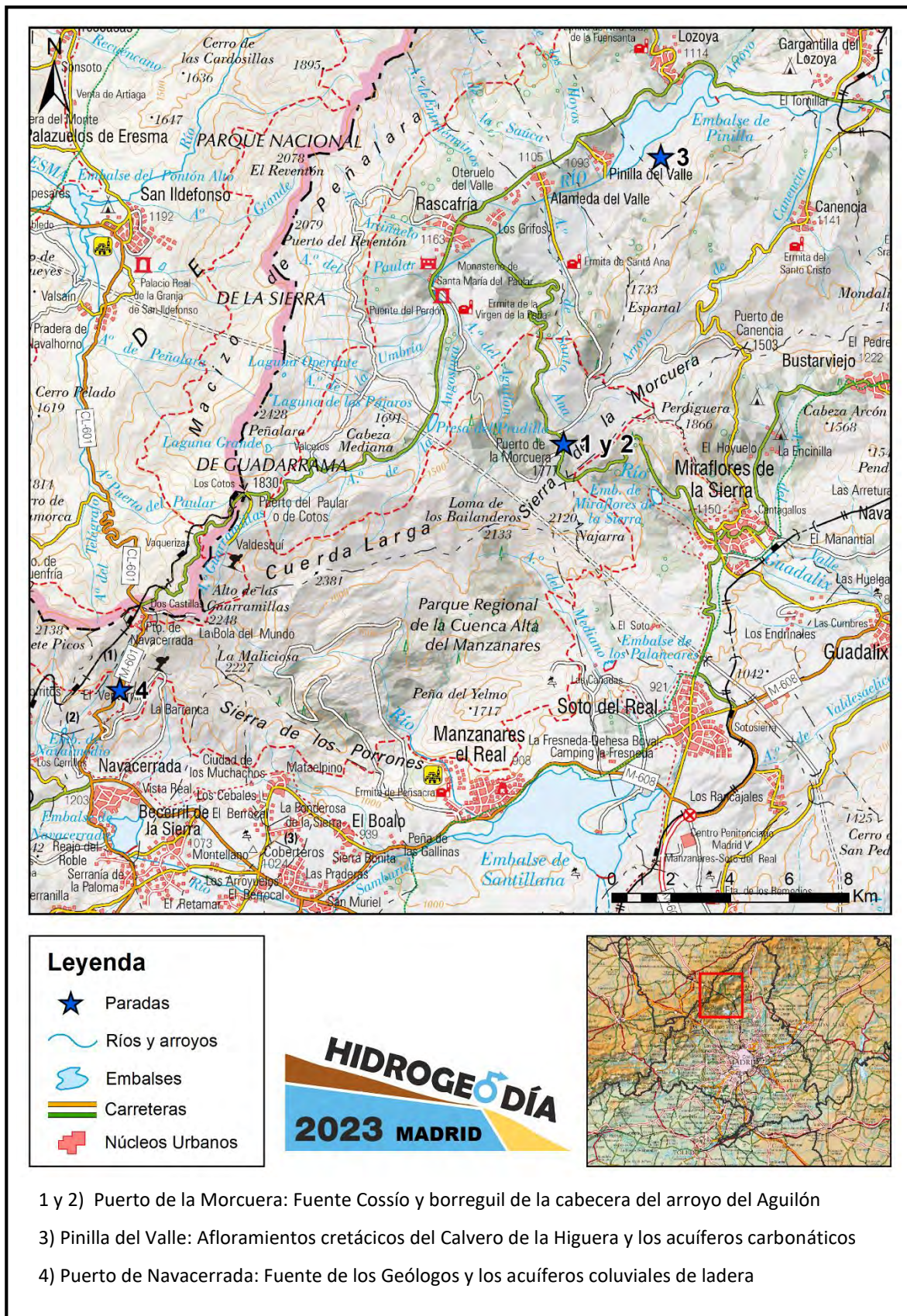


Figura 3. Mapa de localización con las paradas del Hidrogeodía 2023 – Madrid.



## ANTECEDENTES

La zona a visitar ocupa el Valle Alto del Lozoya y se ubica al noroeste de la Comunidad Autónoma de Madrid, en el interior de la Sierra de Guadarrama, dentro del sector nororiental del Sistema Central español.

Está delimitada al NO y SE por las dos cadenas montañosas más altas de esta sierra: la alineación de los Montes Carpetanos, con el pico de Peñalara (2.428 m s.n.m.) como máxima cumbre de la Sierra de Guadarrama, y la alineación de Cuerda Larga, cuya cota máxima es Cabeza de Hierro Mayor (2.381 m s.n.m.)

El Valle Alto del Lozoya comprende una extensión aproximada de 250 km<sup>2</sup> y está considerada como una de las áreas con mayor interés ecológico de la Comunidad de Madrid.

Gran parte de su territorio está incluido en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, declarado en el año 2013 y forma parte de la Red Natura 2000: Zona de Especial Conservación (ZEC) “Cuenca del río Lozoya y Sierra Norte”.

El valle se abre hacia el NE, dando lugar al río Lozoya, principal curso de agua que atraviesa la zona, con dirección SO-NE. El punto más bajo corresponde al embalse de Pinilla (1.100 m s.n.m.), colector de la cuenca hidrográfica que constituye el área y que tiene como función prioritaria el abastecimiento de agua a la Comunidad de Madrid, y como secundaria el aprovechamiento hidroeléctrico de sus desembalses a través de una central eléctrica.

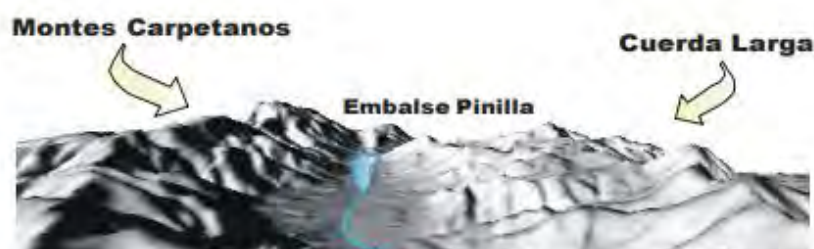


Figura 4. Localización del Valle Alto del Lozoya (De la Losa, 2002).



## ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL ENTORNO DE LA SIERRA DE GUADARRAMA Y DEL VALLE DEL LOZOYA

El propósito de este apartado es servir de base geológica al itinerario hidrogeológico que realizaremos por el sector oriental de la Sierra de Guadarrama. Reconoceremos los materiales aflorantes del **Paleozoico** y **Cretácico Superior** marino, así como los del Cenozoico, tanto del **Paleógeno** y **Neógeno** continentales, junto con los más recientes del **Cuaternario**, que se pueden observar tanto en los valles del interior como en las zonas altas, y analizaremos la relación de todos ellos con las aguas superficiales y subterráneas.

En el sector central de la Península Ibérica se localiza el Sistema Central, del que forma parte la Sierra de Guadarrama y que delimita, en parte, la divisoria de aguas entre las cuencas del Duero y Tajo. Esta última es también es conocida como Cuenca de Madrid. Esta cadena montañosa está constituida principalmente por rocas paleozoicas deformadas por la **Orogenia Varisca** y en las que, tanto en sus bordes como en su zona central, se apoya una potente serie sedimentaria de materiales mesozoicos y paleógenos plegados posteriormente por la **Orogenia Alpina** y a veces cubiertos por los depósitos neógenos que configuran las citadas cuencas limítrofes.

Las rocas más antiguas que conforman el Sistema Central, y en particular las de la Sierra de Guadarrama, son rocas metamórficas de origen sedimentario tales como esquistos, paragneises, metaareniscas, cuarcitas y mármoles (metasedimentos) del **Neoproterozoico superior-Cámbrico inferior**, cuya edad supera los

520 M.a. desde su formación original como sedimentos en el fondo de un mar.

Junto a estos materiales aparece asociado un importante volumen de rocas ígneas prevariscas, originalmente antiguos granitos y/o rocas volcánicas fuertemente metamorizadas, que se transformaron en ortogneises glandulares, como, por ejemplo, los del puerto de La Morcuera.

En concreto, el sector central y oriental de la Sierra de Guadarrama, paraje por donde transcurre la excursión, está formado principalmente por un importante cuerpo de esos ortogneises glandulares que se pueden atribuir al **Cámbrico superior-Ordovícico inferior** (500-475 M.a.).

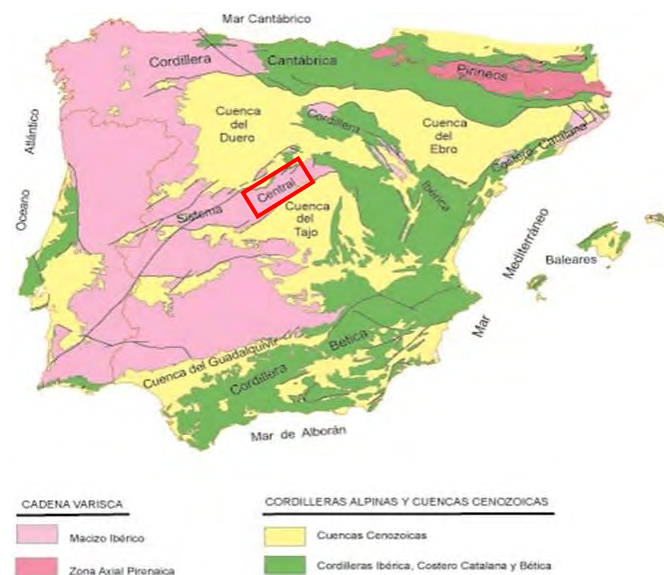


Figura 5. Esquema de las grandes unidades geológicas de la Península Ibérica. La zona a visitar está marcada en el rectángulo rojo.

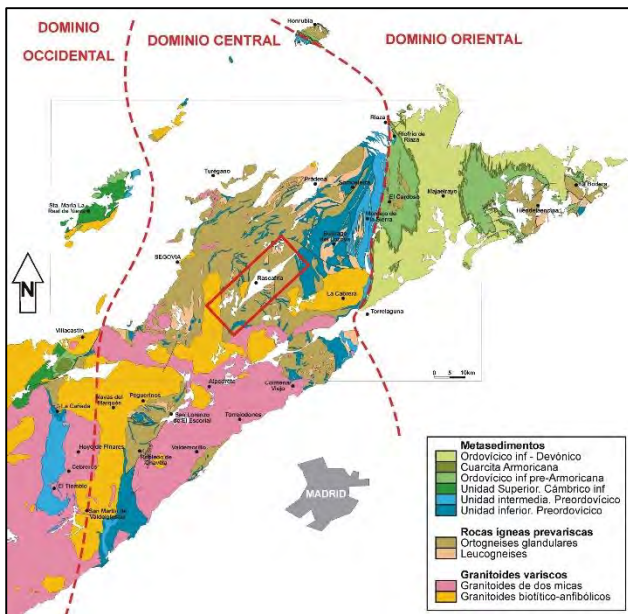


Figura 6. Esquema geológico del Paleozoico del Sistema Central con la localización del área a visitar (Rubio, 2012).

Todo este conjunto de materiales rocosos se encuentra afectados por la **Orogenia Varisca**, antes conocida como Hercínica. Durante esta orogenia todos esos materiales fueron sometidos a varias fases o etapas de deformación y de metamorfismo en condiciones de alta temperatura y baja presión, generándose grandes estructuras y pliegues apretados con una esquistosidad asociada bien desarrollada (Escuder Viruete et al., 2004).

A finales de esta orogenia, en el **Carbonífero superior**, en torno a los 290-300 M.a., intruyeron nuevamente diferentes cuerpos graníticos en la Sierra de Guadarrama. En general corresponden a rocas de tipo monzogranitos y granitos muy variables que se pueden sintetizar en dos grandes grupos, según su composición, texturas y tamaño de grano: granitos de grano grueso, a veces porfídicos, que forman grandes masas y que suelen dar importantes relieves y paisajes característicos, como son los de La Pedriza o los de Siete Picos y leucogranitos de grano fino a grueso que dan lugar a relieves destaca-

dos por su resistencia a la erosión como, por ejemplo, los de La Cabrera.

Sobre esos materiales paleozoicos (pizarras, cuarcitas, gneises y granitos), en el sector central de la Sierra de Guadarrama, bien en el valle del Lozoya o en los bordes de la cadena, se dispone un conjunto relativamente potente de sedimentos mesozoicos y paleógenos que se soterran bajo los rellenos neógenos de las cuencas del Duero y Tajo. La presencia de los primeros depósitos es debida a que las montañas formadas durante la **Orogenia Varisca** se fueron erosionando a lo largo del Mesozoico durante más de 200 millones de años, hasta que, en el **Cretácico Superior**, hace unos 95 M.a., la zona central de la Península Ibérica quedó más o menos peneplanizada y buena parte de ella volvió a quedar cubierta por el mar. De esta forma, durante el transcurso de varios millones de años y casi hasta finales de esos tiempos mesozoicos se sedimentaron arenas, margas, calizas y dolomías en las costas y mares tropicales que entonces existían.



Figura 7. Durante el Cretácico el paisaje en la Sierra de Guadarrama era muy diferente del actual.



Las sucesiones cretácicas representan la terminación hacia el margen costero del Macizo Ibérico de las plataformas marinas carbonatadas que se desarrollaron en la Cuenca ibérica (Gil y García, 1996; Gil et al., 2004).

Su extensión y distribución actual es el resultado de las directrices alpinas del Sistema Central, de los procesos erosivos que afectaron a esta cobertura durante su plegamiento y del relleno cenozoico postorogénico de las cuencas.

Los sedimentos carbonatados que se depositaron en el fondo del mar cretácico y tras la retirada de este, ya en el Cenozoico, concretamente durante el Paleógeno, fueron plegados y fracturados como consecuencia de la **Orogenia Alpina** al levantarse lo que actualmente es el Sistema Central, movimientos que finalizaron a principios del Mioceno, hace unos 20 M.a. La consecuencia fue la creación de una serie de bloques levantados (p.e. Cuerda Larga y Montes Carpetanos) y otros hundidos (p.e. el valle del Lozoya) y de una serie de cuencas continentales como las del Duero y Tajo.

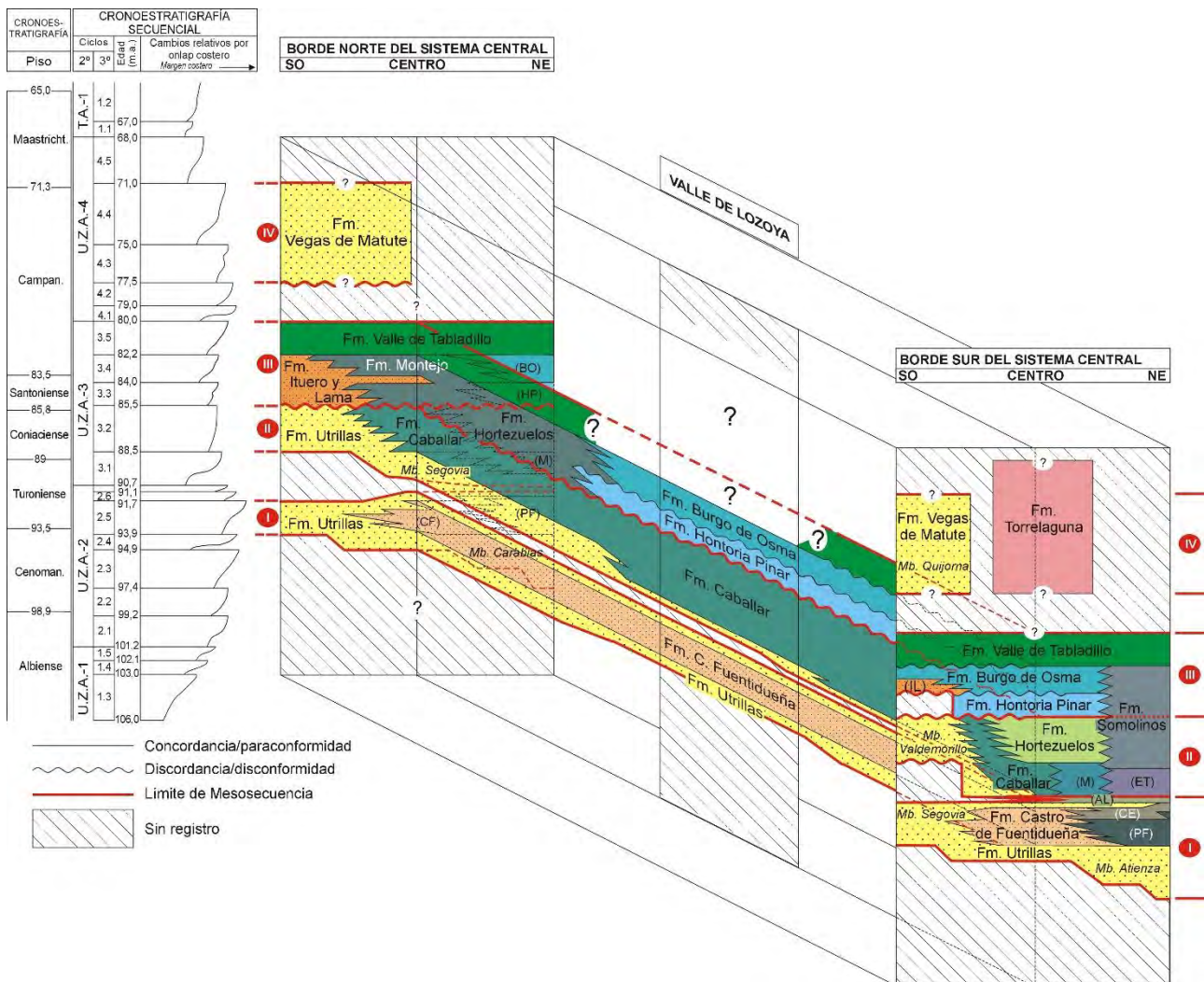


Figura 8. Correlación de las unidades cretácicas aflorantes en el Sistema Central (Gil et al., 2010).

Los materiales cretácicos junto con los ígneos y metamórficos paleozoicos, constituyen hoy día una marcada alineación estructural de dirección SO-NE que separa cartográfica y estratigráficamente esta cadena de los depósitos cenozoicos de las cuencas limítrofes y en particular con los de la Cuenca de Madrid.

Los materiales del **Paleógeno** aflorantes se encuentran plegados y discordantes sobre los cretácicos, como una banda asociada que conforma parte de los relieves de los bordes de la sierra y del valle del Lozoya, como se puede observar en las proximidades de Rascafría o de Guadalix de la Sierra, quedando a veces ocultos bajo los sedimentos neógenos más modernos.

Litológicamente son rocas sedimentarias detríticas o detrítico-carbonatadas continentales tipo conglomerados, areniscas, arcillas rojas y en ocasiones calizas. La naturaleza y composición de los sedimentos, ponen en evidencia en muchos casos el área que se estaba levantando, así como la naturaleza de la misma.

En general están relacionados con la evolución y el desmantelamiento parcial de los relieves circundantes creados, teniendo un marcado carácter pre y sinorogénico.

En el **Neógeno**, concretamente durante el Mioceno los depósitos que rellenan las cuencas del Duero y Tajo o de Madrid, tienen un carácter postorogénico y se disponen a veces en contacto bien por falla o discordantes sobre los materiales cretácicos y/o paleógenos o bien directamente sobre el zócalo varisco (granitos y gneises). En el área visitada y zonas limítrofes, estos depósitos son continentales de origen aluvial y/o fluvial y presentan una gran monotonía en cuanto a su composición litológica: arenas arcósicas y conglomerados de tonalidades claras, reconocibles desde la sierra hasta el mismo Madrid.

A comienzos del **Cuaternario**, aproximadamente hace unos 2 millones de años, tuvo lugar un progresivo drenaje, cada vez mayor, de la red fluvial de la zona central de la Península Ibérica hacia el oeste, es decir hacia el Océano Atlántico, de tal forma que las

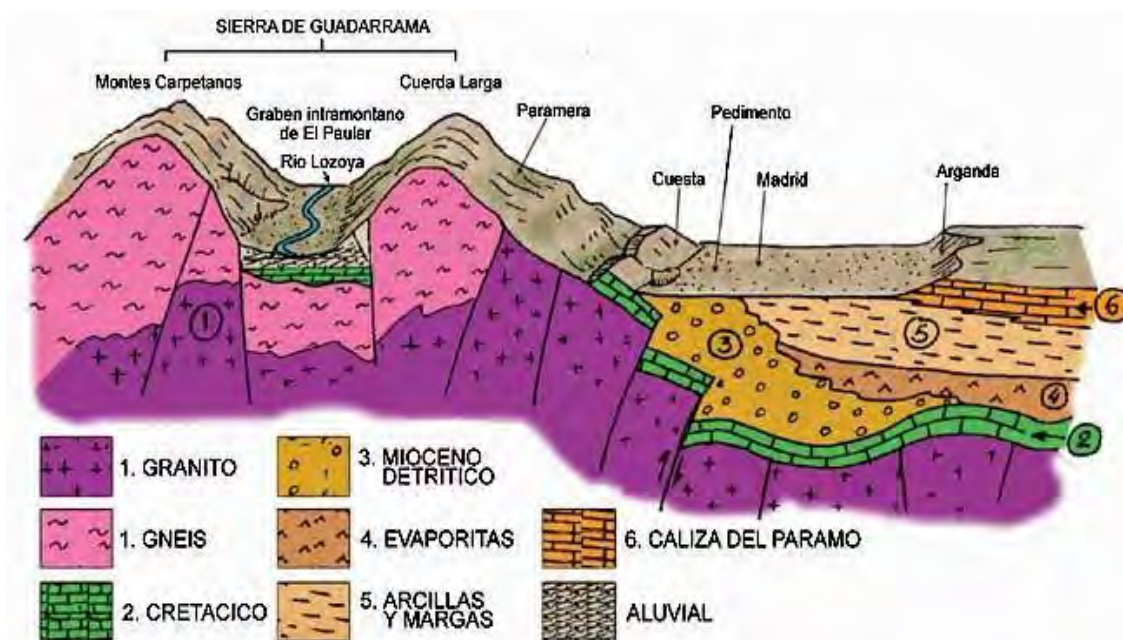


Figura 9. Bloque diagrama esquemático del sector oriental de la Sierra de Guadarrama y de la Cuenca de Madrid. Fuente: [www.platea.pntic.mec.es/](http://www.platea.pntic.mec.es/)



cuenas continentales endorreicas cenozoicas del interior de la península como las del Duero y Tajo, comenzaron a 'vaciar' hacia el oeste (cuenca exorreica), estableciéndose así el inicio de las cuencas hidrográficas y de la red de drenaje actual, así como de parte del paisaje que ahora vemos.

Asociado a la red fluvial y a su proceso de encajamiento, se desarrollan las terrazas, depósitos de interés hidrogeológico, formadas por sedimentos de tipo gravas y arenas, a veces con limos y arcillas en las zonas más bajas, correspondientes a las llanuras de inundación de los cauces. Por otro lado, también son de destacar los depósitos de ladera, muchos de ellos observables en las zonas altas siendo de origen glaciar y periglaciar como se reconocen en la Sierra de Guadarrama (morrenas, canchales y coluviones) en el entorno de las líneas de cumbres y que también contribuyen al modelado y construcción del paisaje observable.

Desde el punto de vista estructural, los materiales aflorantes en esta cadena se pueden agrupar en tres grandes conjuntos: un zócalo varisco, una cobertera alpina mesozoica y los depósitos cenozoicos que rellenan las cuencas.



Figura 10. Vista del Macizo de Peñalara desde el puerto de la Morcuera.

Los sedimentos mesozoicos, aunque ausentes en el sector occidental, constituyen un delgado tegumento que aumenta progresivamente su potencia hacia el este, hasta el enlace con la Cordillera Ibérica.

El Sistema Central y en particular la Sierra de Guadarrama, presenta una estructura general en *pop-up*. Los bordes de la cadena aparecen delimitados por fallas inversas con importante salto que se ponen en contacto con los sedimentos mesozoicos o con los cenozoicos de las cuencas del Duero y Tajo que conforman los *pop-down* o zonas hundidas o más deprimidas como las depresiones internas de Guadalix o del valle del Lozoya.



Figura 11. Corte geológico esquemático del Sistema Central, mostrando la estructura interna de la corteza terrestre. La zona a visitar está marcada en el rectángulo rojo (De Vicente et al., 1996 y Andeweg et al., 1999).

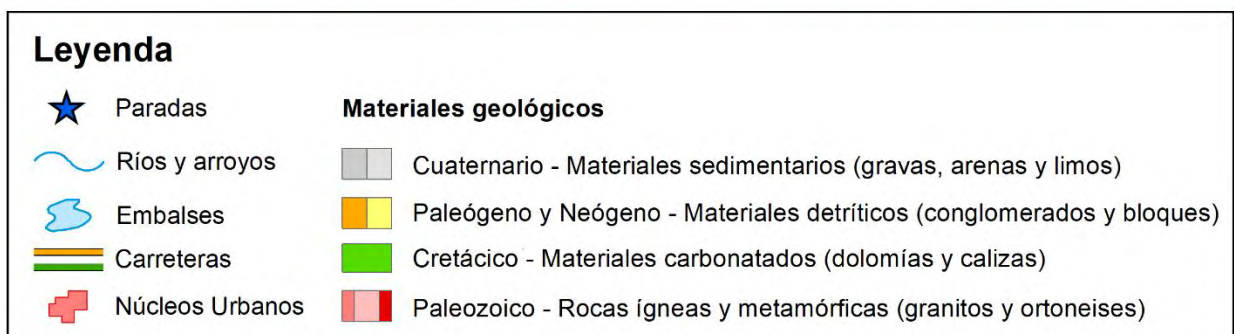
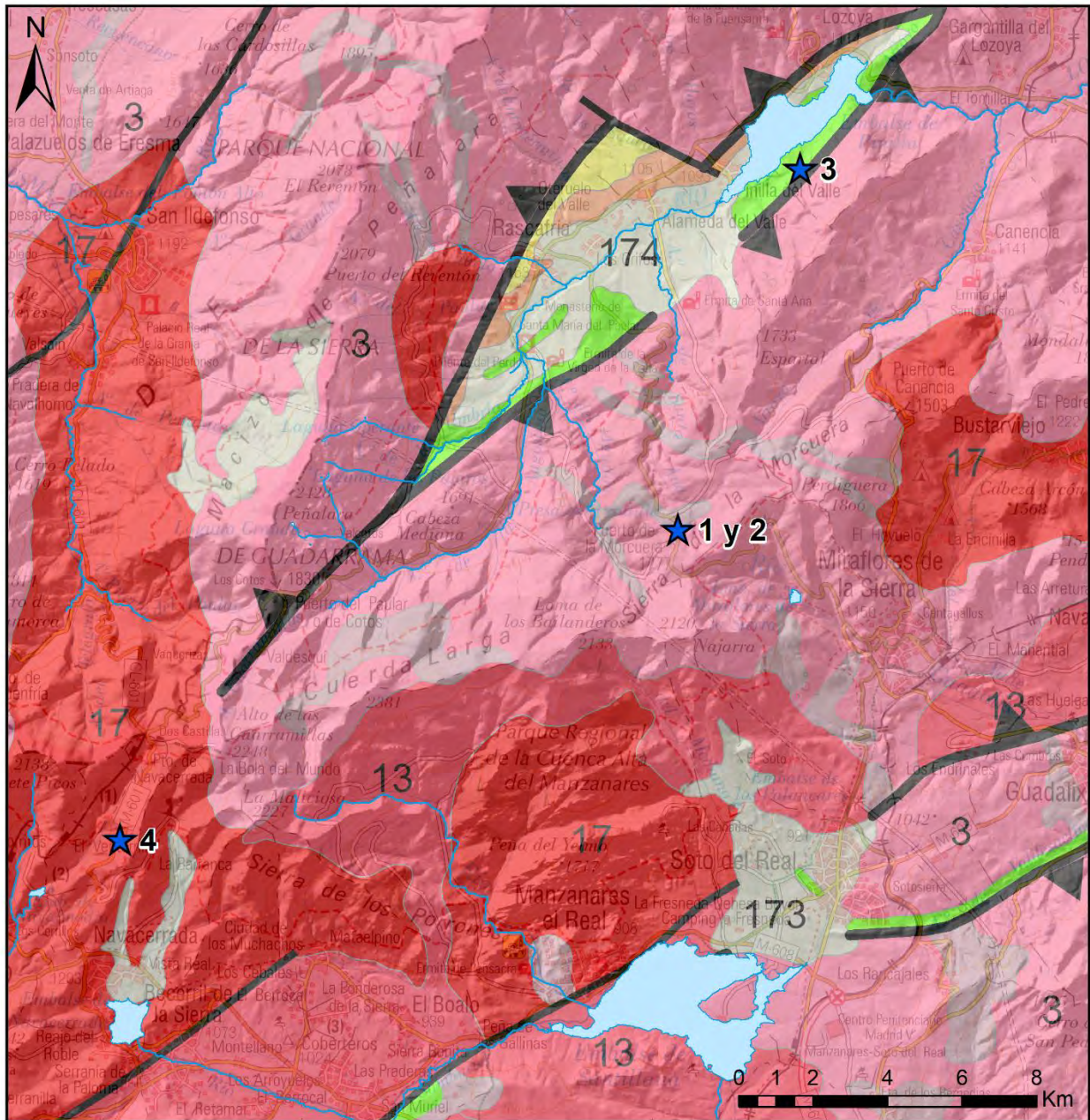


Figura 12. Mapa de geológico simplificado con las paradas del Hidrogeodía 2023 – Madrid.



## ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DE LA SIERRA DE GUADARRAMA

### Tipos de acuíferos de la Sierra de Guadarrama

El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama presenta un entorno hidrogeológico singular, estando representados, dentro de su territorio, varias tipologías acuíferas en función de su litología y su comportamiento hidráulico. No obstante, en síntesis, los acuíferos de la Sierra de Guadarrama pueden agruparse en tres grandes tipos:

- **Acuíferos fisurados o acuíferos en rocas duras.** Conocidos también habitualmente por su nombre en inglés, acuíferos en “*hard rocks*”. Se desarrollan en litologías duras, cristalinas, de origen metamórfico y plutónico, como son los gneises y granitos que ocupan la mayor parte de esta sierra y que visitaremos en la parada 1. Éstos acuíferos se caracterizan por presentar una enorme heterogeneidad en cuanto a sus valores de permeabilidad. Aunque las rocas cristalinas poseen una cierta porosidad, en general se consideran medios de baja permeabilidad donde el principal mecanismo del movimiento hídrico es la circulación de las aguas subterráneas a través de la red de fracturas de macizo rocoso y de las zonas de alteración superficial del mismo. En superficie la permeabilidad se halla notablemente incrementada por la alteración de la masa rocosa, como sucede por ejemplo en los materiales de alteración denominados lehm graníticos. De este modo, la superficie piezométrica no suele ser continua y los caudales de los pozos y manantiales suelen ser pequeños, inferiores a 1 l/s, frecuentemente del orden de 0,1 l/s y a grandes rasgos la

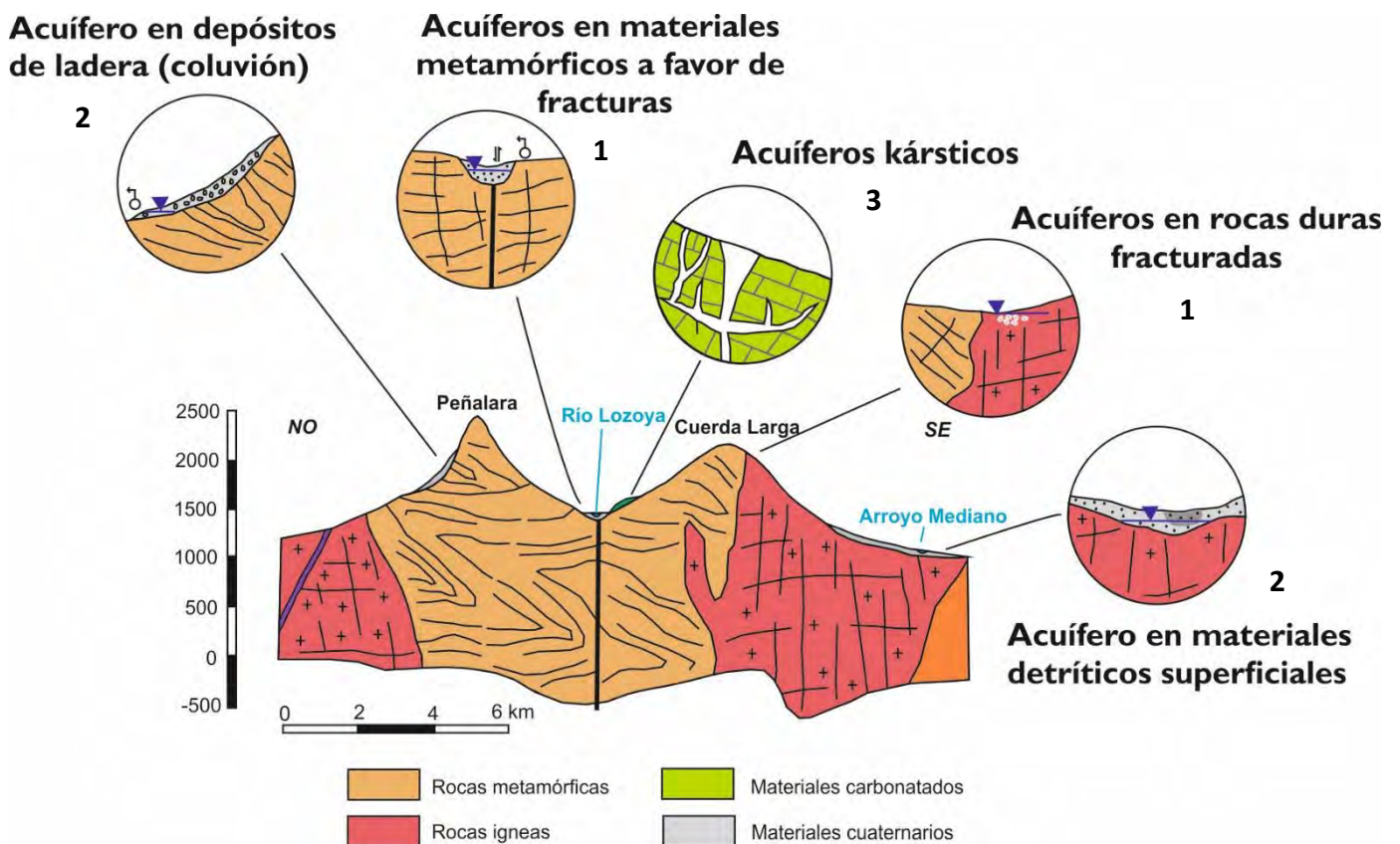
circulación del agua subterráneas no va más allá de la decena de metros de profundidad, salvo ciertos casos de circulación profunda asociada a grandes fracturas. Por lo que dentro de esta tipología podríamos distinguir los acuíferos someros de los de flujo profundo.

- **Acuíferos detríticos.** Engloban todas aquellas formaciones recientes asociadas a fenómenos periglaciares y glaciares, formadas litológicamente por cantos angulosos, arenas y arcillas, en distinta proporción, que constituyen los depósitos de ladera o coluviones (canchales y pedreras originados por la acción de los ciclos de hielo/deshielo) que veremos en las paradas 2 y 4; y las morrenas, acumulaciones de bloques resultado del arrastre del avance de los pequeños glaciares que hubo en las zonas altas de la Sierra de Guadarrama. También se incluyen en este grupo los depósitos y las terrazas fluviales que se encuentran a menor cota topográfica asociados, sobre todo, al tramo llano del Valle Alto del Lozoya. En general se caracterizan por presentar escasa extensión y espesor, son acuíferos libres, con porosidad intergranular (primaria). Su recarga se realiza por infiltración de la lluvia y fusión de la nieve en cotas altas y la descarga suele ser a través de pequeños manantiales que se producen en el contacto de la formación detrítica con la roca madre (el substrato granítico o metamórfico inalterado). En el caso de los depósitos fluviales suelen estar en contacto hidráulico con el cauce del río que los origina, de manera que será su punto de descarga o recarga natural del acuífero.
- **Acuíferos carbonáticos.** Son los que menor extensión tienen en la zona, aparecen únicamente en la fosa del alto

Lozoya, dando lugar a un acuífero libre y kárstico, formado litológicamente por calizas y dolomías (parada 3). Los acuíferos carbonáticos o kársticos son formaciones geológicas constituidas por rocas consolidadas, cuyos poros o fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente de las aguas subterráneas. Las rocas en las que la acción disolvente del agua es capaz de generar un karst son las que presentan cierta solubilidad, como los carbonatos (calizas, dolomías y mármoles) y evaporitas (yesos y sal común). La elevada porosidad de los sedimentos carbonatados, cuando se depositan en las cuencas de sedimentación, queda reducida tras la diagénesis (compactación, cementación) hasta un 5 o 15 % de porosidad total en los casos más favorables. La permeabilidad original (primaria) es también muy baja, por lo que estos materiales se podrían

considerar malos acuíferos. Sin embargo, se producen una serie de procesos secundarios que contribuyen a aumentar de forma notable la porosidad eficaz del material, como son la dolomitización secundaria (en el paso de calcita a dolomita; el  $Mg^{2+}$ , de menor radio iónico, sustituye al  $Ca^{2+}$ , de mayor radio iónico, generando un 13% de porosidad), pero sobre todo, el proceso de fracturación y posteriormente karstificación o creación de porosidad y permeabilidad secundaria con la formación de conductos macroscópicos o secundarios. Los acuíferos carbonáticos son los más productivos y pueden llegar a dar caudales de explotación elevados, del orden de 40 l/s.

Figura 13. Tipologías de acuíferos representados en la Sierra de Guadarrama. 1. Acuíferos fisurados. 2. Acuíferos detríticos. 3. Acuíferos carbonáticos o kársticos (modificado de Mejías et al., 2015).





TIPO DE ROCA		EDAD	Características hidrogeológicas
ROCAS SEDIMENTARIAS	Bloques, cantos y arenas (coluviones) Arenas, limos y cantos (aluvial) Bloques, cantos y gravas. Morrenas Limos, arenas y turberas	H Cuaternario	<ul style="list-style-type: none"> <li>A excepción de los materiales que constituyen el acuífero aluvial del río Lozoya (depósitos aluviales y fondos de valle formados por arenas, limos y cantos), el resto aparecen formando acuíferos libres de escasa entidad, dado el poco espesor que alcanzan.</li> </ul>
	Bloques y cantos (conos de deyección) Cantos y arenas (terrazas)	P	
	Bloques y cantos de granito y gneises Conglomerados de cantos polimícticos y arenas cementadas con carbonatos	N Terc	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constituyen acuíferos de escasa importancia dada su reducida extensión y potencia.</li> </ul>
	Arenas, arcillas y gravas –F. Utrillas Arenas con cement., arcillas y carbon. Dolomías tableadas Areniscas con cemento dolomítico Dolomías y areniscas con cement. Dol.	P Cretácico	
" HARD ROCKS "	Rocas metamórficas Paragneises Mármoles, rocas de silicatos cálcicos y skarn. Ortogneises Leucogneises	Paleozoico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentan escaso interés como acuífero</li> <li>Porosidad primaria muy baja, prácticamente nula</li> <li>Desarrollan porosidad secundaria por alteración y fracturación</li> <li>A grandes profundidades pueden considerarse impermeables</li> </ul>
	Rocas plutónicas Leucogranitos Adamellititas biotíticas Rocas filonianas		
	Rocas detríticas, originadas por meteorización, sobre "hard rocks"		

Figura 14. Características hidrogeológicas de los materiales geológicos presentes en el Valle Alto del Lozoya. P=Paleógeno y N=Neógeno (Terc.=Terciario) y, dentro del Cuaternario, P=Pleistoceno y H=Holoceno (De la Losa, 2002).

Respecto a la recarga de estos materiales se realiza principalmente por infiltración de aguas de lluvia y por la recarga de los arroyos que discurren sobre las calizas. El embalse de Pinilla podría también constituir otra fuente de recarga o descarga, dependiendo de su cota de agua (Yélamos et al., 2019).

Desde el punto de vista de la calidad del agua que contiene cada tipología de acuífero, las aguas subterráneas pueden presentar diferencias notables en cuanto cantidad y tipo de sales disueltas, como se explica a continuación.

### Calidad química de las aguas subterráneas

En el Valle Alto del Lozoya existe una estrecha relación entre facies hidroquímicas (o tipos de aguas) y las litologías sobre las que se localizan los puntos de agua.

Los principales factores que van a condicionar la composición de las aguas subterráneas son la naturaleza y solubilidad de los minerales de las rocas que conforman el acuífero, así

como la superficie y tiempo de contacto del agua con dichas rocas.

Como se ha descrito anteriormente, la litología de la zona está dominada por 1) rocas plutónicas y metamórficas o rocas duras en las zonas altas de la sierra, y 2) materiales sedimentarios, carbonatados y detríticos a grandes rasgos, aflorantes en la fosa del Valle Alto del Lozoya. Las aguas asociadas a rocas plutónicas y metamórficas presentan facies hidroquímicas bicarbonatadas sódicas, baja salinidad y pH ácido. Además, las aguas subterráneas vinculadas con este tipo de materiales presentan un tiempo de residencia generalmente corto, ya que se asocian a acuíferos someros, aunque a veces existen flujos profundos ligados a grandes fracturas. En relación a la composición química de las aguas del acuífero sedimentario del Valle Alto del Lozoya, las facies son bicarbonatadas cálcicas con valores de salinidad más alta, presentando valores por encima de los 150 mg/l de total de sólidos en disolución.

Los iones predominantes proceden de la disolución de los minerales carbonatados presentes en las calizas, proceso que se ve favorecido por la mayor producción de CO<sub>2</sub> en suelos mejor desarrollados sobre los aluviales del Lozoya que en las pendientes de la Sierra (Yélamos *et al.*, 2019).

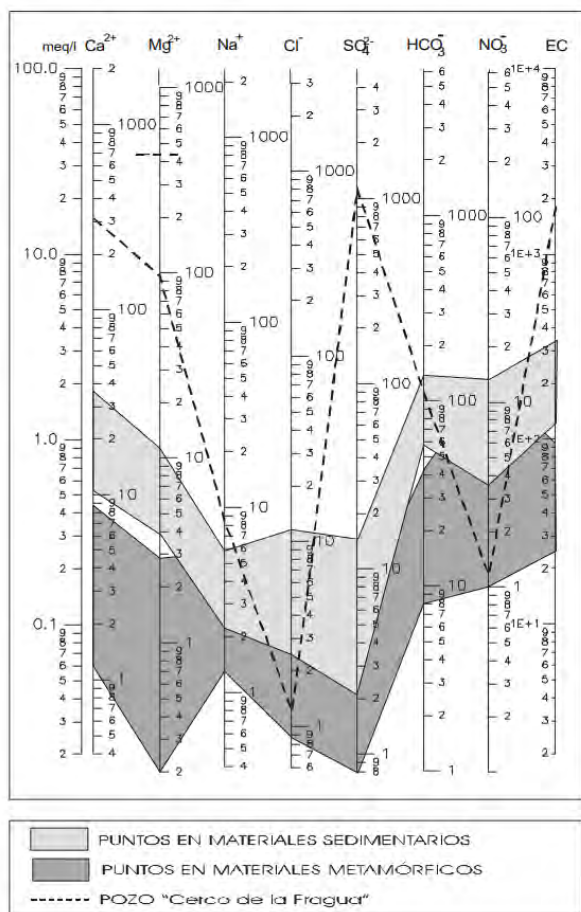


Figura 15. Diagrama de Schoeller-Berkalof con muestras tomadas en puntos de agua de la zona del Valle Alto del Lozoya (De la Losa, 2002).

Estudios realizados en la zona (De la Losa, 2002; Yélamos, *et al.*, 2019) indican que la composición de estas aguas no se ve afectada por posibles focos de contaminación, ya que no existe actividad antrópica importante en la zona.

La zona del Valle Alto el Lozoya constituye un medio natural de excepción, con actividades

tradicionales aún bien conservadas. La ordenación territorial marcada por la proximidad al Parque Natural del Peñalara y su condición de cabecera del río Lozoya, impone una coherencia en las alternativas de uso dentro del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

La ganadería es una actividad muy importante en el valle por su peso social, debido a su arraigo, y por su papel en el mantenimiento del medio natural, de gran trascendencia en este espacio modelado por los usos tradicionales.

Las bajas concentraciones en especies nitrogenadas presentes en el agua de la zona, parece indicar que la actividad ganadera no genera un impacto importante en la calidad de estas aguas. No obstante, la incorporación de sales en la alimentación del ganado, puede producir alteraciones en la calidad de las aguas. Este hecho está limitado a zonas donde se concentra preferentemente el ganado y se hace más patente en invierno. De este modo, se puede producir un incremento local y poco significativo en la salinidad tanto de las aguas superficiales como subterráneas.

El mayor riesgo de contaminación lo podrían constituir los núcleos de población a través de fugas en el alcantarillado o la presencia de industrias, ya que se asientan directamente sobre el acuífero sedimentario del Lozoya. Indicar que existieron dos vertederos de residuos sólidos urbanos sobre este acuífero, pero llevan décadas clausurados.

El mantenimiento de las carreteras de la región durante los meses de invierno requiere de sal para evitar la formación de hielo. Esta sal es incorporada posteriormente a los cursos de las aguas superficiales o aguas subterráneas produciendo un aumento de la



concentración de los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ . Este hecho modifica de la calidad de las aguas, pero no parece ser importante.

La demanda social de espacios verdes debido a su proximidad a Madrid, ha hecho de esta área una de las zonas más solicitadas para la realización de actividades recreativas. El impacto que puede suponer este aumento de visitantes, se ve incrementado por su distribución tanto espacial como temporal, concentrándose durante los fines de semana.

Sin embargo, las actividades recreativas e infraestructuras turísticas desarrolladas en la zona, a la vista de los resultados obtenidos, no se considera que tengan una importante repercusión en la calidad de las aguas.

En definitiva, el Valle Alto del Lozoya constituye un sistema natural de captación de agua, y este recurso es básico y clave para mantener las actividades humanas desarrolladas en la zona que incluyen la silvicultura, la ganadería, la urbanización de segunda residencia y las actividades de esparcimiento. Se pretende en todo momento integrar los usos del agua con el medio natural, y es que preservando éste, se garantiza la calidad del agua.

De momento el equilibrio parece mantenerse y ninguna de las actividades descritas alteran significativamente la calidad química de las aguas subterráneas.



*Figura 16. Panorámica del Valle Alto del Lozoya bajando por la carretera de la Morcuera.*

## PARADA 1. ACUÍFEROS FRACTURADOS Y FUENTE COSSÍO

En el alto del puerto de la Morcuera, nos encontramos con **Fuente Cossío**. Esta fuente fue inaugurada el 23 de octubre de 1932 por Julián Besteiro, presidente de las Cortes Constituyentes de la Segunda República en homenaje a Manuel Bartolomé Cossío (1857-1935), historiador del arte, primer catedrático de Pedagogía de España, profesor en la Institución Libre de Enseñanza y una de las personalidades clave en el "descubrimiento" de la sierra a finales del siglo XIX. Esta institución fue clave para entender la naturaleza y el paisaje y consiguieron impulsar el conocimiento e interés por la Sierra de Guadarrama.



Figura 17. Inauguración de la fuente Cossío, el 23 de octubre de 1932 (Archivo General de la Administración). Fuente: <https://juliovias.blogspot.com>.



Figura 18. Fuente Cossío en la actualidad.

Las rocas del sustrato donde se localiza la fuente son ortogneises (rocas metamórficas), materiales poco permeables, con porosidad primaria muy baja, prácticamente nula, si bien la alteración y la fracturación permiten el desarrollo de una porosidad secundaria que les confiere la facultad de almacenar y transmitir agua en cantidades muy limitadas. A profundidades grandes estas rocas pueden considerarse como impermeables puesto que el grado de fracturación tiende a ser nulo.

Debido a la reducida permeabilidad de estos materiales, en estas zonas altas, el agua de lluvia y de deshielo puede acumularse, dando lugar a suelos encharcados, en los que el agua desplaza al aire de sus poros, y en los que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, se descompone muy lentamente y tiende a acumularse en el suelo, dando lugar a turberas, como veremos en la próxima parada.

Por otro lado, la meteorización de las rocas duras o "hard rocks" puede originar acuíferos de escasa potencia, generalmente inferior a unas decenas de metros, y limitada extensión superficial. Estos acuíferos son drenados por manantiales efímeros y cauces fluviales.

A pesar de los escasos recursos subterráneos ligados a estas rocas duras, los acuíferos locales que se sitúan en esta área han jugado un importante papel en el abastecimiento a las poblaciones, siendo además puntos que alimentan fuentes de áreas recreativas, como la ahora visitada Fuente Cossío, y también constituyen lugares para el abrevadero de ganado. Estos recursos juegan un importante papel ecológico, ya que constituyen un aporte a las masas de agua subterránea en las épocas de estiaje.



Respecto a la calidad de las aguas de Fuente Cossío, se han obtenido datos de varias campañas de campo llevadas a cabo desde noviembre de 2000 a octubre de 2001. Los datos obtenidos muestran que estas aguas presentan una conductividad eléctrica que ronda los 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual indica que es un agua de muy baja mineralización. Esto implica que son aguas con un recorrido muy corto por los materiales que conforman el acuífero, sin apenas tiempo para cargarse en sales.

No obstante, como curiosidad diremos que excepcionalmente se han encontrado valores elevados de cloruros y sodio durante los meses de invierno, alcanzándose valores que rondan los 50 mg/L. Este hecho está relacionado con el uso de sal para el mantenimiento de las carreteras de la región durante los meses de invierno, evitando así la formación de hielo.

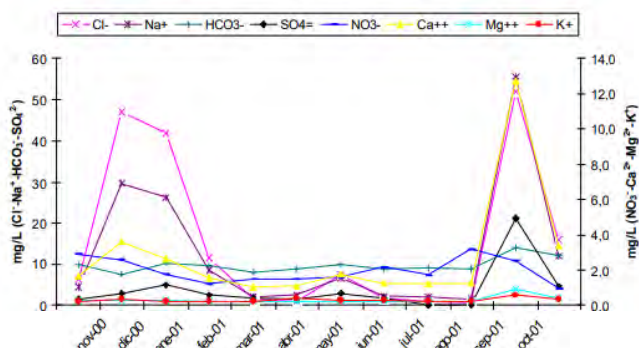


Figura 19. Evolución temporal de los elementos mayoritarios en la Fuente Cossío, Rascafría (De la Losa, 2002).

## PARADA 2. ACUÍFEROS DETRÍTICOS SUPERFICIALES: BORREGUIL DE LA CABECERA DEL ARROYO AGUILÓN

En esta parada podremos observar un biotopo muy especial: un acuífero detrítico que conforma un humedal. Las depresiones topográficas en las montañas propician la acumulación de materiales detríticos. Estos depósitos reciben el agua procedente de la lluvia, la nieve, la escorrentía superficial en sus bordes y las descargas de aguas subterráneas (Figura 20). Todos estos aportes hídricos saturan los depósitos dando lugar a un humedal de depresión (Heredia, 2019), en el que se desarrollan suelos hidromorfos.

Sus cuencas suelen ser exorreicas, descargando sus aguas a un curso de agua superficial. Estas formaciones, generalmente de alta montaña, reciben diferentes nombres según la parte del mundo donde se desarrollan: bofedales, en la zona Andina, mallines, en el sur de Argentina y Chile, o borreguiles, en Sierra Nevada.

Independientemente del lugar del mundo donde se sitúan, todos presentan un gran interés biológico pues permiten el desarrollo de una vegetación hidrófila característica (Figura 21), muy rica en endemismos, y una fauna asociada muy diferente a la circundante, contribuyendo notablemente al desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad.

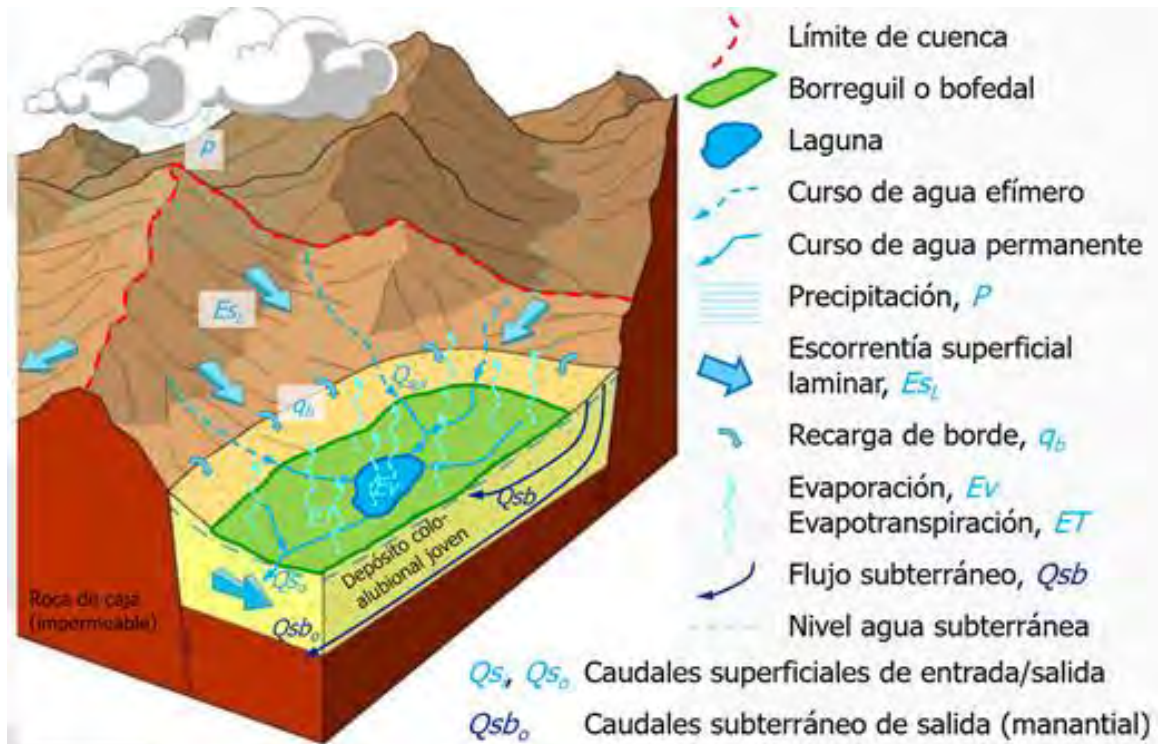


Figura 20. Recarga y descarga de un borreguil (Heredia, 2020).

Los ricos suelos orgánicos de estos humedales dan lugar a la formación de turba, que, junto a su vegetación, han ofrecido históricamente importantes servicios ecosistémicos: la turba como combustible, la vegetación como alimento para el ganado y ambas como materiales de construcción.

Igualmente, por su hidrodinámica lenta cumplen servicios de regulación, tanto al laminar el agua de deshielo y arroyadas en la cabecera de los ríos permitiendo aguas abajo un caudal continuo a lo largo del año, como facilitando la recarga de las aguas subterráneas. En el actual escenario de cambio climático cumplen una importante función como trampa de carbono.

Por desgracia, lo profuso de sus servicios ecosistémicos ha hecho que, históricamente, los borreguiles o bofedales, hayan sido fuertemente antropizados, con el consiguiente riesgo de degradación. Así, el sobrepastoreo y la excesiva explotación de la turba han generado la compactación del suelo y su erosión, y con ello, pérdida de la capacidad de regulación hídrica y disminución de su potencialidad de recarga y pastura.

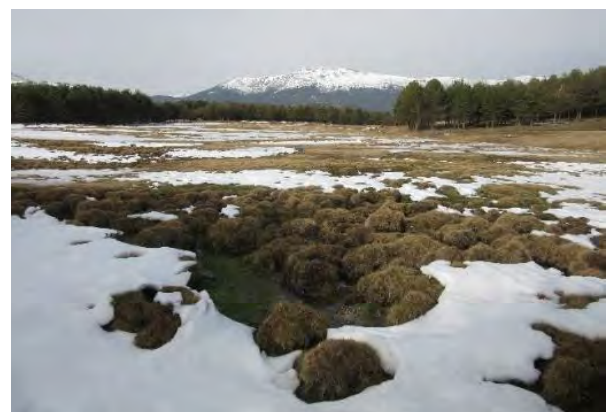


Figura 21. Borreguil de la cabecera del arroyo Aguilón, en las proximidades del Puerto de la Morcuera.



### PARADA 3. DE PINILLA AL CALVERO DE LA HIGUERA: LAS DOLOMIAS CRETÁICAS DEL FONDO DEL VALLE DEL LOZOYA

Esta parada es, en realidad, un itinerario a pie de unos tres kilómetros de longitud (ida y vuelta), desde la localidad de Pinilla del Valle hasta el cerro del Calvero de la Higuera, situado en la margen derecha del río Lozoya, en el tramo ya ocupado por las aguas del Embalse de Pinilla.

El objetivo del paseo es observar un afloramiento de materiales geológicos de edad cretácica, constituidos fundamentalmente por rocas carbonáticas (dolomías), que conforman un acuífero kárstico de pequeño tamaño, en el fondo del Valle del Lozoya.

El afloramiento principal es un conjunto de relieves alomados, a cotas comprendidas entre 1.110 y 1.140 m s.n.m., de unos 3 kilómetros de longitud, 500 metros de anchura y orientación SO-NE, a modo de pequeñas cuestas geomorfológicas, que se localizan entre los arroyos de la Raya, al oeste y el del Enebro, al este. La estructura geológica del afloramiento es un monoclinual con un suave buzamiento (20-30°) hacia el noroeste, del conjunto de rocas del Cretácico Superior, cabalgado por los ortogneises del Paleozoico que constituyen los relieves principales de la parte alta del valle.

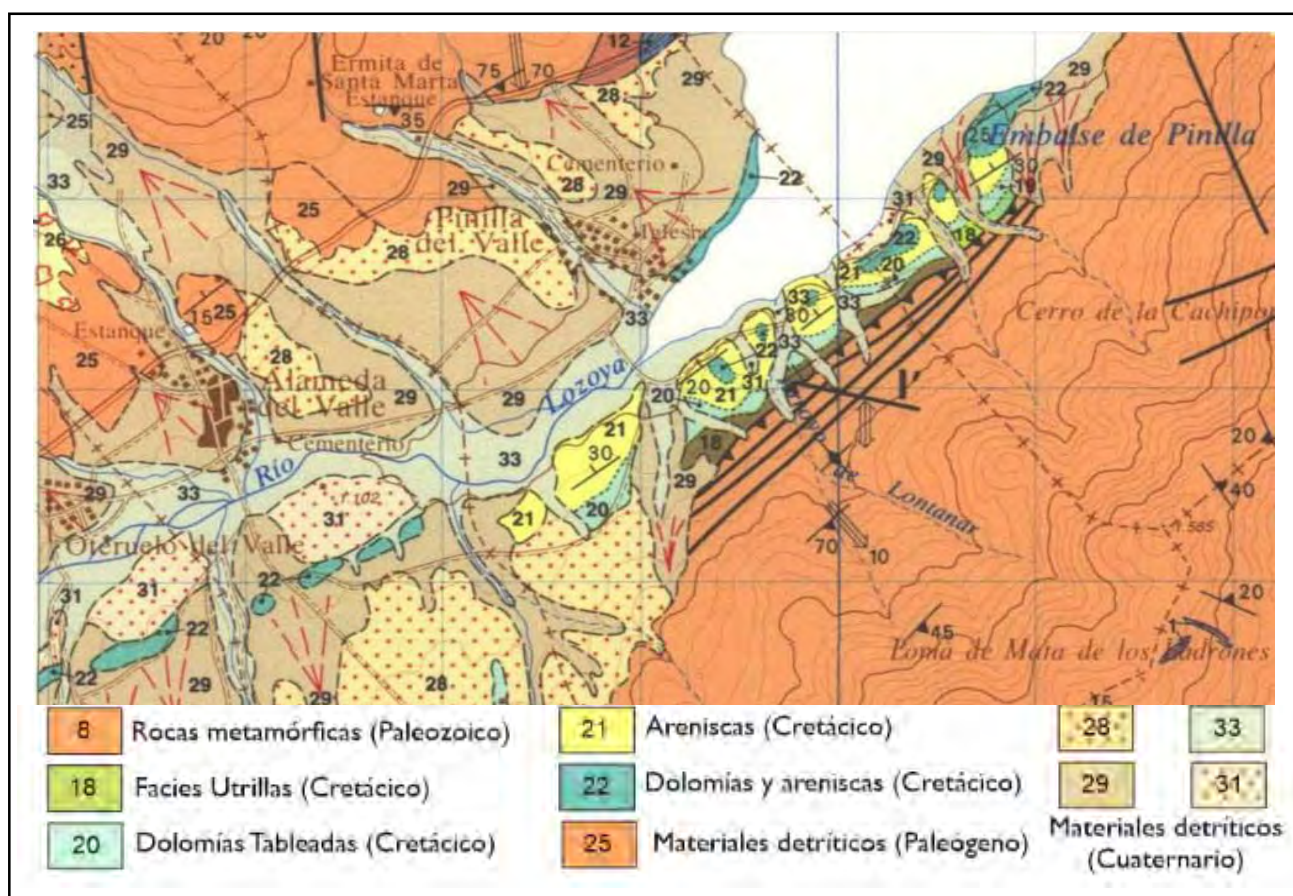


Figura 22. Fragmento del Mapa Geológico a escala (original) 1: 50.000 del IGME, Hoja 484, Buitrago de Lozoya, donde se observan los afloramientos de rocas carbonáticas cretácicas de los alrededores de Pinilla del Valle.

Las rocas cretácicas constituyen un acuífero kárstico, con porosidad secundaria por fracturación y por disolución, que puede verse a escala de afloramiento por el desarrollo de numerosas cavidades kársticas, algunas de las cuáles están rellenas por sedimentos detríticos relativamente recientes del Pleistoceno y Holoceno.

Algunas de estas cavidades presentan yacimientos arqueológicos y paleontológicos de gran relevancia, y han sido excavadas por un equipo científico coordinado por Juan Luis Arsuaga, Enrique Baquedano y Alfredo Pérez-González desde el año 2002.

En concreto, en el cerro denominado Calvero de la Higuera, existe un conjunto de cavidades rellenas de sedimentos de interés geoarqueológico y paleontológico que fue declarado Zona de interés Arqueológico y Paleontológico el 23 de diciembre de 2004.

Actualmente, el yacimiento está habilitado para su visita (determinados meses del año) bajo el nombre de “Parque Arqueológico del Valle de los Neandertales”, inaugurado en 2015, llamado así en alusión a los restos óseos

de la especie *Homo neanderthalensis* hallados en tres cavidades del yacimiento (Cueva del Camino, Cueva de la Buena Pinta y Cueva Des-Cubierta).

Además de estas tres cuevas, existen otras dos cavidades excavadas hasta el momento, que son el Abrigo de Navalmaíllo y el Abrigo del Ocelado. Aunque en los alrededores del Calvero de la Higuera existen evidencias de posibles niveles arqueológicos del Pleistoceno Medio, la mayor parte de los niveles encontrados hasta la actualidad se adscriben al Pleistoceno Superior (Paleolítico Medio desde el punto de vista cultural).

Desde el camino de acceso puede observarse la denominada Cueva del Camino, una antigua cavidad desmantelada por la erosión, cuyos rellenos sedimentarios con contenido fósil se han conservado en su interior y han permitido su excavación arqueológica. De ella se han extraído numerosos restos faunísticos de unos 90.000 años de antigüedad, incluyendo dos molares de *Homo neanderthalensis*, posiblemente asociados a un cubil de hienas, tal como se interpreta el origen de este yacimiento.



Figura 23. Ubicación en vista aérea de las cinco cavidades excavadas hasta el momento en el cerro del Calvero de la Higuera, en la localidad de Pinilla del Valle (Madrid). (Fuente: <https://www.comunidad.madrid>).



Como hemos podido observar en las dolomías cretácicas del Calvero de la Higuera, los materiales carbonáticos que conforman el acuífero kárstico del Valle Alto del Lozoya presentan una intensa karstificación. Este tipo de manifestaciones se pueden observar en forma de algunas dolinas, sumideros y manantiales, localizados en la zona del Monasterio de Santa María de El Paular. La abundancia de descargas de agua probablemente haya propiciado el emplazamiento del monasterio en este entorno.

Asociados a estos materiales, localizados preferentemente en las partes topográficas más bajas como el fondo de los valles e incluso en el cauce de los ríos, se localizan manantiales y pozos capaces de aportar caudales importantes, desde algunos litros por segundo llegando incluso decenas.

En la zona sur de Rascafría podemos observar la existencia de algunos **manantiales kársticos**, siendo los dos más importantes: La Fuente de los Batanes y La Fuente del Molino de Briscas, con caudales que pueden alcanzar los 20 L/s (SGOP, 1982). En el caso de los Batanes, constituye el punto de nacimiento de un cauce fluvial que, tras recorrer unas decenas de metros, desemboca en el río Lozoya.



Figura 24. Manantial kárstico de la Fuente de los Batanes (De la Losa, 2002).

Ambos manantiales constituyen importantes puntos de descarga natural hacia el cauce del río en su parte más alta. Mantienen su descarga de forma continua, incluso en periodos de aguas bajas, aunque en esos momentos pueden experimentar una disminución de caudal acusada.



Figura 25. Captación Fuente del Molino de Briscas (De la Losa, 2002).

Presentan una salinidad en torno a 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con facies bicarbonatada cálcica. La calidad de estas aguas está seriamente amenazada por la actividad humana, siendo acuíferos vulnerables a la contaminación, caracterizándose por el escaso desarrollo de suelo y rápida circulación del agua, que junto a la corta distancia entre las zonas de recarga (sierra) y de descarga (entorno del río), hace que los tiempos de residencia de las aguas sean muy cortos.

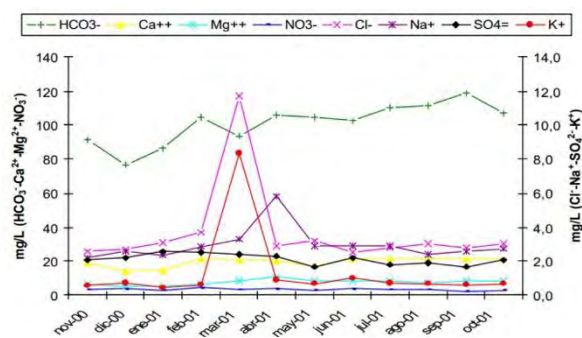


Figura 26. Evolución temporal de parámetros mayoritarios en el manantial kárstico de la Fuente de los Batanes. (De la Losa, 2002).

## El sistema de abastecimiento del Monasterio de El Paular

De camino a la parada 4, ascendiendo por la carretera M-604 que comunica Rascafría con el puerto de Cotos, se encuentra el Real Monasterio de Santa María de El Paular. Este monasterio, fue fundado por la Casa Real de los Trastámara en 1390, siendo la primera Cartuja de Castilla. A pesar del deterioro sufrido en las guerras napoleónicas (1808) y la desamortización de Mendizábal (1836), debido a su rico patrimonio histórico fue declarado Bien de Interés Cultural con categoría de Monumento en 1876. Una parte singular de su patrimonio son las obras para abastecimiento de agua al monasterio.

Tres son las obras de abastecimiento al monasterio. Entre ellas destacan dos, la más antigua, una acequia, y un qanat (o kanat).

La tercera es una acequia de mediados del siglo pasado sin un valor particular.

Los qanats son galerías de captación y conducción de aguas subterránea (Figura 27A) cuyo origen se remonta hacia el año 1000 a.c. en Persia, Armenia y la península arábiga. En la península Ibérica fueron introducidos por los árabes, y la ciudad de Madrid basó su abastecimiento en estas obras desde sus orígenes hasta principios del siglo XX, donde son conocidos como viajes del agua. Estas galerías tuvieron un gran desarrollo a partir de ser designada capital del reino en el siglo XVI. El qanat de El Paular data del período comprendido entre el último tercio del siglo XVI y las primeras décadas del siglo XVII. Sus características son similares a los qanats que en esa época se estaban desarrollando en Madrid, por lo que no se desestima que en su construcción hayan participado los mismos canteros.

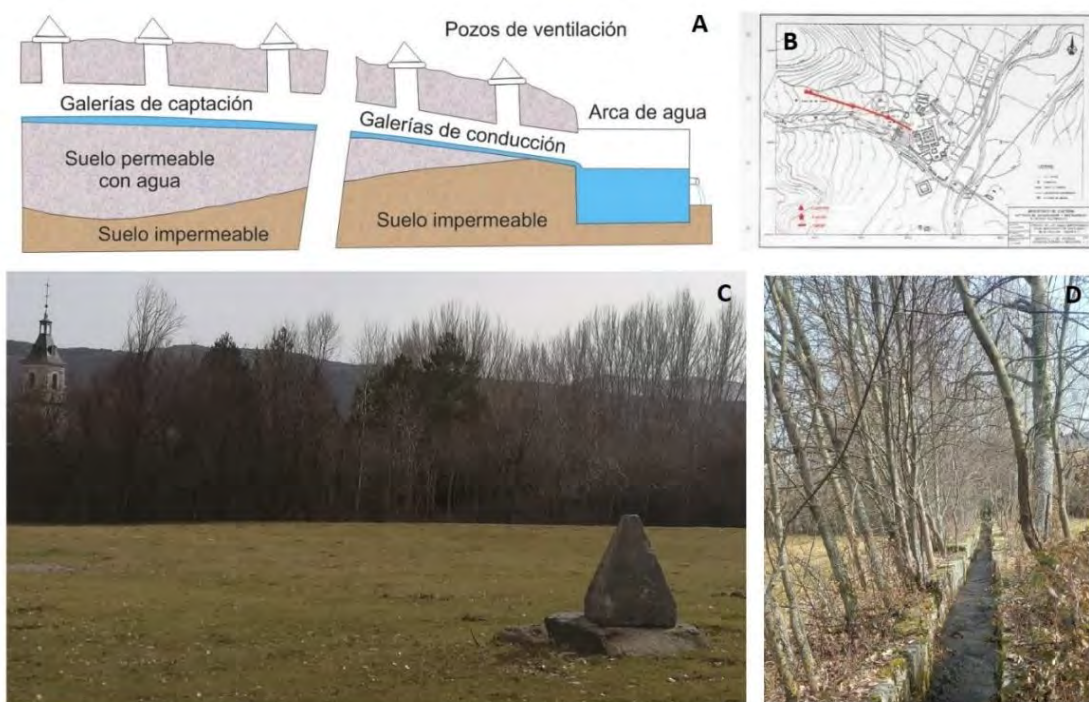


Figura 27. A) Esquema de los antiguos viajes del agua, modificado de López Carcelén, (2004). B) Traza del viaje de agua de El Paular según el plano de Olivier (1991). C) Capirote del pozo de ventilación del viaje del agua del monasterio, localizado en la finca lindante con El Paular. D) Acequia de procedente del arroyo de Santa María y situada paralela al viaje del agua.



Se desarrolla al noroeste del monasterio (Figura 27B), drenando el cono de deyección existente, y parte de su traza se puede seguir por la presencia tres capirotes piramidales, de base cuadrada de 0,7-0,8 m de lado y altura de 0,8-0,9 m y un peso aproximado de 400 kg (Figura 27C). Estos capirotes son el remate de los respiraderos del qanat.

La otra obra de abastecimiento histórica es una acequia cuya factura actual corresponde a principios del siglo XVI. Su obra de toma se sitúa aguas arriba del arroyo de Santa María. Esta acequia presenta una sillería de gran calidad que se evidencia en sus elementos hidráulicos como la caseta de toma, compuertas, aliviaderos, areneros, estanques de reposo y las paredes mismas del canal (Figura 27D). La acequia no sólo se utilizaba para abastecimiento, sino que con sus aguas también se regaban las huertas y movía un molino harinero.

La existencia de este doble sistema de abastecimiento con agua superficial, la acequia, y agua subterránea, el qanat, ha motivado la pregunta: ¿cuál fue la causa que llevó a los monjes al desarrollo casi contemporáneo de ambas? La respuesta más plausible es que con el agua subterránea se garantizaban el suministro en épocas en que el arroyo llevase poca agua o, algo ya más excepcional, se secase (períodos de estiaje). No obstante, también hay quien aduce motivos de “paladar” y sanitarios. Las aguas del arroyo presentan una muy baja mineralización (similar a la Fuente Cossío) y, además, podían ser fácilmente afectadas por focos de “contaminación”. En contraste, las aguas subterráneas en este sector de la sierra tienen una ligera carga en sales y, por otro lado, se encuentran más preservadas ante un agente contaminante.

## Las estaciones de aforo en el Valle Alto del Lozoya

En la zona del Valle Alto del Lozoya existe una estación de aforo perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Tago: la nº 3002, situada en el río Lozoya, en la zona de El Paular, aguas arriba de un antiguo y pequeño embalse en desuso. Se debe indicar que, hace unos años, fue desmantelada otra estación, la nº 3503, emplazada aguas arriba del embalse de Pinilla, en la localidad de Alameda del Valle.

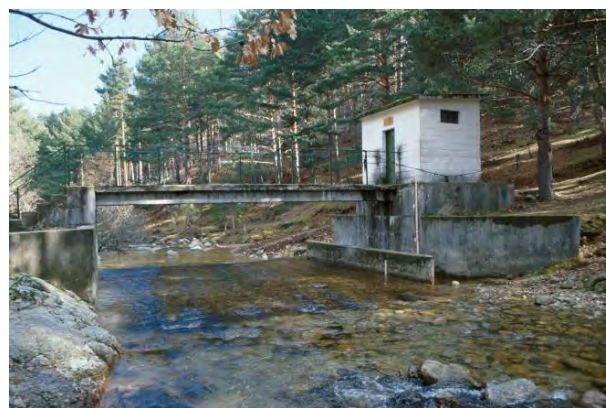


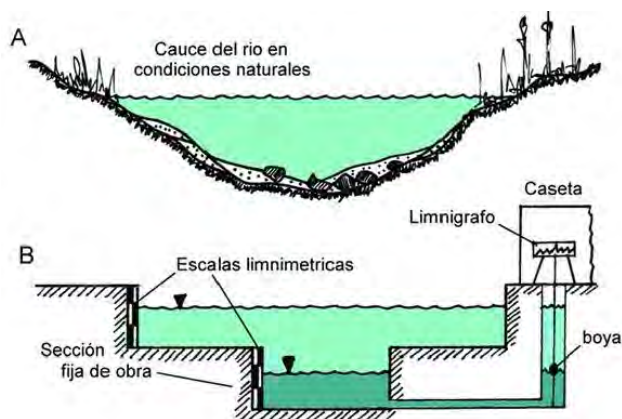
Figura 28. Estación de aforo nº 3002 en la zona de El Paular.



Figura 29. Estación de aforo nº 3503 en Alameda del Valle.

Se denominan estaciones de aforo porque aforar significa “**medir el caudal**”, por lo tanto, las estaciones de aforo permiten medir el caudal de un río de forma sistemática. El caudal de un río, es decir, la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo.

La estación de aforo realiza mediciones directas: se sitúan en una sección de aforo o tramo de control de un río, ya sea natural o acondicionado para tal efecto, en la cual se ha estimado la relación existente entre la altura del nivel de agua y el caudal. De esta forma, midiendo el nivel con una regla graduada implantada en el lugar, se logra determinar el caudal del río en dicha sección.



- A: Sección del río en condiciones naturales.
- B: Cauce del río preparado y acondicionado de obra para mantener una sección fija y facilitar su aforo.

Figura 30. Dispositivos de aforo directos: escalas limnimétricas y limnógrafo. (García Rodríguez, 2012)

Existen diversos tipos de estaciones de aforo, con distintos dispositivos de medida:

- **Escalas limnimétricas:** se trata de escalas graduadas y firmemente sujetas en el suelo, a veces adosadas al pilar de un puente. Es necesario que un operario acuda cada día a tomar nota de la altura de agua.

- **Limnógrafos:** miden el nivel del río guardando un registro continuo gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. El gráfico que proporciona (altura del agua en función del tiempo) se denomina limnograma.

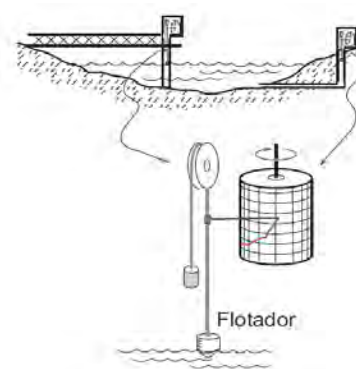


Figura 31. Ejemplo de limnógrafo con flotador clásico instalado. <https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>.

El modelo clásico funciona con un flotador que hace subir y bajar una plumilla sobre un tambor giratorio. Equipos más modernos permiten almacenar los niveles de agua digitalmente. Otros dispositivos se sitúan en el fondo del cauce, miden la presión y la traducen a altura de columna de agua sobre él.

Los niveles de agua obtenidos necesitamos convertirlos en caudales. El caudal se obtiene aplicando al limnograma (nivel-tiempo) la función matemática conocida como “curva de gastos” que relaciona la altura de la lámina de agua con el caudal que pasa por el río, obteniendo así el hidrograma (caudal-tiempo) del río. Las unidades en las que se suelen expresar estas magnitudes son los metros (m) y metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s) respectivamente.

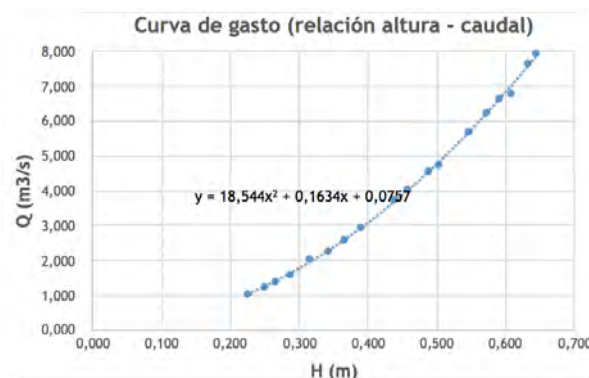


Figura 32. Representación gráfica de una curva de gasto. <http://www.iagua.es>



## PARADA 4. ACUÍFEROS COLUVIALES DE LADERA Y FUENTE DE LOS GEÓLOGOS

Para finalizar el recorrido nos detendremos a pie de la carretera (M-601), a poca distancia del puerto de Navacerrada, en el km 58. Aquí se encuentra un singular monumento dedicado a los profesionales de la ciencia de la Geología: “**La Fuente de los Geólogos**”, de época republicana. Con ella se rinde homenaje a cuatro geólogos pioneros en el estudio de la geología de la Sierra, tres de ellos pertenecientes a la Institución Libre de Enseñanza (ILE), “embajadores de cultura y amor a la naturaleza”, como reza en la placa que acompaña al monumento.



Figura 33. Fuente de los Geólogos. Km 58 de la M-601.



Figura 34. Foto tomada durante el discurso de inauguración de la Fuente de los Geólogos, dado por Eduardo Hernández-Pacheco, el 12 de junio de 1932. Fuente: <https://jaeinnova.wordpress.com>.

Diseñada por el arquitecto Joaquín Delgado Úbeda, montañero y creador de varios refugios en la zona de Peñalara, fue inaugurada como Monumento Natural de Interés Nacional, el domingo 12 de junio de 1932 por iniciativa de Eduardo Hernández Pacheco, geólogo y miembro de la ILE. En el acto de inauguración, Eduardo Hernández-Pacheco, catedrático de Geología de la Universidad Central, aprovechó para reivindicar la labor de los geólogos en la sociedad española.

A continuación, unas líneas sobre estos cuatro geólogos ilustres a los que está dedicada la fuente:

### CASIANO DE PRADO

Nace en Santiago de Compostela en 1797. Estudia matemáticas, botánica en Alcalá de Henares e ingeniería de Minas en Madrid. Tuvo diversos cargos públicos, fue muy activista, llegó a dirigir las minas de Almadén (Ciudad Real) y fue director del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) en 1858-1861. Fue precisamente en geología donde realizó sus mayores aportaciones estudiando los yacimientos paleontológicos de elefantes fósiles de Madrid y caracterizando la Sierra de Guadarrama.

### JOSÉ MACPHERSON

Nacido en Cádiz, en 1839, fue un gran aficionado al montañismo y a la geología. Aunque no cursó ninguna carrera universitaria, logró un gran conocimiento de esta ciencia, siendo incluso miembro de tribunales universitarios.

También fue colaborador de la Institución Libre de Enseñanza y presidente de la Real Sociedad de Historia Natural.

## SALVADOR CALDERÓN Y ARANA

Eminente mineralogista madrileño, nacido en Madrid en 1851. Geólogo, paleontólogo y zoólogo, también era miembro de la Institución Libre de Enseñanza. Es el autor del renombrado libro “Los minerales de España”.

## FRANCISCO QUIROGA

Nació en Aranjuez en 1853, estudió Farmacia y Ciencias en Madrid. Destacó en geología y mineralogía, llegando a dirigir la primera cátedra europea de Cristalografía en Madrid. Al igual que los otros tres homenajeados, perteneció a la Institución Libre de Enseñanza.

Macpherson, Quiroga y Calderón se contaban entre los mejores cultivadores de la geología en la España de finales del diecinueve y habían contribuido notablemente a la modernización de esta disciplina, incorporando las novedades y técnicas que surgieron en Europa.

### ¿De dónde proviene el agua de la fuente de los Geólogos? Acuíferos someros en rocas duras asociados a depósitos de ladera o coluviones

Los canchales o pedreras aparecen bien representados en las laderas de cierta pendiente y cota elevada del P.N. Sierra de Guadarrama. En esta parada justo nos ubicamos sobre un canchal o pedrera (ver Figura 35), a una cota en torno a los 1.730 m s.n.m. aproximadamente.

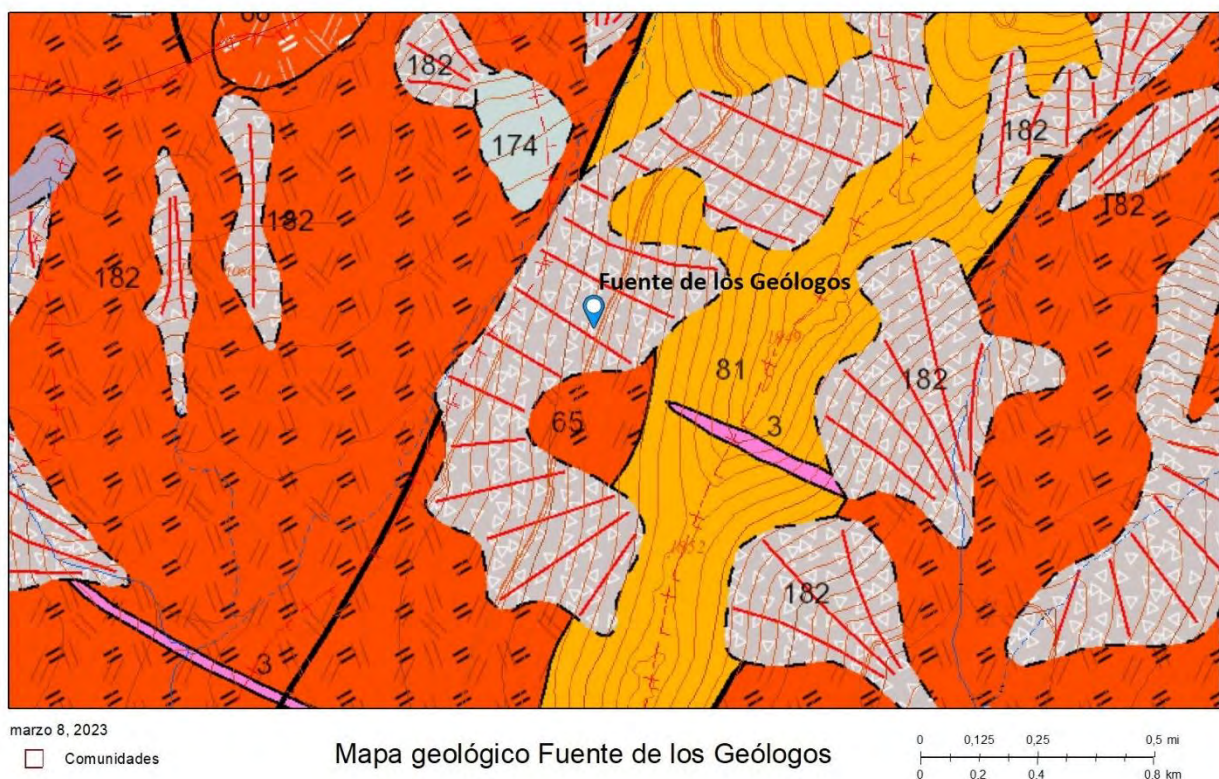


Figura 35. Mapa geológico del entorno de la Fuente de los Geólogos. (Fuente: visor Infoigme ©CN Instituto Geológico y Minero de España). El punto azul indica la posición de la Fuente de los Geólogos sobre el mapa. Los números de las litologías o tipos de roca de interés son el 65 Granitoides biotíticos, el 81 Leucogranitos, y el 182 Canchales o pedreras.



Estos canchales o pedreras están formados por una acumulación de cantos y bloques angulosos que dejan huecos entre ellos que se rellenan de materiales más finos; están generados por efecto de los ciclos del hielo/deshielo que se dan a estas cotas en la sierra. Consecuentemente, se crea un manto de materiales de poco espesor (unos metros) en el que se puede almacenar y ceder agua (zona azul en la Figura 36).

El agua de fusión de la nieve, la lluvia o el deshielo tras viajar por este material acaban saliendo por el caño de la fuente, entre otros lugares. Es decir, esta fuente está íntimamente relacionada con un acuífero somero asociado a depósitos de ladera (canchales o pedreras), ver Figura 33. La descarga del agua almacenada se puede producir de manera natural a través de manantiales en las zonas de contacto entre este material y la roca dura impermeable (granitoides sanos en este caso) o bien cuando la topografía intersecta el nivel de agua o freático; también se puede captar artificialmente mediante galerías de drenaje.

Nos encontramos en las proximidades del valle de la Fuenfría, topónimo que hace referencia a la fresca temperatura del agua a estas cotas. Se cuenta que su caudal no suele agotarse en verano y es costumbre que la gente del lugar venga asiduamente a llenar garrafas de agua para consumo propio. Respecto a su calidad, tenemos medidas de conductividad eléctrica (del 19/11/1997) de unos 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual indica que es un agua de baja mineralización. Este extremo concuerda con origen de la mismas pues en su recorrido o tránsito por el material acuífero que conforma la pedrera, no tiene apenas tiempo de cargarse sales.

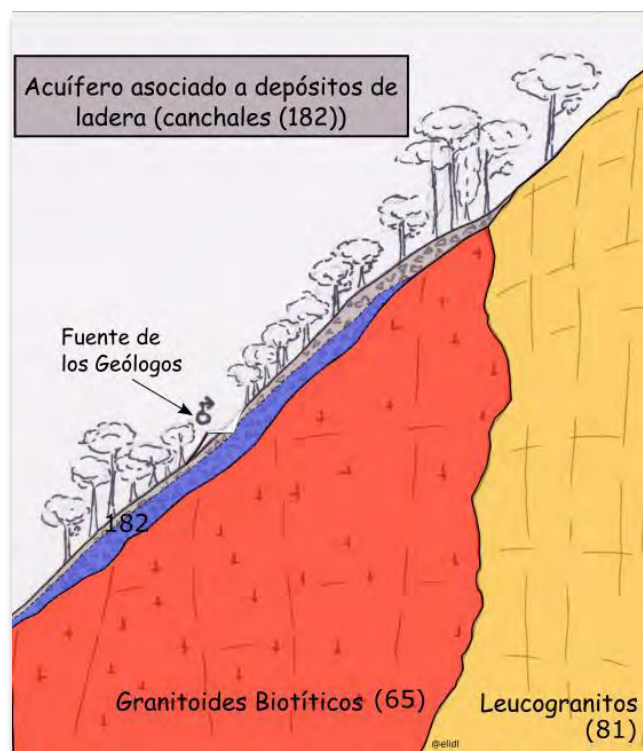


Figura 36. Corte geológico-hidrogeológico esquemático en la Fuente de los Geólogos. Los números de las litologías o tipos de roca de interés son el 65 granitoides biotíticos, el 81 leucogranitos, y el 182 canchales o pedreras. El manto azul representa el nivel del agua almacenada en el acuífero somero.

## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- MADRID 2023

- El lugar de inicio y finalización de la excursión será la entrada del Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC) C/ Ríos Rosas 23, Madrid.
- La hora de salida será a las 8:30 h.
- Se ruega puntualidad.
- Llevar calzado cómodo.
- Llevar bebida y algo para comer (bocadillo).
- Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Fernando, responsable del punto de Información de Pinilla del Valle por las gestiones e información facilitada para la visita de la zona del Calvero de la Higuera.

También queremos agradecer la colaboración de Javier González Yélamos (Profesor titular del Departamento de Geología y Geoquímica de la UAM), por la información facilitada para la elaboración de parte del contenido de esta guía.

## COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA MADRID 2023



Carlos Baquedano Estévez (IGME)



Elisabeth Díaz Losada (IGME)



Juan José Durán Valsero (IGME)



Javier Heredia Díaz (IGME)



Fabián Luis López Olmedo (IGME)



Almudena de la Losa Román (IGME)



Raquel Morales García (IGME)



Luis Moreno Merino (IGME)



Amalia Romero Prados (IGME)



## PARA SABER MÁS....

Andeweg, B., De Vicente, G., Cloetingh, S., Giner, J., Muñoz Martín, A. (1999). Local stress fields and intraplate deformation of Iberia: variations in spatial and temporal interplay of regional stress sources. *Tectonophysics*, 305, 153–164.

Arsuaga, J.L., Baquedano, E., Pérez-González, A., Sala, M.T.N., García, N., Álvarez-Lao, D.J., Laplana, C., Huguet, R., Sevilla, P., Maldonado, E., Blain, H.-A., Quam, R.M., Ruiz-Zapata, B., Sala, P., Gil-García, M.J., Uzquiano, P. y Pantoja, A. (2010). El yacimiento arqueopaleontológico del Pleistoceno Superior de la Cueva del Camino en el Calvero de la Higuera (Pinilla del Valle, Madrid). En E. Baquedano y J. Rosell (eds.): *Actas de la 1ª Reunión de científicos sobre cubiles de hiena (y otros grandes carnívoros en los yacimientos arqueológicos de la Península Ibérica)*. Zona Arqueológica, 13, 421-442.

Arsuaga J.L., Baquedano, E., Pérez González, A., Sala, M.T.N., Quam, R.M., Rodríguez, I., García, R., García, N., Álvarez-Lao, D.J., Laplana, C., Huguet, R., Sevilla, P., Maldonado, E., Blain, H.A., Ruiz-Zapata, B., Sala, P., Gil-García M.J., Uzquiano, P., Pantoja, A. y Márquez, B. (2012). Understanding the ancient habitats of the last-interglacial (late MIS5) Neanderthals of central Iberia: Paleoenvironmental and taphonomic evidence from the Cueva del Camino (Spain) site. *Quaternary International*, 27, 55-75.

Baquedano, E., Márquez, B., Pérez-González, A., Mosquera, M., Huguet, R., Espinosa, J.A., Sánchez Romero, I., Panera, J y Arsuaga, J.L. (2011-2012). Neandertales en el Valle del Lozoya: los yacimientos paleolíticos del Calvero de la Higuera (Pinilla del Valle, Madrid), Neandertales en Iberia: Últimos avances en la investigación del Paleolítico Medio Ibérico. *Mainake*. XXXIII: 83-100.

Barceló, E., Álvarez, M. y Barceló, I. (2013). Estudio histórico constructivo. Las excavaciones arqueológicas. En *La recuperación de El Paular*. Ministerio de Educación Cultura y Deporte, 11-56.

De la Losa, A. (2002). *Hidroquímica del Alto Valle del Lozoya*. DEA (Diploma de Estudios Avanzados). 67

p. Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

De Vicente G., González-Casado, J.M., Muñoz-Martín, A., Giner, J. y Rodríguez-Pascua, M.A. (1996). Structure and Tertiary evolution of the Madrid basin. En: *Tertiary basins of Spain. The stratigraphic record of crustal kinematics* (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.). Cambridge University Press, 263-267.

Díaz-Martínez E. y Rodríguez-Aranda, J.P. (2008). Itinerarios geológicos en la Comunidad de Madrid. IGME, Colección Guías Geológicas, no. 1, Instituto Geológico y Minero de España. 192 p.

Durán, J.J. (Editor) (1998). Patrimonio geológico de la Comunidad Autónoma de Madrid. Sociedad Geológica de España y Asamblea de Madrid, Madrid, 290 p.

Escuder Viruete, J., Díez Balda, M.A., Rubio Pascual, F.J., González Casado, J.M., Barbero, L., Martínez Poyatos, D., Villar, P. y Martínez Catalán, J.R. (2004). La extensión varisca tardiorogénica y las deformaciones tardías. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid: 87-92.

García Rodríguez, M. (2012). El modelado fluvial. Procesos de erosión, transporte y sedimentación fluvial. Formas resultantes. Riesgos de avenidas e inundación: medición, predicción y prevención. Los fenómenos de ladera. Riesgos asociados a estos fenómenos: medición, predicción y prevención. In book: *Biología y geología*. (pp.23) Chapter: 2 | Publisher: Cenoposiciones.

Gil, J. y García, A (1996). El Cretácico del borde meridional del Sistema Central. Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geológicos*, 52 (1-2), 37-49.

Gil, J., Carenas, B., Segura, M., García Hidalgo, J.F. y García, A. (2004). Revisión y correlación de las unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior en la región central y oriental de España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17 (3-4). 249-266.

- Gil, J., García-Hidalgo J. F., Segura, M., López Olmedo, F., García, Á., Montes, M., Nozal, F. y Díaz de Neira J. A. (2010). El Cretácico del Sistema Central (España): Registro estratigráfico, contexto deposicional y esquema evolutivo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 104, 15-36.
- Guía del Hidrogeodía (2017). *Hidrogeodía histórica de Madrid: De los antiguos viajes de agua de la Villa a los pozos artesianos de El Pardo*. 28 p.
- Heredia, J. (2019). *Humedales*. Ed. Catarata. Madrid, España. 174 p. ISBN: 9788490977576.
- Heredia, J. (2020). Balance de agua en bofedales. *Primer congreso chileno de siembra y cosecha de agua. Un sistema ancestral de gestión del agua*. Santiago de Chile. Septiembre de 2020.
- Huguet, R., Arsuaga, J.L., Pérez-González, A., Arriaza, M. C., Sala-Burgos, M.T.N., Laplana, C., Sevilla, P., García, N., Álvarez-Lao, D., Blain, H.A. y Baquedano, E. (2010). Homínidos y hienas en el Calvero de la Higuera (Pinilla del Valle, Madrid) durante el Pleistoceno Superior. Resultados preliminares. En E. Baquedano y J. Rosell (eds.): *Actas de la 1ª Reunión de científicos sobre cubiles de hiena (y otros grandes carnívoros en los yacimientos arqueológicos de la Península Ibérica)*. Zona Arqueológica, 13, 443-458.
- Laplana, C., Blain, H.A., Sevilla, P., Arsuaga, J.L., Baquedano, E. y Pérez-González, A. (2013). Un assemblage de petits vertébrés hautement diversifié de la fin du MIS 5 dans un environnement montagnard au centre de l'Espagne (Cueva del Camino, Pinilla del Valle, Communauté Autonome de Madrid), *Quaternaire*, 24(2): 207-216.
- López Carcelén, P. (2004). *Atlas ilustrado de la historia de Madrid*. 80 p.
- López Vera, F. y López-Camacho, B. (2017). Abastecimiento histórico de agua al monasterio de El Paular: un qanat en la Sierra del Guadarrama (Madrid, España). *Boletín Geológico y Minero*, 128 (1): 193-206.
- Mejías, M., Fernández-San Miguel, M., Vías-Alonso, J., Castro-Quiles, A. y Del Pozo, J. (2015). El Agua: de las Cumbres a los Valles. En: M. Mejías, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. 151-227. IGME-OAPN. Madrid.
- Olivier, C. (1991). Estudio de las aguas subterráneas y las conducciones de agua en las humedades del Monasterio de Santa M<sup>a</sup> del Paular en Rascafría (Madrid). Memoria del Plan Director del Monasterio Santa M<sup>a</sup> del Paular (2006). Archivo General del IPCE. Ministerio de Cultura. Sig. PD-232-7.
- Pérez-González, A., Karampaglidis, T., Arsuaga, J. I., Baquedano, E., Báñez, S., Gómez, J.J., Panera, J., Márquez, B., Laplana, C., Mosquera, M., Huguet, R., Sala, P., Arriaza, M.C., Benito, A., Aracil, E. y Maldonado, E. (2010). Aproximación geomorfológica a los yacimientos del Pleistoceno Superior del Calvero de la Higuera en el Valle Alto del Lozoya (Sistema Central Español, Madrid)”, En E. Baquedano y J. Rosell (eds.): *Actas de la 1ª Reunión de científicos sobre cubiles de hiena (y otros grandes carnívoros en los yacimientos arqueológicos de la Península Ibérica)*. Zona Arqueológica 13: 404-419.
- Rodríguez Fernández, R. (Editor). (2020). *Guía Geológica del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*. Instituto Geológico y Minero de España y Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie Guías Geológicas de Parques Nacionales.
- Rubio Pascual, F. (2012). Evolución Tectonotermal Varisca del Sistema Central en Somosierra-Honrubia. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid: 350 p.
- SGOP (1982). *Posibilidades de suministro con aguas subterráneas de Rascafría, Oteruelo, Alameda del Valle y Pinilla del Valle*. Informe inédito, memoria 11 pp., nº de registro 1984. Servicio Geológico de Obras públicas, Madrid.
- Yélamos, J., Sanz-Pérez, E y Escavy- Fernández, J.I. (2019). Las aguas subterráneas del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. *Boletín Geológico y Minero*, 130 (4): 743-772.



## NOTAS

## NOTAS



## NOTAS

Málaga

COORDINA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español

# HIDROGE DÍA

## 2023

### 25 de marzo 2023

# Ciencia y leyendas de las aguas subterráneas en Archidona

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

PUNTO DE ENCUENTRO:

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

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA

Contacto: [juanirm@uma.es](mailto:juanirm@uma.es)

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

La excursión durará unas 3 horas aprox.  
Información detallada en:  
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/>



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



ORGANIZA:



**CEHYUMA**  
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

COLABORAN:



Ilmo. Ayto.  
Archidona



DÍA  
MUNDIAL  
DEL AGUA

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



¡PARTICIPA!



II Concurso de Fotografía  
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2023





## EL HIDROGEODÍA

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

principales aspectos hidrogeológicos del itinerario.

En Málaga, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en **Archidona** (Fig. 1), una localidad con un patrimonio cultural y medioambiental destacado, situada en la Comarca Nororiental de Málaga, a unos 40 km al N de la capital de la provincia. En concreto, la excursión del Hidrogeodía se centra en el borde occidental de la **sierra de Archidona** que, con 6 km<sup>2</sup>, constituye el acuífero del que se abastece la localidad. Hasta época reciente, dicho abastecimiento se realizaba con el agua procedente de galerías excavadas en la parte alta del pueblo. Sin embargo, en la actualidad, tiene lugar mediante sondeos realizados a las afueras de la población (Fig. 1).

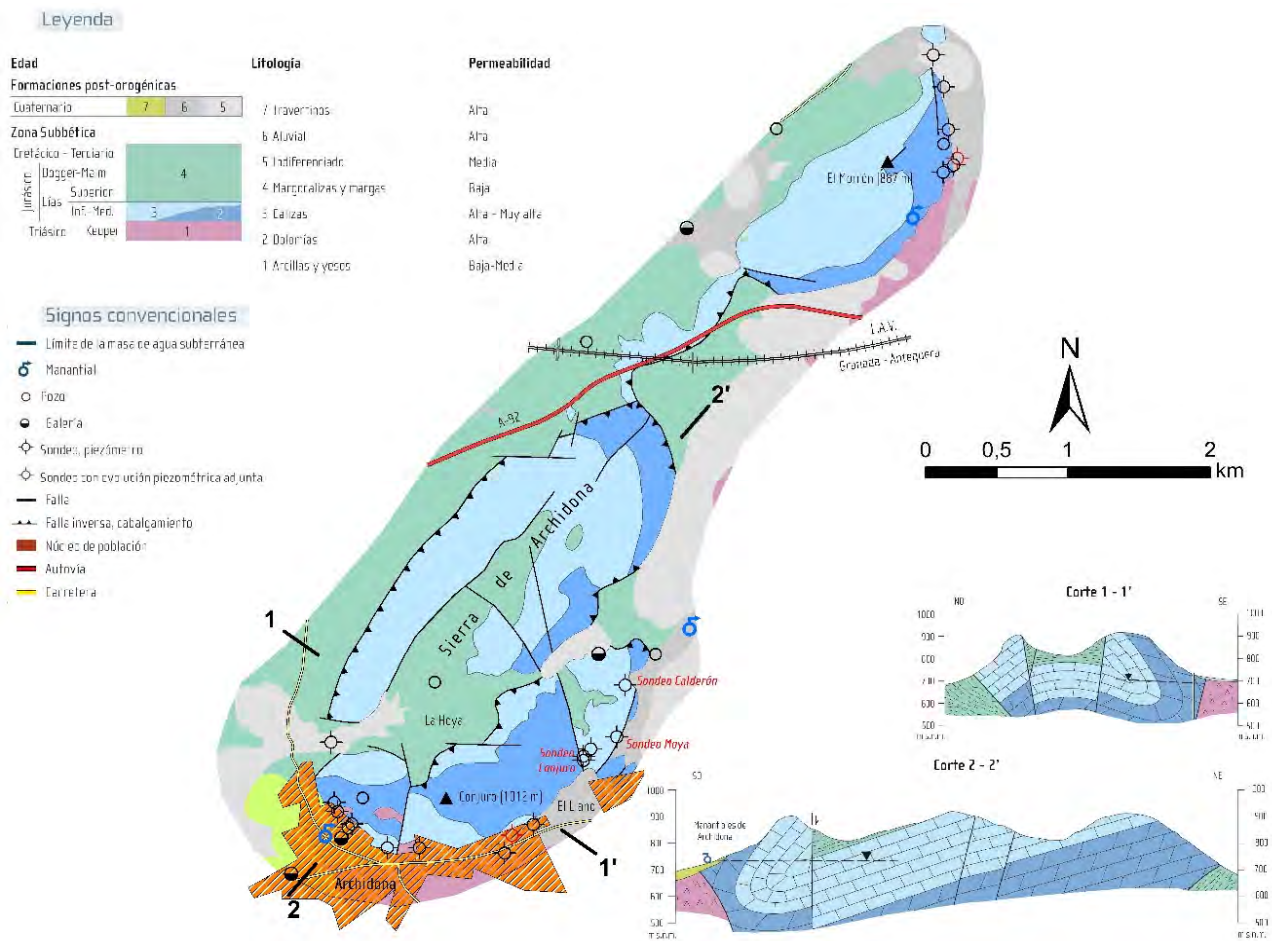


Figura 1: Esquema geológico - hidrogeológico de la sierra de Archidona y áreas próximas

## ¡Qué vamos a ver!

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

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

## Contexto geológico y tipos de rocas

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

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

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

## Propiedades acuíferas de las rocas

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

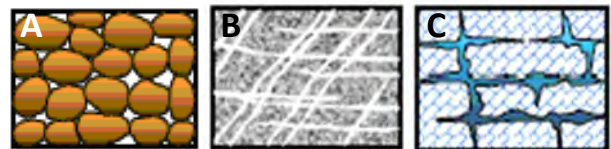


Figura 2: Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (A), por fisuras (B) y por grietas o fracturas ensanchadas (C)

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una formación rocosa respecto al volumen total de la misma, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. Además, el agua subterránea sólo puede moverse a través de



los poros que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**). Cuando se trata de materiales sueltos, el agua ocupa y fluye por los huecos que quedan entre los granos – **porosidad intergranular**- (Fig. 2A). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuiferos detríticos**, como los existentes asociados al río Guadalhorce, en las Huertas del Río, o en las vegas de Archidona y Antequera (Fig. 3).

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

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

## El paisaje kárstico

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

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

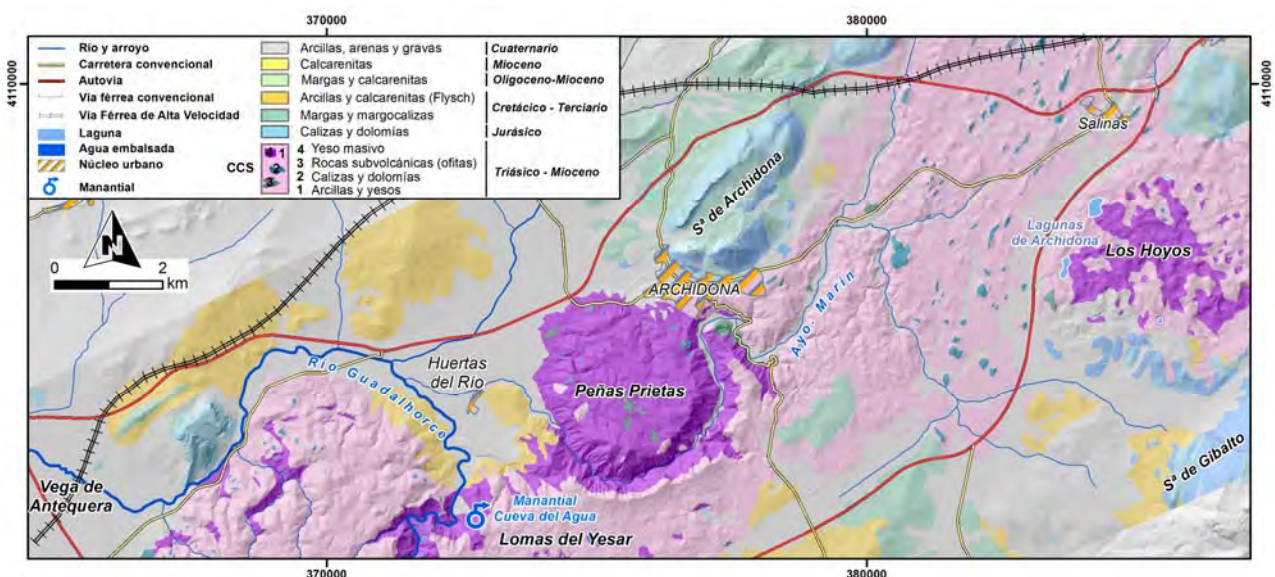


Figura 3: Esquema geológico - hidrogeológico de la región de Archidona

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



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

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

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

disueltos por el agua (proceso inverso al de la karstificación), fundamentalmente carbonato cálcico o calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Entre las formas de depósito exokársticas más comunes se encuentran las **tobas y travertinos**, cuyo equivalente endokárstico serían los espeleotemas formados en las cuevas, como las estalactitas y estalagmitas.

## ¿Cómo funcionan los acuíferos kársticos?

La naturaleza soluble de las rocas calcáreas determina en gran medida los procesos de karstificación, lo que confiere a los acuíferos kársticos cierta complejidad. El **agua de lluvia**, principal fuente de alimentación de los acuíferos, se puede **infiltrar** de dos maneras diferentes: a) de **forma difusa**, por toda la superficie de suelo y de los afloramientos calizos desnudos, y/o b) de forma **concentrada**, a través de orificios u oquedades (sumideros kársticos) por los que el agua de escorrentía entra directa y rápidamente en el acuífero (Figs. 4 y 5).

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



## Las aguas subterráneas y el abastecimiento de Archidona

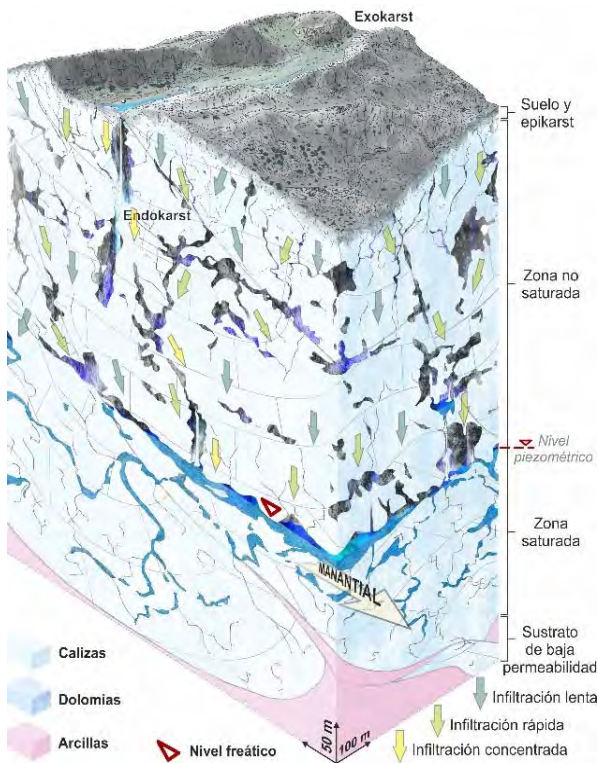


Figura 5: Representación esquemática del interior de un macizo kárstico

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

Los manantiales aparecen en los puntos donde el nivel piezométrico del acuífero intersecta la superficie topográfica. Son, por tanto, lugares de surgencia y drenaje natural del agua subterránea infiltrada y almacenada en el acuífero. En general, los manantiales presentan caudales más elevados en periodos de lluvias abundantes, pero no todos responden de igual modo ante estas; depende del tiempo empleado por el agua en recorrer la distancia que separa la zona de infiltración y la de descarga.

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

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

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

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



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

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

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

## Gestión sostenible de los acuíferos

Cuando un acuífero funciona en **régimen natural**, el volumen de agua que entra en él es igual al de sus salidas (Fig. 7A). Tan solo existe un cierto desfase temporal, debido a la mayor o menor capacidad de **regulación natural** que ejerce el acuífero, deducida a partir de las variaciones de caudal en los manantiales y de otros criterios. Sin embargo, como ha ocurrido en la sierra de Archidona, en ocasiones se actúa conscientemente sobre el acuífero para disminuir el caudal de una surgencia o galería, sobre todo si es muy irregular (comportamiento kárstico). Esta acción se denomina **regulación artificial** y tiene como fin aprovechar mejor los recursos hídricos subterráneos.

La regulación artificial y, en general, la explotación de los acuíferos se suele producir



mediante **bombes** en sondeos. Si se realiza adecuadamente, el aprovechamiento del agua mejora, pues se gana en garantía de suministro, al adaptarse los recursos a la demanda en el espacio y en el tiempo (Fig. 7B). En esta situación, el bombeo provoca el descenso, local o generalizado, de los niveles piezométricos, sin que ello conlleve la desaparición de las surgencias naturales.

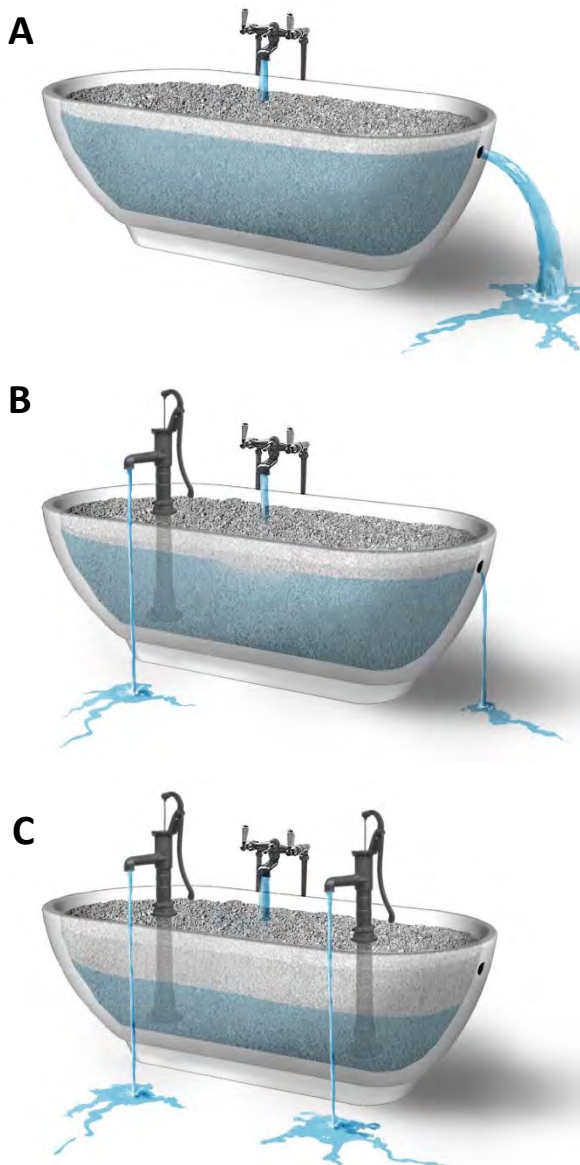


Figura 7: Esquema conceptual de gestión de un acuífero, bajo tres situaciones o grados de explotación diferentes: funcionamiento en régimen natural (A). Explotación (B). Sobreexplotación (C). Imágenes cedidas por Sergio Martos Rosillo y Rocío Spin

En casos de explotación intensiva (**sobreexplotación**), desordenada y abusiva de las aguas subterráneas el citado descenso puede llevar aparejado el agotamiento completo de los manantiales (Fig. 7C), una circunstancia que suele ir acompañada de una lógica contestación social, sobre todo si los manantiales sustentan espacios protegidos desde el punto de vista medioambiental o cultural. En otras ocasiones, la sobreexplotación de los recursos subterráneos almacenados en los acuíferos genera problemas de pérdida de calidad del agua (aumento de la salinidad, arrastre de finos -turbidez-), que se suman a los asociados a la disminución de cantidad.

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

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



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

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

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

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

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

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

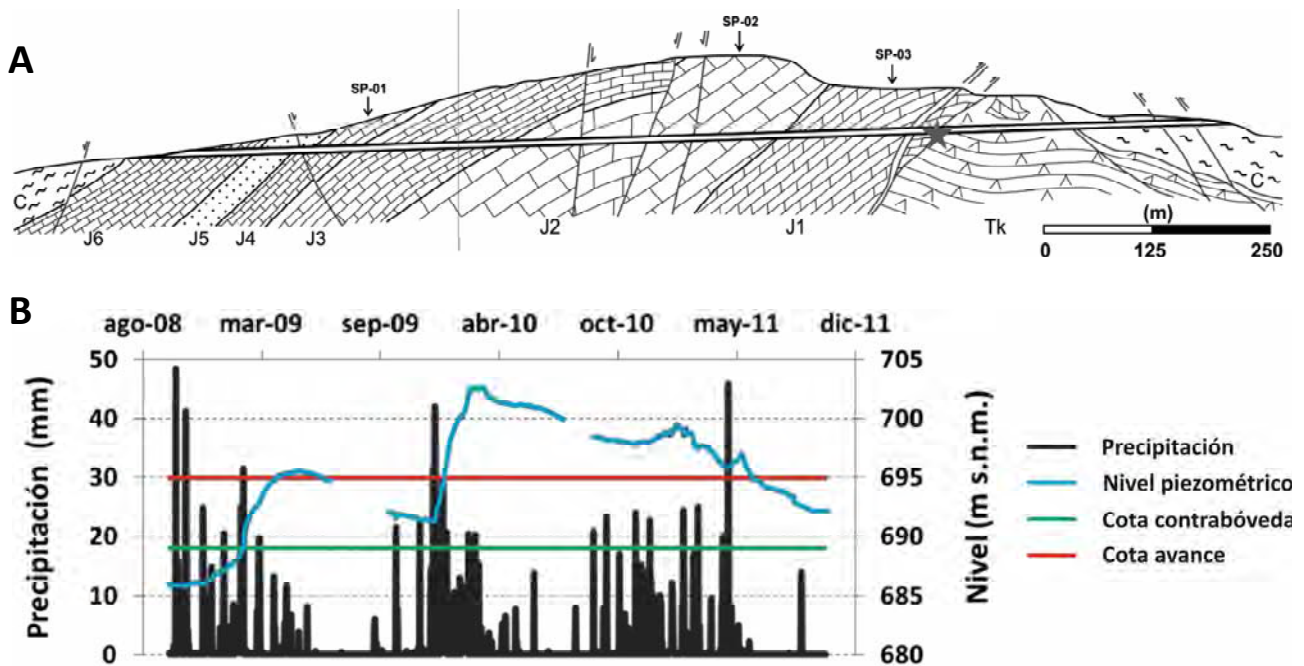


Figura 9: A) Corte geológico a lo largo de la traza del túnel de Archidona. El trazado del túnel se puede observar en la figura 1. B) Comparación entre precipitaciones y evolución del nivel piezométrico en el entorno de túnel. Tomado de Fernando Sola y Antonio Pulido-Bosch (2009)



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

## Consideraciones sobre el HIDROGEODÍA 2023

La excursión del **Hidrogeodía 2023** tiene lugar en el casco urbano de Archidona, por un itinerario definido. Se ruega no arrojar residuos a lo largo del recorrido. Se recomienda el uso de ropa y calzado adecuados, gorra, agua, comida y protección solar. Asimismo, la organización se reserva el derecho a suspender la actividad si las condiciones climáticas imposibilitan el normal desarrollo de la misma.

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

## Agradecimientos

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

## Para saber más....

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

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

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

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

**Linares Girela, L. (2007):** *Sierra de Archidona (M.A.S. 060.030). En: Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Tomo 2, pp 85-88. Instituto Geológico y Minero de España-Diputación de Málaga-Universidad de Málaga. ISBN vol II: 978-84-7840-699-9. ISBN Obra completa: 978-84-7840-675-3. Depósito legal: B1-2911-07.*

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

## ORGANIZA:



## COLABORAN:



## Los monitores del Hidrogeodía 2023

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

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

## Itinerario HIDROGEODÍA Málaga 2023





26 de marzo de 2023

# “La Mina de agua” de Carbonero el Mayor

**EXCURSIÓN GRATUITA**

Plazas limitadas

**IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA**

Inscripciones en:

<https://www.geologiadesegovia.info/>

Se recomienda llevar:

- ropa y calzado cómodo
- agua y almuerzo

**PUNTO DE ENCUENTRO:**  
**Plaza Mayor de Carbonero el Mayor (Segovia)**



**Hora de comienzo: 9:45 h.**

**Hora de finalización: 14.00h.**



**Información detallada y guion de la ruta en:**

[www.geologiadesegovia.info](http://www.geologiadesegovia.info)

[www.aih-ge.org](http://www.aih-ge.org)

**ORGANIZA:**



**geología**  
de Segovia

**COLABORAN:**







# "La Mina de agua" de Carbonero el Mayor

ORGANIZADO POR:



geología  
de Segovia

COLABORA:



Ayto. Carbonero  
el Mayor

CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

IGME  
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA



**COORDINA:**

Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español



**Asociación Internacional de Hidrogeólogos**  
**Grupo Español**

**ORGANIZA:**

Geología de Segovia



**geología**  
**de Segovia**

**COLABORAN:**

Ayuntamiento de Carbonero el Mayor



Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España, CSIC



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



**IGME**  
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Imagen de portada: Caños de la fuente y pilón de la Mina en Carbonero el Mayor. Fotografía de Esteban Casaux

## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). La Hidrogeología es la rama de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre.

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Segovia, el Hidrogeodía se celebra en Carbonero el Mayor (fig. 1) el 26 de marzo de 2023. Se realizará una ruta guiada urbana para descubrir la estructura, conocida como “La Mina”, que desde el siglo XVIII permitió aprovechar las aguas subterráneas del entorno del municipio.

La ruta recorrerá 6 paradas que permitirán conocer la historia y tecnología hidráulica de esta obra, así como entender el funcionamiento de los variados acuíferos que abastecen a esta “Mina de agua”. También podremos conocer la geología que rodea a Carbonero el Mayor, clave para entender el comportamiento de sus aguas subterráneas. La parada 7 nos mostrará algunos de los usos para los que se utilizó el agua que se extraía de La Mina (fig. 2).

## CÓMO LLEGAR

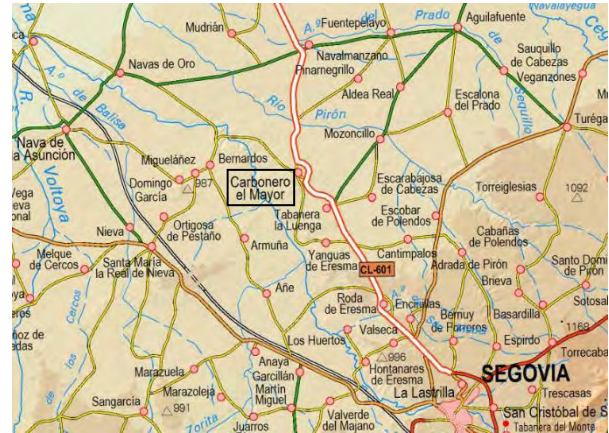


Figura 1- Mapa 1:200000 (IGN) con la situación de Carbonero el Mayor.

El Hidrogeodía Segovia 2023 tiene un recorrido de 2,5 kilómetros por el casco urbano de la localidad de Carbonero el Mayor.

El punto de encuentro es la Plaza de España, junto al ayuntamiento de la localidad. En la biblioteca del ayuntamiento se podrán ver unos paneles que describen la Mina de agua de Carbonero el Mayor. Corresponden a una exposición que tuvo lugar en 2007 a la que se han añadido tres más que reflejan las investigaciones históricas de Santiago Rincón, y otro panel más con esquemas hidrogeológicos nuevos de Jesús del Pozo.

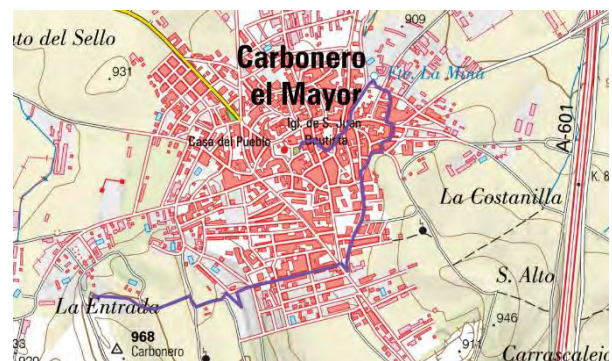


Figura 2- Mapa 1:25000 (IGN) con el recorrido urbano del Hidrogeodía 23.



## ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A finales del siglo XVIII, los cerca de 1900 habitantes de Carbonero el Mayor (1891 en el año 1785) además de las actividades ganaderas desarrollaban una importante actividad artesana (fabricación de tejas, baldosas y ladrillos). Todas esas actividades requerían de abundante agua. Por ello, debido a los habituales problemas que presentaban los pozos del pueblo, el 16 de febrero de 1781, el concejo decidió construir “La Mina” para abastecer al municipio.

Se conservan multitud de documentos que describen el proceso constructivo de la galería, cuyas dimensiones quedaron establecidas en 4 pies de ancho (1,20 m) y 6 pies de altura (1,80 m). Avanzando 1 vara (83 cm) cada 2 o 3 días y por trabajador, los trabajos de excavación se llevaron a cabo entre junio y diciembre de 1781.

Esta galería drenante, similar a los antiguos ‘qanats’ de origen islámico, es, por lo tanto, una obra de ingeniería hidráulica perfectamente planificada y, aunque se observan rectificaciones en las galerías para alinear el túnel principal, con notable éxito de ejecución.



Figura 3  
Galería de La Mina en Carbonero el Mayor.  
Fotografía de M.F.Vicente.

## ENTORNO GEOLÓGICO

Carbonero El Mayor está situado en una auténtica encrucijada, no sólo de carreteras, sino de conjuntos geológicos (fig. 4); por lo que no es extraño que en las inmediaciones de la Villa puedan encontrarse más de media docena de tipos de rocas diferentes, tan dispares como pizarras o arenas silíceas, y con edades que abarcan desde los 600 millones de años (pizarras proterozoicas a cámbricas) a apenas unas decenas de miles (arcillas, limos, arenas y gravas de fondo de vaguadas cuaternarias).

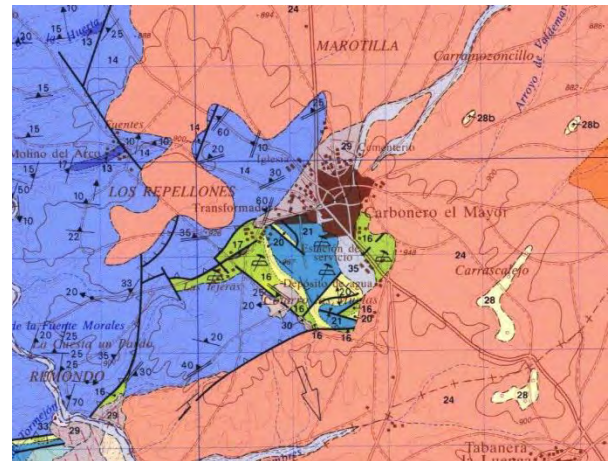


Figura 4 – Mapa geológico 1:50000 (MAGNA, IGME, CSIC) del entorno de Carbonero el Mayor.

## LA HIDROGEOLOGÍA DE LA MINA DE AGUA

En la disposición de La Mina y los elementos que contiene no hay nada casual o superfluo, sino, por el contrario, toda una serie de ingeniosos sistemas para asegurar un caudal de agua con cierta constancia y además con adecuada calidad. La excavación requirió comenzar perforando varias decenas de metros en la toba, a pesar de que se sabía con certeza que en estos materiales el nivel freático está más profundo y por tanto son estériles, desde el punto de vista

hidrogeológico, para su captación mediante galerías poco profundas (fig. 5). El motivo de esta decisión es únicamente la búsqueda de un punto topográficamente más bajo que la cota a la que se sitúa el nivel freático en el fondo de la galería; lugar que únicamente se localizaba próximo, en la vaguada de este arroyo. El sistema de excavación, con técnicas mineras convencionales manuales, requería la evacuación de estériles; labor que se vio facilitada mediante la construcción de pozos verticales de evacuación (mediante simples tornos de mano), posteriormente cegados con relleno y sustentados en el techo de la galería con arcos fajones o bóvedas de ladrillo (fig. 3); y en superficie muchas veces tapados con una laja de piedra (pizarra o caliza), por si fuera preciso reabrirlos con posterioridad. A la vez servían para ventilar la galería, evacuar gases de las velas, candiles y carbureros, y facilitar el avance de los trabajos.

A medida que se avanzaba hacia el conjunto de arenas silíceas y arcillas cretácicas comenzaron a surgir los primeros problemas de estabilidad geotécnica de la galería, motivados por la escasa coherencia de los materiales y la existencia de cada vez mayor abundancia de agua subterránea en la zona no saturada. Estos problemas se solventaron primero poniendo una bóveda de ladrillo soportada por muros de mampostería, y luego

mediante una cubierta formada por losas y lajas de pizarra.

El final de la galería está en las arenas silíceas y arcillas, por lo que para evitar su desmoronamiento y continuo fluir, se taponó con una acumulación de bloques que, a la vez, servían de filtro o tamiz para estabilizar el agua y decantar los primeros elementos en suspensión (arcillas y limos). El agua que circula por la galería lo hace directamente en superficie del lecho de la misma, en el tramo en que discurre por las arenas silíceas y arcillas y por lo tanto sobre el nivel freático local, ya que no hay riesgo de que se infiltre. En cuanto entra en la zona de toba, con nivel freático más profundo, para evitar que se infiltre, se conduce mediante tubo cerámico ligeramente enterrado en la solera. Como abundan las arcillas y los limos, tanto en el conjunto de origen (arenas silíceas y arcillas) como en la matriz de la toba, el agua arrastra en suspensión pequeñas cantidades de los mismos. Para evitar que llegue con turbidez a la fuente y el pión, se dispusieron periódicamente casi una treintena de arquetas prismáticas que interrumpen el tubo cerámico. A la vez que hacen descender la velocidad del flujo y facilitan la decantación de las arcillas y limos, sirven de registro para el control de posibles obstrucciones y fugas en el conducto entre dos arquetas consecutivas.

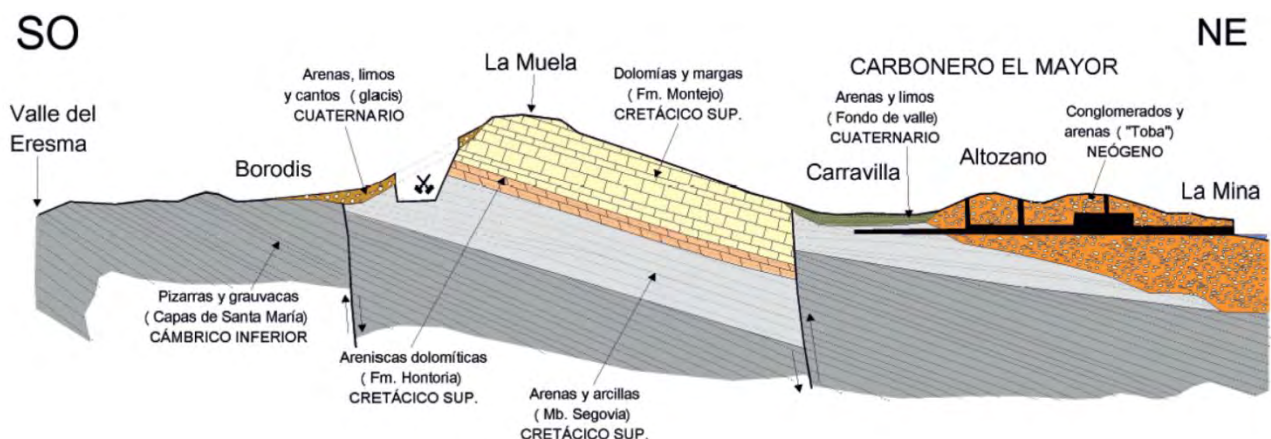


Figura 5 - Corte geológico idealizado del entorno de Carbonero el Mayor que muestra el corte de la excavación de La Mina de Carbonero el Mayor. Fuente: Díez-Herrero (2006)



## EL RECORRIDO

### PARADA 1- BOCA DE ENTRADA A LA GALERÍA Y PILÓN

La boca de entrada a la galería (fig. 6) está cerrada mediante una verja que durante el Hidrogeodía 2023 se abrirá para observar *in situ* los primeros metros bajo tierra. En realidad, corresponde al tramo final de la galería drenante. Desde ahí, una tubería lleva el agua hasta un pilón donde sale al exterior. Esta zona fue reconstruida en el año 2000, manteniendo el empedrado del suelo utilizado antiguamente como recinto ferial de ganado.

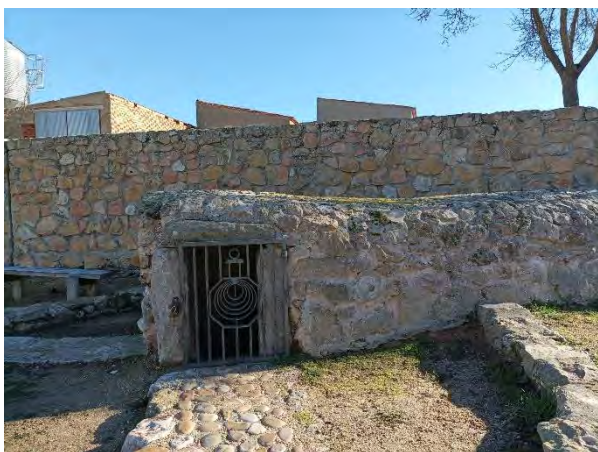


Figura 6 – Boca de entrada a la galería. Fotografía de M.F.Vicente.

### PARADA 2 – POZO DE ACCESO EN LA CALLE CARRAMAJUELOS

Este pozo de acceso a la galería servía de salida de extracción del material picado. Desde aquí el túnel continúa bajo las casas de la calle Mozoncillo. Este primer tramo tiene una altura de unos 170 cm y una anchura de unos 110 cm, lo que permite a una persona andar de pie. La galería aquí conserva las huellas del pico de mano (fig. 7) sobre la “toba” (según terminología local), roca formada por arenas arcósicas y gravas empastadas en una matriz arcillosa.



Figura 7 – Detalle de la “toba” que forma las paredes y marcas de la excavación de las galerías en ella. Fotografía de M.F.Vicente.

### PARADA 3 – CALLE SANTIAGO

Subiendo por la escalinata y una vez en la calle Santiago, en ella se observa la “toba”, resultado de la sedimentación de abanicos aluviales. En esta zona existiría otro pozo de acceso ahora totalmente sellado y cubierto de sedimentos. En este sector la galería presenta una altura de hasta 395 cm. La galería sigue hasta un derrumbamiento que ocurrió en la década de 1930, por el que se filtra el agua pero que no permite el paso en por el pasadizo. Al final de esta calle, la escasa resistencia del suelo obliga a reforzar las paredes de la galería con muro de piedra.

### PARADA 4 - POZO DE ENTRADA CON BROCAL

Desde el pozo con brocal, de unos 9 m de profundidad, se observa el acceso a la galería (asomándose al pozo se observan las dos bocas a uno y otro lado del pozo vertical). Este pozo está situado en la calle Arroyo Adobera. Aquí la galería se bifurca, una de estas ramas tiene un recorrido muy corto bajo la calle San Jerónimo, donde se puede observar uno de los manantiales que abastece de agua la Mina (fig. 8).



Figura 8 - Corte geológico idealizado de detalle de los elementos de La Mina de Carbonero el Mayor. Fuente: Díez-Herrero (2006).

## PARADA 5 - FINAL DE LA GALERÍA

Esta zona junto al actual parque de juegos, donde se inicia la calle Arroyo Adobera, probablemente corresponde al lugar donde comienza la galería que recoge las aguas que manan desde los materiales cretácicos cercanos. Sería necesario un estudio más exhaustivo con tecnología de georradar que determinase hasta dónde llega exactamente el hueco excavado. Los vecinos del lugar relatan que llegaron a conocer un puente en esta zona y una zona encharcada (más o menos donde está hoy el edificio de Basilio Herrero), donde parece ser que “se hacían botijos con una arcilla muy fina que salía en esta zona” (testimonio oral P. Rodríguez).

## PARADA 6 - LA MUELA

Desde este punto se puede observar una panorámica general de la geomorfología del entorno, así como la zona de recarga del acuífero kárstico cretácico. Además, se observa la cuenca hidrográfica y sedimentaria del Duero.

Litología: dolomías masivas, calizas, margas, areniscas dolomíticas y a veces, arrecifes de rudistas (Dolomías de Montejo de la Vega) del Santiense-Campaniense (Cretácico Superior).

## PARADA 7 - LAS TEJERAS

En esta parada se puede reconocer la formación arenas y arcillas de Segovia, de donde se han extraído tradicionalmente las arcillas para las tejas en esta zona. El uso de la arcilla y su explotación en esta zona se pone de manifiesto en los restos de antiguos hornos de ladrillos y tejas, así como tejas y hornos más modernos.

Litologías (todas ellas del Cretácico superior):

- Arenas, arcillas y gravas (Arenas y arcillas de Segovia) del Turoniense-Coniacense.
- Areniscas dolomíticas (Hontoria) a veces con rudistas (Ituero y Lama) del Coniacense-Santiense.
- Dolomías masivas, calizas, margas, areniscas dolomíticas y a veces, arrecifes de rudistas (Dolomías de Montejo de la Vega) del Santiense-Campaniense.



## CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA SOBRE EL HIDROGEODÍA 23 EN SEGOVIA

La inscripción en el Hidrogeodía Segovia 2023 supone la aceptación de las siguientes normas y condiciones:

- El transporte entre el lugar de residencia y la localidad de Carbonero el Mayor correrá por cuenta del participante.
- Se exigirá puntualidad en la hora de inicio, por lo que se ruega acudir con 5-10 minutos de antelación, para confirmar la asistencia e inscripción.
- Está permitida la participación de menores de edad (indicándolo al inscribirse), pero siempre acompañados por un padre, madre o tutor, que se responsabilizarán de ellos durante toda la actividad.
- La organización no dispone de un seguro de responsabilidad civil, por lo que la participación en la actividad supone la aceptación de que las instituciones y personas organizadoras no se harán responsables de daños y desperfectos que sufran los participantes o que éstos puedan causar.

## ¿CÓMO CITAR ESTA GUÍA?

Vicente, M. F; Casaux, E. (coordinadores). Díez, A.; del Pozo, J.; Rincón, S.; Lozano, G.; Casaux, E. y Vicente, M.F. (autores). 2023. "La Mina de Agua" de Carbonero el Mayor. Guía del Hidrogeodía 2023 Segovia. Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH-GE), Ayuntamiento de Carbonero el Mayor y Asociación Geología de Segovia. Segovia, 26 de marzo de 2023, 11 páginas DIN-A4.

## CRÉDITOS DEL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2023



geología  
de Segovia

### COORDINACIÓN:

M. Fuencisla Vicente y Esteban Casaux

### MONITORES-GUÍAS DE LA RUTA:

Andrés Díez Herrero y Juana Vegas (IGME-CSIC y Geología de Segovia); Nuria Sacristán, Juan Palomo, y Esteban Casaux (Geología de Segovia); Oscar Cabestrero (Universidad Complutense); Pablo Rincón (TYPESA).

Con la colaboración especial de:

Santiago Rincón, Primitivo Rodríguez y Juan Antonio Herrero (autores de la exposición de paneles sobre La Mina).

### MAQUETACIÓN DE LA GUÍA:

Gonzalo Lozano Otero (IGME, CSIC y Geología de Segovia)

La organización de este Hidrogeodía no hubiera sido posible sin la participación altruista de todos los monitores, sin la coordinación de los miembros de Geología de Segovia y sin la colaboración del ayuntamiento de Carbonero el Mayor; a todos ellos les agradecemos su interés y colaboración en este evento.

Además, agradecemos la implicación en este acontecimiento a la alcaldesa M<sup>a</sup> Ángeles García Herrero quien ha realizado las gestiones oportunas para facilitar la celebración del Hidrogeodía en Carbonero el Mayor; a Santiago Rincón que ha dedicado su tiempo a la investigación de “La Mina” y a la preparación y el desarrollo del Hidrogeodía 2023; a Primitivo Rodríguez quien también ha estudiado en detalle esta galería subterránea y nos ha aportado datos de gran interés.



Díez-Herrero, A. (2006). La Mina de Carbonero El Mayor. Informe técnico y material gráfico (bloque diagrama y cortes geológicos) para exposición divulgativa. Ayuntamiento de Carbonero El Mayor, 4 pp. + 3 gráficos (inédito).

Díez Herrero, A. (2019). La Gea y la Historia de Segovia. En: Martínez Caballero, S. (Coord.), Historia de Segovia y su provincia, Vol. I, La Gea. La Prehistoria. La Protohistoria, cap. I, pp. 18-154, Diputación de Segovia, Segovia, 604 pp.

Fernández Escalante, E. (2010). Caminitos del Agua. Tres rutas hidrogeológicas en la provincia de Segovia. Ed. GRAFINAT-Método Gráfico, Madrid.

Rincón, S. (2021). El vertiginoso ritmo de excavación de La Mina que vino a resolver los problemas de escasez y salubridad del agua en el siglo XVIII. La Revista. Carbonero el Mayor. Pp. 13-20.

Rodríguez, P. (2008). La Mina de Carbonero el Mayor. En: Hermosilla Pla, J. (Coord.), Las galerías drenantes en España. Análisis y selección de qanat(s). Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, Madrid, pp. 179-186.

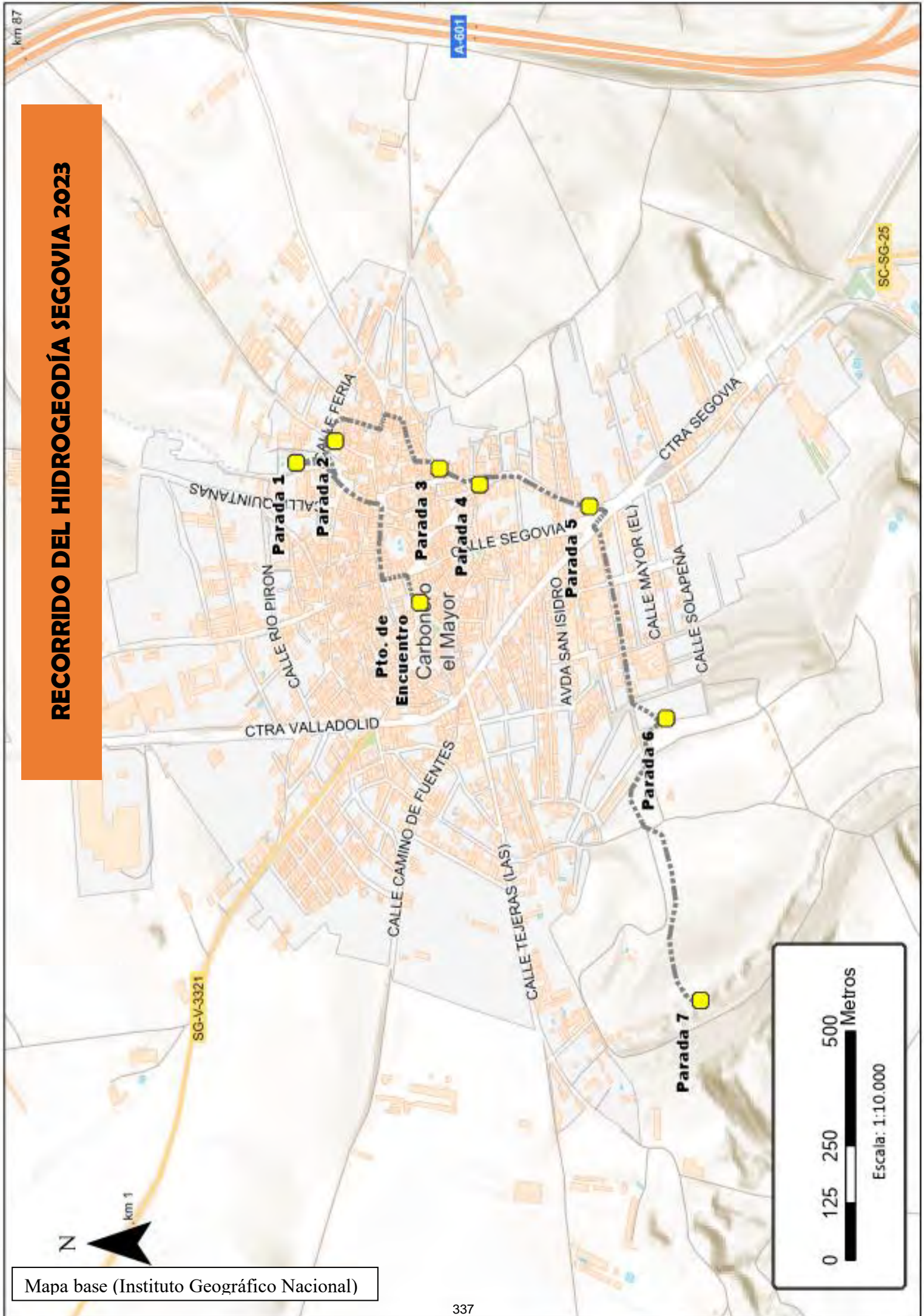


## NOTAS

## NOTAS



# RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2023



Mapa base (Instituto Geográfico Nacional)





**25 de marzo 2023**

# **ORIGEN Y CAUSAS DE ALTERACIÓN DE LAGUNAS DE CAMPIÑA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA**

**EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA**

Plazas limitadas

**PUNTO DE ENCUENTRO: El Coto de Las Canteras (Osuna)**

**HORA SALIDA: 10:00**

**HORA DE LLEGADA (estimada) : 15:00**

**IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA**

**e-mail de contacto: mrodod@upo.es**

**Se ruega puntualidad. Ropa y calzado de campo y agua.**

**ORGANIZAN:**



**PATROCINA:**



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



**DÍA  
MUNDIAL  
DEL AGUA**

**22 de marzo de 2023 - Día Mundial del Agua**

¿Por qué las aguas subterráneas son tan importantes?

**Concurso del Agua Subterránea, 2023**

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

¡PARTICIPA!





## EL HIDROGEODÍA 2023

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

En **Sevilla**, el Hidrogeodía **2023** se celebra en la laguna del **Gosque** (Martín de la Jara), el sábado **25 de marzo** (Fig. 1).



Figura 1: Ortofotografía de la laguna del Gosque. El área coloreada en azul representa la intensidad de inundación media desde que hay registros satelitales Landsat (1984-2021). Fuente: Surface Water Explorer (<https://global-surface-water.app>)

## CÓMO LLEGAR

Nuestra ruta comenzará en el Coto de Las Canteras de Osuna (Fig. 2), desde el que se obtiene una magnífica panorámica de la campiña sevillana. La ruta hasta el Coto de las canteras se puede descargar pinchado [aquí](#).



Figura 2: Punto de encuentro, el Coto de Las Canteras (Osuna). Fuente: Google Maps.



Figura 3: Laguna del Gosque desde su borde NE (Octubre 2020).

Desde el Coto de Las Canteras nos trasladaremos a Martín de la Jara, por la carretera A-378. La segunda parada será en la laguna del Gosque (Fig. 3). Finalmente, se realizará una tercera parada en los alrededores de la carretera nacional A-406, entre las poblaciones de Martín de la Jara y Sierra de Yeguas, para discutir el efecto de la tectónica sobre el origen de las lagunas de campiña en general, y sobre la laguna del Gosque en particular.

## QUÉ VEREMOS

El objetivo de esta visita es analizar sobre el terreno el origen y las causas de alteración de las principales lagunas de campiña de la provincia de Sevilla. Estos ecosistemas se sitúan en cuencas endorreicas<sup>1</sup>, es decir, sin salidas hacia ningún cauce fluvial. Las lagunas de campiña representan una de las tipologías de humedales continentales más peculiares de Europa. A pesar de su diversidad hidrológica, suelen poseer un hidroperiodo<sup>1</sup> temporal y variable, una escasa altura de la lámina de agua y aguas de carácter salobre a salino. En esta excursión se explicará el origen de las lagunas de campiña. En general, éste se relaciona con la presencia de materiales arcilloso - evaporíticos subbéticos (Fig. 4), afectados por deformación plástica y procesos tectónicos y halocinéticos<sup>1</sup>. No obstante, en la génesis de determinadas lagunas también pueden intervenir otro tipo de procesos como la disolución kárstica o la erosión eólica.

**Parada 1:** En la primera parada se explicará el contexto geológico y tectónico en el que se sitúan las principales lagunas continentales de la campiña sevillana. Desde el mirador del Coto de Las Canteras se obtiene una panorámica de la campiña de Osuna – Lantejuela – Écija, donde se sitúa uno de los sistemas lacustres más importantes de la provincia: el complejo endorreico de las lagunas de La Lantejuela (Fig. 5). La mayor de ellas, con 3,5 km de longitud máxima, es la laguna de Ruiz Sánchez, que se puede observar en el extremo NW de la figura 5. La laguna de Ruiz Sánchez (Écija) fue drenada con fines agrícolas a finales del s. XIX, pero la salinidad del suelo hizo inviable la puesta en cultivo de los terrenos. Se restauró en el año 2016 y actualmente están previstas nuevas actuaciones para la mejora de las entradas por escorrentía al vaso.

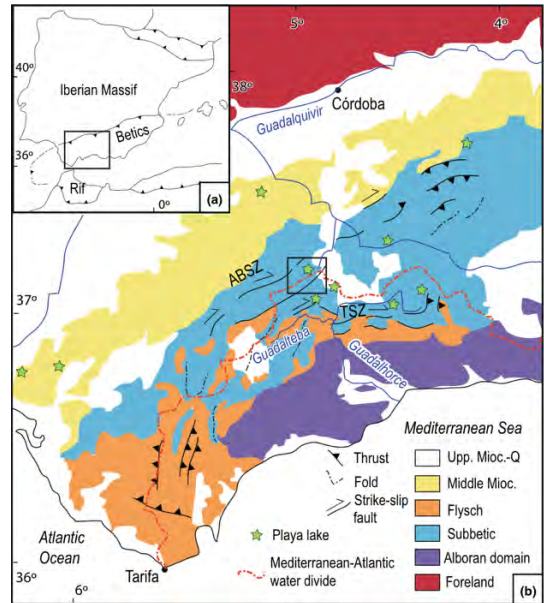


Figura 4: (a) Esquema tectónico de la Península Ibérica (b) Contexto estructural de las béticas occidentales divisoria Atlántico Mediterránea y lagunas de campiña (Playa lake). La laguna del Gosque se encuentra en el cuadrado central (Jiménez-Bonilla et al., 2022).

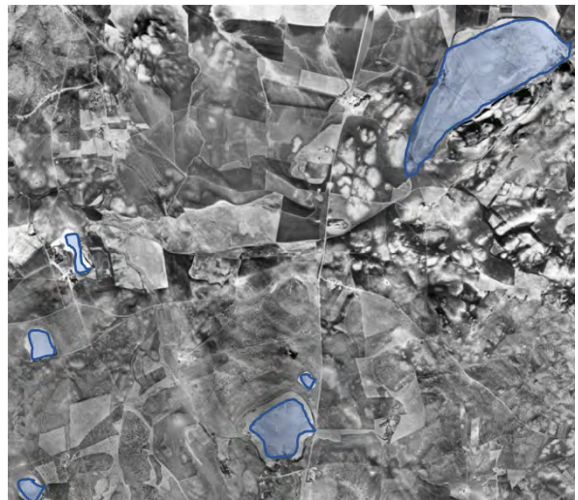


Figura 5: Lagunas de La Lantejuela en 1956, el momento de la transformación de la campiña andaluza. Este complejo endorreico se extendía por cerca de 300 kilómetros cuadrados de la campiña sevillana, entre las localidades de Osuna, Écija, Marchena y Lantejuela. Tiene su origen en las características de su relieve y suelo, que dificultaban el drenaje natural de esta extensa llanura, provocando la existencia de numerosas lagunas y el encharcamiento de los terrenos tras los periodos de lluvias.

<sup>1</sup> Véase el apartado de Glosario y Conceptos Básicos



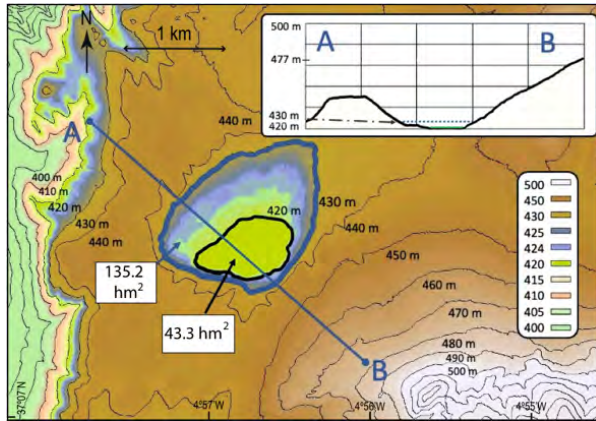


Figura 6: Mapa topográfico y perfil en el que se muestra la superficie actual de la cubeta lacustre de la laguna del Gosque (43,3 hm<sup>2</sup>) y la paleo-cubeta (135,2 hm<sup>2</sup>) (Jiménez-Bonilla et al., 2022).

**Parada 2:** En la segunda parada se describirán las principales características de la laguna del Gosque y se discutirá su origen geológico y evolución geomorfológica. Desde el punto 2 se observa gran parte de la cuenca de drenaje actual que vierte a la laguna. Esta área (1198,7 hm<sup>2</sup>; Tabla 1) abarca afloramientos de calizas y dolomías de la sierra de los Caballos (al E), además de margas, arcillas y evaporitas. La superficie inundable de la laguna (AFS), que se encuentra sobre rocas impermeables, es de 43,3 hm<sup>2</sup> (Fig. 6 y Tabla 1). La cubeta de la laguna tiene una topografía llana localizada a 420 m s.n.m. (Fig. 6). Las lagunas endorreicas alojadas sobre rocas impermeables como la del Gosque tienen balances hídricos sencillos, con entradas provenientes básicamente de la escorrentía y salidas por evapotranspiración. Por lo tanto, la relación entre el área de la cuenca de drenaje y el área inundable suele ser constante (valores entre 10 y 30 en este tipo de lagunas en Andalucía). Por encima de la laguna actual se encuentra otra superficie llana localizada a 430 m s.n.m. y separada de la AFS actual por un suave escarpe (Fig. 6). Esta superficie está probablemente relacionada con una laguna más antigua que tenía tres veces más área que la actual (135,2 hm<sup>2</sup>). Esta disminución de la AFS puede relacionarse con una disminución en las entradas o un aumento de las salidas de agua. Si consideramos un régimen de precipitaciones similar durante el último milenio y no hay

extracciones de agua significativas en la cuenca de drenaje con fines agrícolas, esta disminución de la AFS podría deberse a una reducción en el área de la cuenca, disminuyendo las entradas de agua a la laguna.

Conforme a esta hipótesis se ha dibujado una cuenca vertiente antigua y en equilibrio con la antigua superficie inundable (Fig. 7 y Tabla 1). Parte del área que anteriormente vertía a la laguna del Gosque es actualmente drenada por el arroyo de la Albina (Fig. 7).

	W	AFS	W/AFS
EGP-L	1198,7 hm <sup>2</sup>	43,3 hm <sup>2</sup>	27,7
Paleo EGP-L	3328,1 hm <sup>2</sup>	135,2 hm <sup>2</sup>	24,6

Tabla 1: Valores de inundación media de la cubeta (AFS) y de la cuenca vertiente (WS) así como relación cuenca vertiente / cubeta (W/AFS) en la laguna del Gosque actualmente (EGP-L) y antes de la captura fluvial (Paleo EGP-L) (Jiménez-Bonilla et al., 2022).

**Parada 3:** En esta parada se pretende discutir la evolución reciente de cuencas endorreicas y la dinámica de las capturas fluviales. Desde el punto 3 se puede observar la antigua divisoria de aguas entre la cuenca endorreica del Gosque y el arroyo de la Albina (Fig. 7). El arroyo presenta un aumento de pendiente en su cauce en el punto donde capturó parte de la cuenca endorreica (K1; Fig. 7). Aguas abajo de este punto de captura hay conservada otra zona llana con sedimentos lagunares a una altitud de 420 m. Además, se encuentran yacimientos romanos que indican la presencia de una antigua laguna. La pendiente del cauce del río vuelve a aumentar considerablemente aguas abajo de esta zona llana (K1; Fig. 7). Desde esta parada se observa la superficie inundable de esta antigua laguna.

Con estos datos se puede reconstruir la evolución de la red de drenaje en la zona. Hace unos 2.000 años probablemente habría dos lagunas de considerable tamaño en equilibrio con sus cuencas vertientes, la del Gosque y otra situada en la ladera oriental de la sierra de los Caballos (Fig. 7). Con posterioridad a tiempos romanos, esta laguna sería capturada y drenada totalmente por el arroyo de la Albina. Durante los últimos 500 años, este arroyo capturaría también parte de la cuenca de drenaje de la laguna del Gosque (Fig. 7).

En los puntos de captura se ha observado un aumento de la pendiente del cauce de la Albina (K1; Fig. 7). Estos puntos coinciden con estructuras geológicas recientes, por lo que estas capturas y la posterior reducción del área inundable de las lagunas podrían estar asociadas a procesos de tectónica activa más que a un cambio climático o extracciones humanas en el caso de estas dos lagunas.

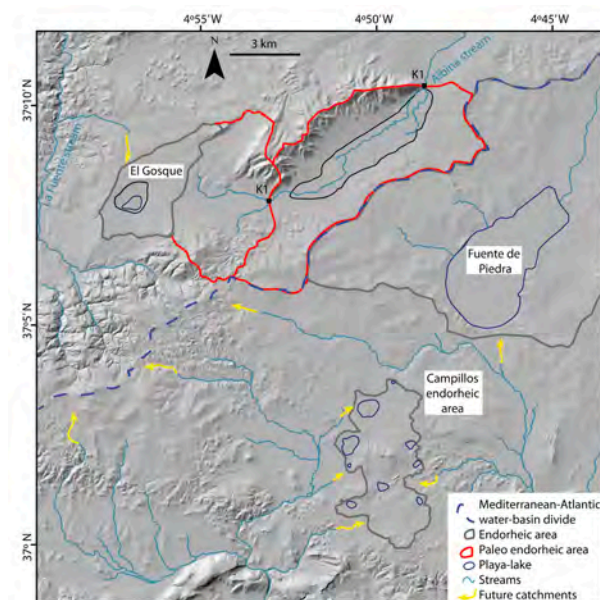


Figura 7: Mapa de sombras en el que se muestra la evolución de la red de drenaje y las cuencas endorreicas en la zona visitada (Jiménez-Bonilla et al., 2022).

## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA SEVILLA 2023

**Hora de inicio** en el punto de encuentro: 10:00h.

- Recorrido: 3 km
- Duración aproximada: 3,5 horas
- Dificultad: Baja
- Recomendaciones: calzado cómodo, agua y protección solar.

Los participantes en la actividad serán las personas inscritas mediante envío de un correo electrónico:

[mrodrod@upo.es](mailto:mrodrod@upo.es)

En el mensaje deben indicar el nombre completo y el DNI. Plazas limitadas atendiendo estrictamente al orden de inscripción. La organización no se responsabiliza de desperfectos, pérdidas ni robos.

## LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2023

La actividad estará conducida por los profesores Miguel Rodríguez Rodríguez, Manuel Díaz Azpiroz, Alejandro Jiménez Bonilla y Laszlo Hálmos (Universidad Pablo de Olavide) y Joaquín María Delgado Rodríguez (Universidad de Sevilla), con el apoyo de Ana Rebollo.



## GLOSARIO Y CONCEPTOS BÁSICOS

**Acuicludo:** *Formación geológica, que contiene agua en cantidad apreciable, pero no permite que el agua circule a través de ella. P.ej.: Limos, arcillas.*

**Acuífero:** *Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite la circulación del agua a través de ella. Arenas, gravas.*

**Acuífero confinado:** *Un acuífero confinado es un acuífero debajo de la superficie terrestre que está saturado con agua. Las capas de material impermeable se encuentran tanto por encima como por debajo del acuífero, lo que hace que esté bajo presión, de modo que cuando un pozo penetra en el acuífero, el agua se elevará por encima de la parte superior del acuífero.*

**Acuífero libre:** *Se trata de un acuífero cuya superficie superior del agua (capa freática) está a presión atmosférica y, por lo tanto, puede subir y bajar. Los acuíferos del nivel freático suelen estar más cerca de la superficie de la Tierra que los acuíferos confinados y, como tales, se ven afectados por las condiciones de sequía antes que los acuíferos confinados.*

**Acuífero semiconfinado:** *Se trata de un acuífero en el que el agua se encuentra a presión, pero alguna de las capas que lo confinan no es perfectamente impermeable y permite alguna filtración.*

**Acuífugo:** *Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella. P.ej.: Granito, esquistos inalterados, no fracturados.*

**Acuitardo:** *Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero el agua circula a través de ella con dificultad. P.ej.: Arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderadas.*

**Conductividad hidráulica:** *La conductividad hidráulica ( $K$ , en unidades SI de metros por segundo), es una propiedad de materiales porosos, suelos y rocas, que describe la facilidad con la que un fluido*

*(generalmente agua) puede moverse a través del espacio poroso, o red de fracturas.*

**Cuenca endorreica:** *Se trata de una cuenca de drenaje que normalmente retiene agua y no permite la salida a otros cuerpos de agua externos, como ríos u océanos, pero el drenaje converge en lagos o pantanos, permanentes o estacionales, que se equilibran por evaporación.*

**Halokinesis:** *o halotectónica, se trata de las geometrías y los procesos asociados con la presencia de espesores significativos de evaporitas que contienen sal dentro de una secuencia estratigráfica de rocas. Esto se debe tanto a la baja densidad de la sal, que no aumenta con el enterramiento, como a su baja resistencia.*

**Hidroperiodo:** *Describe la disponibilidad de agua de un humedal al caracterizar su patrón estacional e interanual de inundación. Porosidad La fracción volumétrica de espacios vacíos en un material.*

**Nivel freático:** *La superficie del agua en un acuífero libre, donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica.*

**Permeabilidad** *La capacidad de un medio para permitir el paso de gases o líquidos a través de ella.*

**Zona vadosa:** *Por encima del nivel freático se encuentra la zona no saturada. Se trata de la zona en la que el agua subterránea (el agua en los poros del suelo) está a la presión atmosférica ("vadoso" proviene de la palabra latina para "superficial").*

**Zona freática:** *La zona freática, zona saturada o zona de saturación, es la parte de un acuífero, debajo del nivel freático, en la que relativamente todos los poros y fracturas están saturados con agua.*

## PARA SABER MÁS

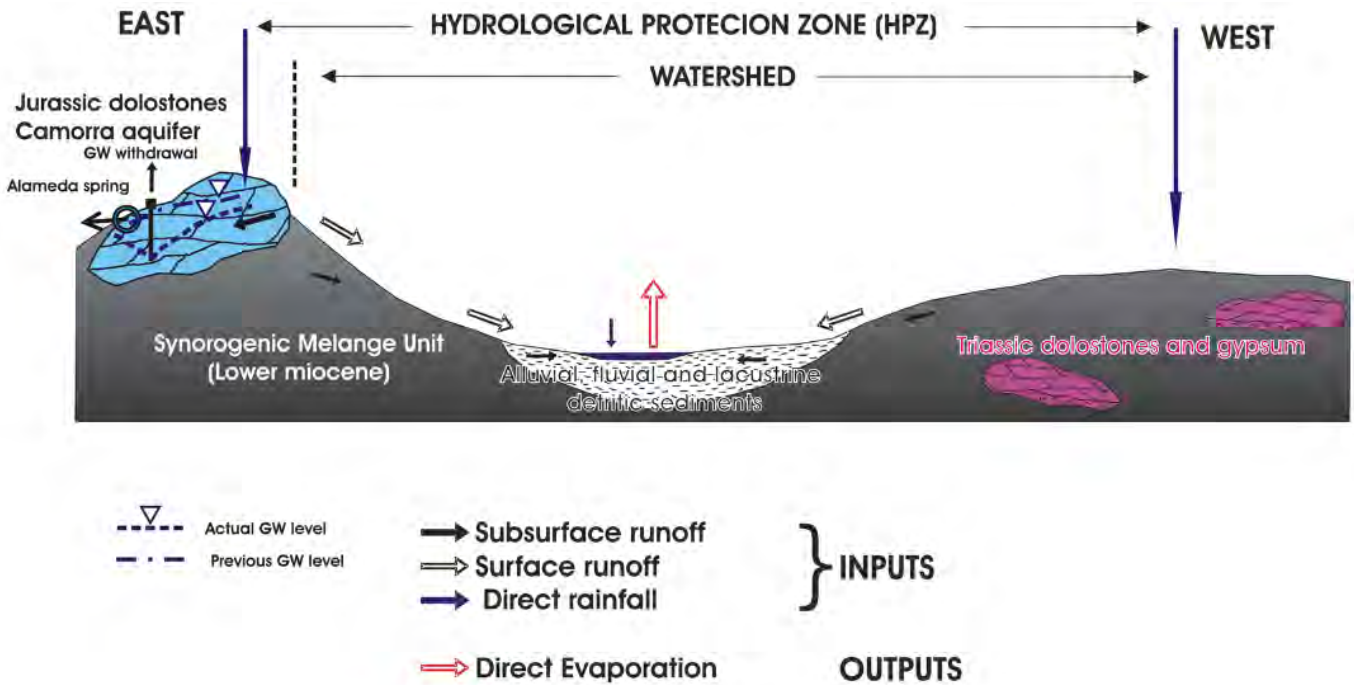
**Jiménez-Bonilla, A., Díaz-Azpiroz, M., & Rodríguez-Rodríguez, M. (2022).** Tectonics may affect closed watersheds used to monitor climate change and human activity effects. *Terra Nova*. <https://doi.org/10.1111/ter.12629>.

**Rodríguez-Rodríguez, M., Moral, F., Benavente, J., & Beltrán, M. (2010).** Developing hydrological indices in semi-arid playa-lakes by analyzing their main morphometric, climatic and hydrochemical characteristics. *Journal of Arid Environments*, 74(11), 1478–1486.

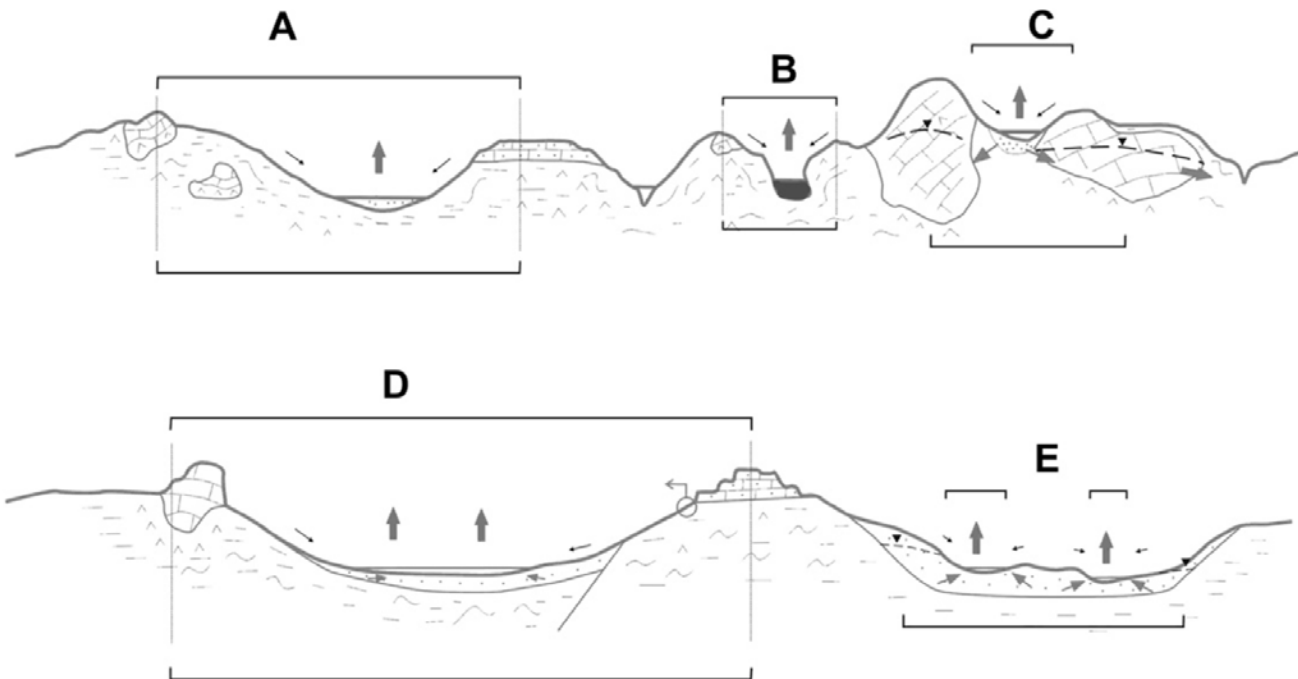
**Rodríguez-Rodríguez, M., Martos-Rosillo, S., Pedrera, A., & Benavente-Herrera, J. (2015).** Ratosa playa lake in southern Spain. Karst pan or compound sink? *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4364-2>.



## FIGURAS COMPLEMENTARIAS



Modelo conceptual de laguna de Campiña (Rodríguez-Rodríguez et al., 2015)

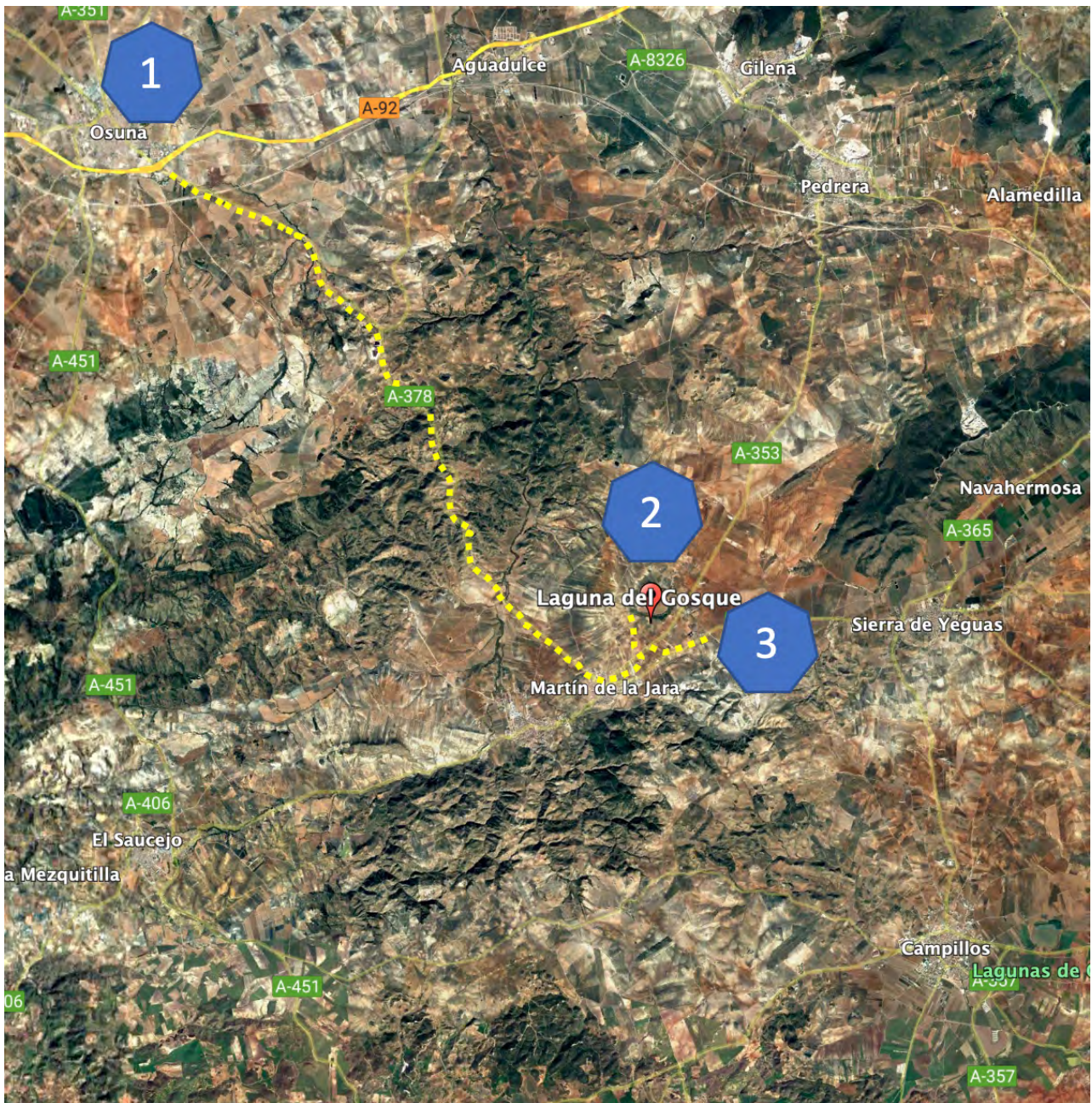


A: Laguna temporal de campiña sobre materiales poco permeables (Laguna del Gosque) B: Laguna permanente de gran profundidad (Laguna Grande de Archidona o laguna de Zóñar en Aguilar de la Frontera) C: Laguna temporal de recarga (Laguna Dulce de Lucena o Laguna de Caja en Antequera, con relación cuenca / cubeta alta). D: Laguna temporal sobre materiales poco permeables y origen tectónico (Laguna de Fuente de Piedra). E: Lagunas sobre materiales permeables (La Ballestera, con relación cuenca / cubeta baja); (Rodríguez-Rodríguez et al., 2010).

## ***NOTAS Y CORTE GEOLÓGICO***



# RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2023





**Sábado 25 de marzo 2023**

# **Lagunas de Villafáfila: las aguas subterráneas y la sal**

## **Villafáfila (ZAMORA)**

**Puntos de Encuentro AUTOBUS (Plazas limitadas):**

- 1) Salamanca, Fonseca 9:00 h
- 2) Zamora, Frente al IES Maestro Haedo, 9:50 h

**Punto de Encuentro Villafáfila (Sin límite de asistentes):**

**Plaza de San Juan (Villafáfila), 10:45 h**

**Hora de regreso a Salamanca: 15:30 h**

EXCURSIÓN GRATUITA

INSCRIPCIÓN PREVIA EN:



Laguna Salina Grande





## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En **Zamora**, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en “**La Reserva Natural de las Lagunas de Villafáfila**”, en concreto en el entorno de Villafáfila y de la Laguna Salina Grande. El objetivo de este Hidrogeodía titulado **las aguas subterráneas y la sal** es explicar con detalle el origen del agua de las lagunas, qué relación tienen con las aguas subterráneas, y a qué se debe su carácter salino.

## CÓMO LLEGAR

El punto de partida de nuestro recorrido será la Plaza San Juan en Villafáfila.



Figura 1: Punto de encuentro y paradas del Hidrogeodía 23.

En la plaza San Juan se hará una breve introducción sobre los procesos hidrogeológicos, el clima en la zona y el contexto regional. Desde ahí iremos caminando hasta la Fuente del Relator (parada 1) ubicada al NW de Villafáfila. Después visitaremos uno de los manantiales de agua salada junto a la Laguna Salina Grande (Parada 2) y nos acercaremos a la orilla de la laguna lo que se pueda (parada 3). Por último, nos dirigiremos en autobús a la Casa del Parque Natural de las lagunas de Villafáfila (parada 4) para visitar un sondeo profundo, las lagunas artificiales y el centro de interpretación.

## LA RESERVA NATURAL DE LAGUNAS DE VILLAFÁFILA

Las Lagunas de Villafáfila fueron declaradas Reserva Natural en 2006 por la Junta de Castilla y León.

Constituyen uno de los humedales más importantes del norte peninsular y el enclave más significativo para las aves acuáticas, esteparias y migratorias de Castilla y León, siendo la avutarda el ave más emblemática de esta reserva. Por este motivo están consideradas como “Zona de Especial Protección para las Aves” (ZEPA), forman parte de la Red Natura 2000 y es uno de los humedales protegidos por el convenio RAMSAR.



Figura 2: Laguna Grande, Villafáfila.

El complejo lagunar está formado por tres lagunas principales: Salina Grande, Barillos y laguna Salina, siendo la mayor la Laguna Grande o Salina Grande, que ocupa la posición central de los humedales.

## ENTORNO GEOLÓGICO. LAGUNAS DE VILLAFÁFILA

Las lagunas se sitúan en cabecera del río Salado, sobre una zona de escasa pendiente. Esta llanura lagunar se encuentra limitada por suaves lomas con un desnivel de hasta 50 m.

Los depósitos cuaternarios de las lagunas se apoyan sobre arenas y limos del Cenozoico de la Cuenca del Duero (Facies Tierra de Campos) que constituyen un acuífero que forma parte del gran sistema acuífero del Cenozoico de la cuenca del Duero. Éste ocupa buena parte del centro de Castilla y León, y es uno de los principales recursos hídricos del que se abastecen las personas, la agricultura y ganadería castellano leonesas. En la zona de Villafáfila y sus alrededores las rocas no contienen sal, aunque estas lagunas han abastecido de sal al occidente de Castilla y León desde la edad del Bronce hasta la época de la reconquista.



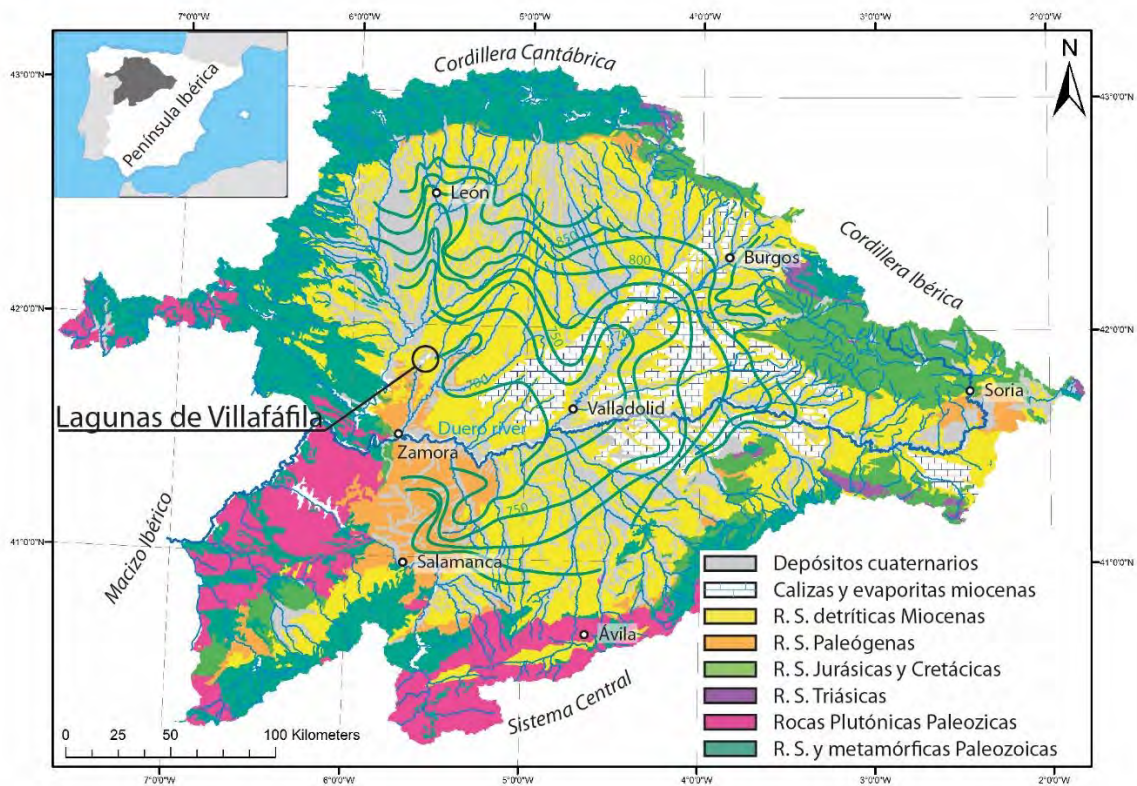


Figura 3: Mapa geológico de la Cuenca Hidrográfica del Duero e isopiezias del acuífero cenozoico (profundidad mayor de 200 m). Tomada de Huerta et al., 2021 .

## ITINERARIO

El itinerario consta de un total de 7 km, comenzando en el punto de encuentro, situado en la Plaza de San Juan, en la localidad de Villafáfila. Desde ahí se recorrerán unos 700 m, caminando, desde el punto de encuentro hasta la parada P1. Después se caminará unos 2 km hasta las proximidades de la Laguna Salina Grande (paradas P2 y P3). Tras la parada P3 se regresará al punto de encuentro en Villafáfila, de ahí hasta la Casa del parque en autobús (Parada P4).

## PARADAS

### PARADA I:

#### Fuente del Relator

Desde la plaza de San Juan, iremos caminando hacia el NW de Villafáfila, hasta encontrarnos con la fuente del Relator, cuyo manantial está protegido por una construcción abovedada.



Figura 4: Fuente del Relator, Villafáfila.

El agua subterránea se hace visible cuando aparece en superficie en forma de fuentes o manantiales. Aunque mucha gente considera que el agua en el subsuelo se encuentra en forma de lagos o ríos subterráneos, en muchos casos no es así.

El agua se encuentra en los poros de las rocas y es capaz de circular a través de los poros de mayor tamaño, en formaciones que denominamos acuíferos. Las zonas más superficiales del terreno contienen humedad aunque los poros tienen fundamentalmente aire. A esta zona la conocemos como **zona no saturada, o zona vadosa**. Por debajo, se encuentra la **zona saturada o zona freática** en la que todos los poros están saturados por agua. El nivel que marca la saturación de los poros por agua es el **nivel o superficie freática**.

Cuando la superficie freática es cortada por la topografía, se produce una surgencia natural del agua subterránea, que es lo que llamamos manantial. A las obras que hacemos para su aprovechamiento se las conoce con el nombre de **captaciones de agua**.

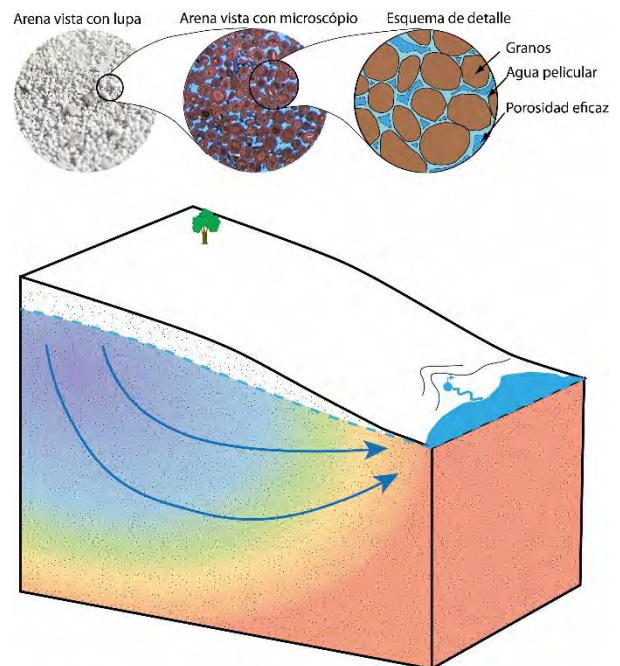


Figura 5: Porosidad de una roca detrítica y esquema del agua subterránea fluyendo desde las laderas al manantial de la Fuente del Relator y hacia las lagunas. Los colores rojos representan aguas más salinas, los azules más dulces.

La medida de la conductividad eléctrica del agua (capacidad para dejar pasar la corriente eléctrica) indica su salinidad. Un agua muy pura tiene una conductividad eléctrica muy baja, mientras que aguas muy salinas (salmueras) tienen valores muy elevados.

La fuente del Relator representa los aportes de aguas dulces de las laderas que rodean las lagunas de Villafáfila.

## PARADA 2:

### Manantiales próximos a las Lagunas

A diferencia de la fuente del Relator, en las proximidades de la laguna Salina Grande aparecen varios manantiales que aportan un pequeño caudal de aguas salobres.



¿Por qué aquí las aguas son salobres?

El análisis, a partir de diversas técnicas geoquímicas en las aguas y técnicas geofísicas sobre el terreno, nos ha permitido saber que las aguas salobres ocupan las partes profundas del acuífero y que ascienden hasta superficie en Villafáfila por la existencia de una elevación del fondo impermeable del acuífero. Esto obliga a las aguas que llevan más de 20.000 años viajando desde la Cordillera Cantábrica a ascender (Fig. 6).

¿Qué relación hay entre las aguas dulces y las aguas salobres?

Las aguas dulces al ser menos densas y proceder de las recargas locales de la lluvia hacia los acuíferos se sitúan en una posición más superficial en las laderas aunque hacia las zonas llanas que rodean las lagunas, las aguas dominantes tienen un carácter salobre. En estas zonas el nivel freático está próximo a la superficie del terreno y el flujo es ascendente. En primavera y verano se aprecian eflorescencias salinas.

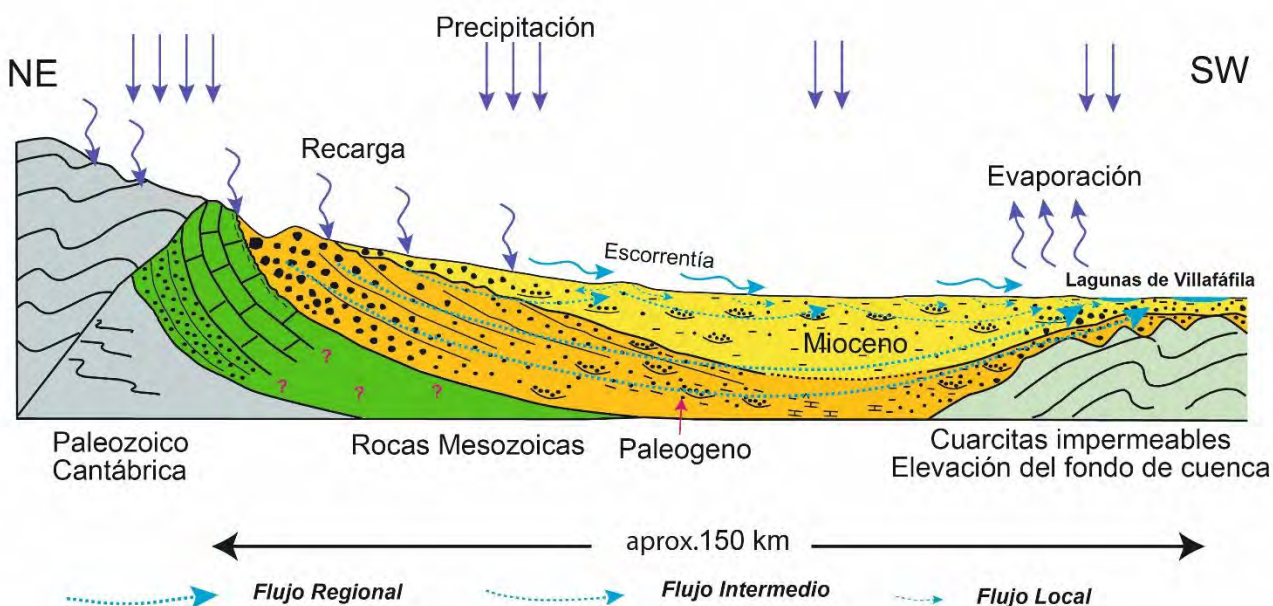


Figura 6: Esquema regional del flujo del agua subterránea en la cuenca del Duero, desde la Cordillera Cantábrica a las lagunas de Villafáfila

### PARADA 3:

#### La Laguna Salina Grande

Las lagunas de Villafáfila, tienen un comportamiento estacional. De enero a junio tienen agua alcanzando hasta los 30 cm. Hacia

el comienzo del verano el agua de las lagunas se evapora y se infiltra en el subsuelo hasta que se seca en torno al mes de Julio. Las lagunas, permanecen secas durante todo el otoño y no es hasta que se ha llenado toda la reserva del

suelo (diciembre-enero) que vuelven a tener agua (Fig. 7).

Principalmente el origen del agua de la Laguna Grande es la lluvia, sin embargo, también tiene aportes subterráneos. Tanto los procedentes del flujo regional salobre como del aporte de las laderas y de las zonas llanas que las rodean. El agua de las lagunas alcanza salinidades de unos 8 g/L, con composición clorurada sódica. La ausencia de depósitos salinos precipitados en el fondo de lago evidencia que las aguas no desaparecen por evaporación. El agua no evaporada se infiltra en el acuitardo que constituyen los sedimentos cuaternarios de la laguna. En este acuitardo se forma una salmuera que alcanza salinidades de 27 g/L.



Figura 7: Fotos de la Laguna Salina Grande con agua (A) (mayo 2017) y seca (B) (julio 2020).

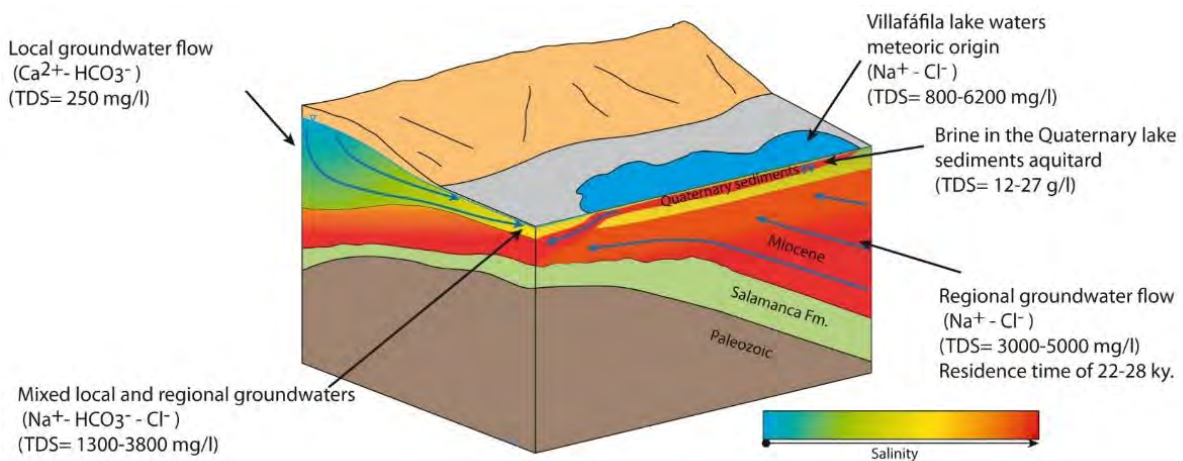


Figura 8: Modelo genérico del funcionamiento hidrogeológico de las lagunas de Villafila (Huerta et al., 2021).



#### PARADA 4:

##### Casa del Parque Natural de las Lagunas de Villafáfila

La Casa del Parque es el centro de interpretación de las Lagunas de Villafáfila. Este centro sirve para conocer este ecosistema y la importancia que tienen las lagunas en la cría y migración de diversas aves.

Las lagunas también han tenido una importancia económica en la zona debida a la obtención de sal desde la Edad del Bronce hasta la Edad Media. Diversas excavaciones arqueológicas han evidenciado la existencia de pozos excavados en el entorno de las lagunas para explotar la salmuera y concentrar las sales mediante evaporación en recipientes puestos al fuego (Fig. 9).

En la actualidad, la principal actividad en la zona de Villafáfila es la agricultura, prácticamente todos los terrenos alrededor de las lagunas se dedican al cultivo del cereal. El aprovechamiento del agua subterránea se realiza a partir de pozos de gran diámetro y sondeos profundos, sin embargo, aquellos localizados cerca de las lagunas presentan calidades químicas no aptas para su utilización, ni siquiera para riego debido a las altas salinidades.

En la Casa del Parque hay unas lagunas artificiales, que se abastecen además del agua de lluvia, a través de sondeos profundos. Las aguas de estos sondeos son representativas de las aguas cloruradas sódicas de constituyen el flujo regional en la zona (Fig. 10).



Figura 9: Excavación para la obtención de la salmuera en el yacimiento de Molino Sanchón II.  
<http://www.jcyl.es/jcyl/patrimoniocultural/Villafafila/06-molino-sanchon.html>



Figura 10: Caseta de protección del sondeo de la Casa del Parque.

## COLABORADORES HIDROGEODÍA ZAMORA

Este Hidrogeodía ha sido organizado por el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca y la Confederación Hidrográfica del Duero. Los autores de esta guía son:

Laura Llera Sánchez

Pedro Huerta

Esther Rodríguez Jiménez

Carlos Enrique Nieto Martín



## AGRADECIMIENTOS

Esta guía es parte de la transferencia de resultados de investigación del proyecto LIMNAQUAS: PGC2018-094566-B-C21 financiado por: MCIN/ AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER “Una manera de hacer Europa”.



## PARA SABER MÁS

- Abarquero Moras, F. J., Guerra Doce, E., Delibes de Castro, G., & López Sáez, J. A. (2017). La explotación de la sal durante la Prehistoria en las Lagunas de Villafáfila (Zamora): Los cocederos de Molino Sanchón II y Santioste [Sal; lagunas de Villafáfila; briquetage; cocederos; Campaniforme; Bronce Antiguo]. *Cuaternario y Geomorfología*, 31(1-2), 18. <https://doi.org/10.17735/cyg.v31i1-2.53646>
- Huerta, P., Armenteros, I., Recio, C., Carrasco-García, P., Rueda-Gualdrón, C., & Cidón-Trigo, A. (2021). The origin of the saline waters in the Villafáfila lakes (NW Spain). A hydrogeological, hydrochemical, and geophysical approach. *Science of the Total Environment*, 789, 147909. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147909>
- Huerta, P., Carrasco-García, P., Armenteros, I., Recio, C., Carrasco-García, J., & Rodríguez-Jiménez, E. (2022). TDEM Soundings as a Tool to Determine Seasonal Variations of Groundwater Salinity (Villafáfila Lakes, Spain). *Water*, 14(15), 2402. <https://doi.org/10.3390/w14152402>
- López Sáez, J.A., Abel Schaad, D., Iriarte, E., Alba Sánchez, F., Pérez Díaz, S., Guerra Doce, E., Delibes de Castro, G. y Abarquero Moras, F.J. (2017). Una perspectiva paleoambiental de la explotación de la sal en las Lagunas de Villafáfila (Tierra de Campos, Zamora). *Cuaternario y Geomorfología*, 31(1-2): 31. <https://doi.org/10.17735/cyg.v31i1-2.54255>



# 25 de marzo de 2023

## MONEGROS: AGUA Y SAL



### COLABORAN:

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
EBRO

EEAD  
Estación Experimental de Aula Dei - CSIC

Departamento de  
Ciencias de la Tierra  
Universidad Zaragoza

Información detallada y folleto de la excursión en:  
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023/>

### FINANCIADO POR:

GOBIERNO DE ARAGON  
Departamento de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento

Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español

### CONCURSO ESCOLAR:

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

### CONCURSO FOTOGRAFÍA:

HIDROGEODÍA 2023  
II Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH-Hidrogeodía 2023



## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (rama de la geología que estudia las aguas subterráneas teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), que se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y ha sido organizada por el CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) y el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR).

La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En la provincia de Zaragoza, el **Hidrogeodía 2023** se celebra el 25 de marzo y tiene como temática “Monegros: Agua y sal”.

Se llevará a cabo una visita guiada en el entorno de las Lagunas de Monegros, en la que se han previsto cuatro paradas:

- 1) Laguna de La Playa (Bujaraloz)
- 2) Pozo Agustín (Bujaraloz)
- 3) Ermita Virgen de las Nieves (Bujaraloz)
- 4) Barranco de La Valcuerna (Peñalba)

## ITINERARIO

El punto de encuentro será en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses (C/ García Arista-Avda. Pirineos) (Figura 1).

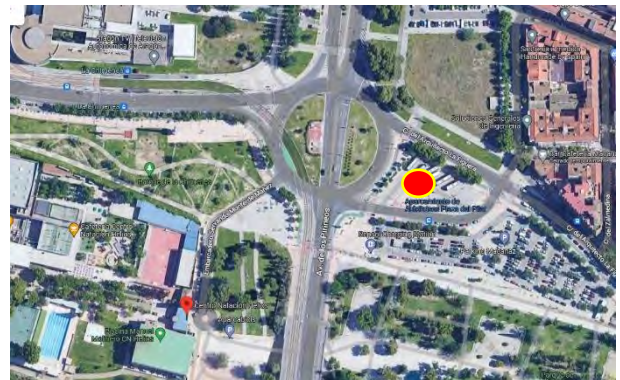


Figura 1. Vista del punto de encuentro en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses en C/ García Arista-Avda. Pirineos.

**Recepción.** 7:45h. En el punto de encuentro se realizará una pequeña explicación de la jornada. Allí estará esperando el autobús que nos llevará al punto de inicio de la visita en Bujaraloz (Salida 8:00h.).

**Parada 1.** Se visitará la **Laguna de La Playa**, una de las lagunas más importantes del complejo lagunar de Monegros. Allí se realizará una descripción geológica e hidrogeológica de las Saladas de Monegros.



**Parada 2. Pozo Agustín.** En esta parada se explicará el origen de la salinidad y de los nitratos del agua subterránea y se realizará la medición de los mismos.

A continuación, sobre las 11:30h. se realizará una parada técnica en Bujaraloz para almorzar o ir al aseo. Alrededor de las 12 h. cogeremos de nuevo el autobús que nos llevará hasta la siguiente parada.

**Parada 3. Ermita de la Virgen de las Nieves.** Se expondrá un ejemplo de los problemas que causa la salinidad de las aguas subterráneas en los edificios.

**Parada 4. Barranco de La Valcuerna.** Se explicará lo que son los aforos, como se miden los caudales superficiales y se estima el drenaje subterráneo.

## INTRODUCCIÓN

En el centro de la depresión terciaria del Ebro, entre la Sierra de Alcubierre en el norte (700 m sobre el nivel del mar) y el río Ebro en el sur (150 m sobre el nivel del mar), hay una extensa plataforma, unos 250 km<sup>2</sup>, sin drenaje superficial claro hacia el río Ebro, a más de 200 m sobre el lecho del río, que se conoce como la 'plataforma Monegros'. La superficie incluye más de 100 cuencas o depresiones cerradas, alguna de hasta 1,7 kilómetros cuadrados de extensión, muchas de las cuales son lagunas cuasi-permanentes, verdaderos humedales salinos, que configuran en su conjunto uno de los parajes más característicos del paisaje de Los Monegros (Figura 2).

Las depresiones que presentan agua más de un mes al año se denominan lagunas, saladas o salinas. En los fondos de estas saladas, extremadamente planos, se forman playas que quedan sumergidas o emergidas de forma intermitente. Las hondonadas que no recogen

agua, o lo hacen sólo en periodos excepcionalmente lluviosos se llaman localmente “hoyas”, “hoyos” y “clotas”. Suelen estar cubiertas de vegetación halófila, evidencia de la proximidad del agua subterránea salina, por lo que sus fondos siempre están húmedos, incluso en verano.

Este conjunto de lagunas es conocido como las “Saladas de Sástago-Bujaraloz”. Desde el 7 de enero de 2011, 26 de estos humedales han sido incluidos en un complejo lagunar declarado como SITIO RAMSAR de importancia internacional, considerado el más importante y extenso de Europa, con una superficie de 8.145 hectáreas. No es esta la única figura de protección que tienen puesto que también el complejo es reconocido como un espacio más dentro de la Red Natura 2000, de la que forma parte como LIC y ZEPA.

Los medios áridos se caracterizan por la escasez de agua o, al menos, de lluvia. Sin embargo, la aridez no excluye la existencia de humedales como queda puesto en evidencia en este caso. España es un ejemplo único en Europa de humedales salinos de interior, especialmente en el valle del Ebro, donde se pueden citar más ejemplos, como en Chiprana (Zaragoza) o Gallocanta (Zaragoza-Teruel) entre otros. Aunque hace décadas se planificaron y se llevaron a cabo desecaciones de este tipo de humedales para evitar enfermedades como el paludismo y para ganar tierras de labor, actualmente se aprecian y protegen en la medida que tienen agua, plantas especializadas, adaptadas y endemismos, y porque mantienen la biodiversidad y el paso de la avifauna durante las migraciones intercontinentales.

Esta región de Monegros, una de las más áridas de Europa, tiene una precipitación media de 346 mm, con una marcada irregularidad, con registros que varían entre 175 mm y 535 mm, según los años. Por otro lado, la evapotranspiración media es de 1.255 mm,

muy superior a las lluvias, lo que conlleva un marcado déficit de agua que repercute en la escasa producción agrícola de la zona. Esto no ha sido obstáculo para que unas 66.000 hectáreas de la zona incluidas en el polígono Monegros II fueran declaradas aptas para riego por Real Decreto nº 37, de 9 de enero de 1985, de interés Nacional de Puesta en Riego y Redistribución de la Propiedad Rústica.

## PARADA 1. LAGUNA DE LA PLAYA

Llegados a Bujaraloz, se toma el desvío al sur de la carretera A-230, en dirección Caspe, y a la altura de La Salineta viramos de nuevo hacia el suroeste por la carretera que conduce a Sástago. Recorridos unos 7,5 km realizaremos

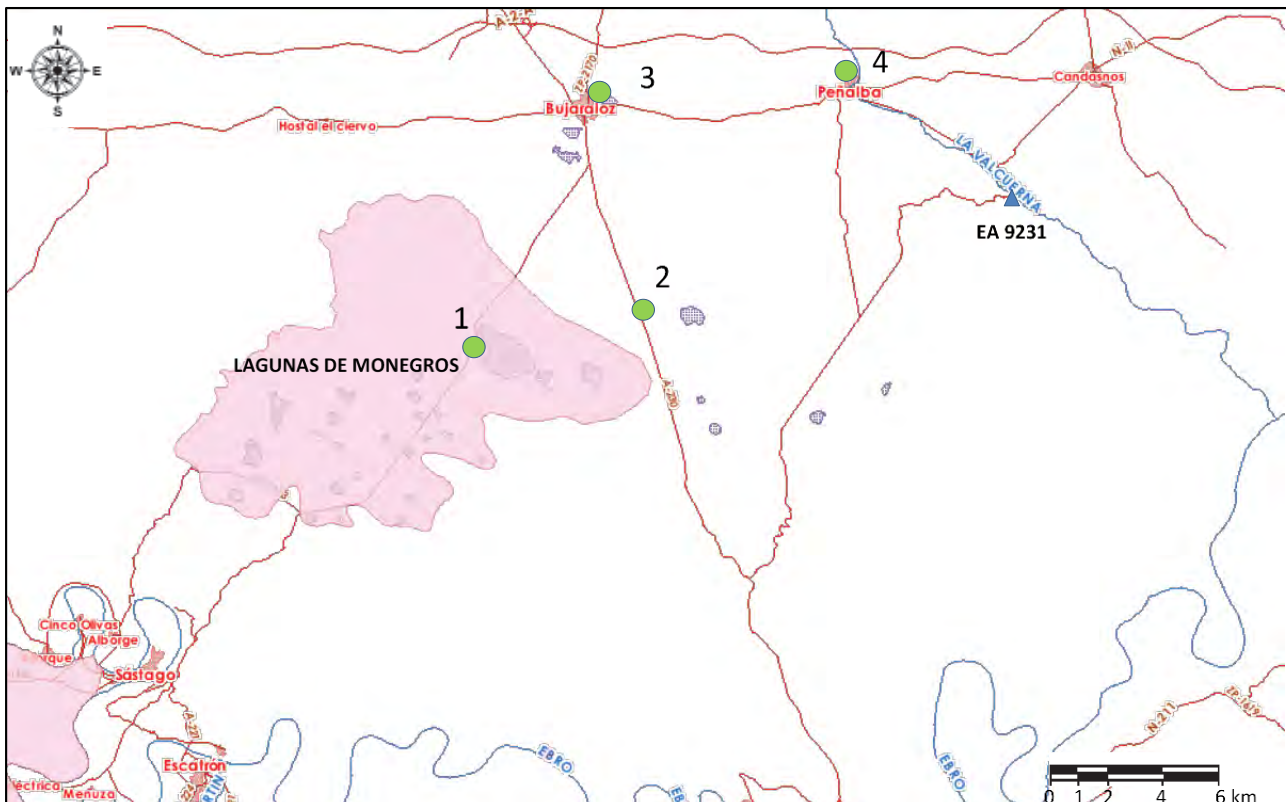


Figura 2. Esquema de situación del área endorreica de las Lagunas de Monegros. Se indican las paradas de la jornada y la localización de la estación de aforos en el barranco de La Valcuerna.

La mitad del territorio está destinado al regadío. Las saladas vienen acumulando, en el agua y en el suelo, agroquímicos y residuos agropecuarios que las lluvias arrastran hacia los fondos. Con el regadío, se espera que los flujos de retorno eleven el nivel del agua subterránea con la consiguiente inundación de fondos y vales, así como con la perturbadora movilización de las sales en el terreno, especialmente durante la estación seca.

la primera parada, caminando a continuación unos 600 metros hasta alcanzar el borde de la Laguna de La Playa.

### RASGOS GEOLÓGICOS DESTACADOS

La plataforma endorreica comprendida entre Bujaraloz y Sástago está formada por materiales que se sedimentaron hace unos 23 millones de años (durante el tránsito Oligoceno-Mioceno), cuando la zona estaba ocupada por grandes lagos similares a los que en nuestros días pueden verse, pero de mucho mayor tamaño. En su lugar, hoy se encuentran abundantes rocas yesosas, calizas, margocalizas y lutitas.



Los materiales yesosos pueden aparecer formando nódulos blancos de diámetro variable, desde unos pocos centímetros hasta más de 1 metro, y se concentran en franjas de 10 cm a 2 m de espesor (Figura 3). Las calizas se presentan en capas de 0,5 a 5 cm de espesor y se agrupan en niveles más gruesos, desde 40 cm hasta 25 m (Figura 4). Contienen pequeños nódulos de sílex y algún nódulo de yeso. Los sedimentos detríticos son lutitas y areniscas de grano fino. Las lutitas se disponen en niveles entre 0,5 y 10 m de espesor y presentan frecuentes intercalaciones de calizas y yesos, proporcionando un color característico al terreno, en tono rojo, marrón o gris. Las areniscas, que varían entre 10 cm y 3 m de potencia, son restos de los canales activos durante la sedimentación en el antiguo lago.



Figura 3. Bloques de yeso de diámetro métrico en una cantera de alabastro de Monegros.



Figura 4. Nivel carbonatado en la cabecera de un barranco en el límite de la plataforma.

Todos estos materiales de la plataforma se han agrupado en dos grandes unidades lacustres: la

intermedia y la superior, estando separadas por 10 metros de lutitas que impiden el paso del agua subterránea desde la unidad superior a la intermedia (Figura 5).

La “Unidad Lacustre Intermedia” aflora en la parte meridional de la plataforma y en ella se alojan la mayor parte de las saladas. Está formada por materiales yesosos y calizas, más yesosos hacia el oeste donde alcanza 40 m de potencia; hacia el este disminuye su espesor por debajo de 10 m y los yesos alternan con calizas y lutitas.

La “Unidad Lacustre Superior” aflora en la parte septentrional de la plataforma, hasta el pie de la sierra de Santa Quiteria. Son lutitas con niveles de yesos y calizas; su mayor potencia, unos 50 m, se ha medido en el oeste.

#### **CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El papel de las aguas subterráneas es fundamental en el funcionamiento hidrológico de la zona endorreica. Se estima que de 360 mm/año de precipitación vertida sobre la zona, la mayor parte (335 mm/año) son evapotranspirados desde el suelo y la vegetación; 5 mm/año generan escorrentía superficial a través de los escasos cauces existentes en la zona; y 20 mm/año son infiltrados en el terreno y discurren subterráneamente hacia las zonas de descarga, las saladas, donde el agua se evapora. Por la cuantía de evaporación destacan las saladas de La Playa, Salineta y Agustín.

Hidrogeológicamente, toda el área actúa como un medio de baja permeabilidad. La permeabilidad es un parámetro hidrogeológico que da idea de la velocidad a la que circula el agua dentro del terreno. En la zona endorreica esta permeabilidad es muy baja, por ello el agua que se infiltra en el terreno circula muy lentamente hacia las

depresiones y saladas. Esta lentitud en la evacuación del agua hace que el nivel del agua subterránea se encuentre muy próximo a la superficie del terreno. La superficie de saturación es pues somera y a veces coincide con la superficie del terreno, resultando una forma que es una réplica suavizada de la topografía. De forma aproximada y tomando valores medios, las velocidades del flujo se estiman entre 3 y 4 m/año, lo que indica que para recorrer un km de distancia se necesitarían alrededor de 275 años.

Lacustre Superior” y el “acuífero inferior”, que coincide con la “Unidad Lacustre Intermedia”.

El agua de lluvia se infiltra en el terreno y discurre hacia las lagunas y hacia los límites laterales de los acuíferos, donde es evaporada, según se explica con el modelo simplificado de flujo subterráneo que recogen Salvany et al. (1996) en la Figura 6.

El agua de la plataforma de los Monegros se caracteriza por una gran variación de sus

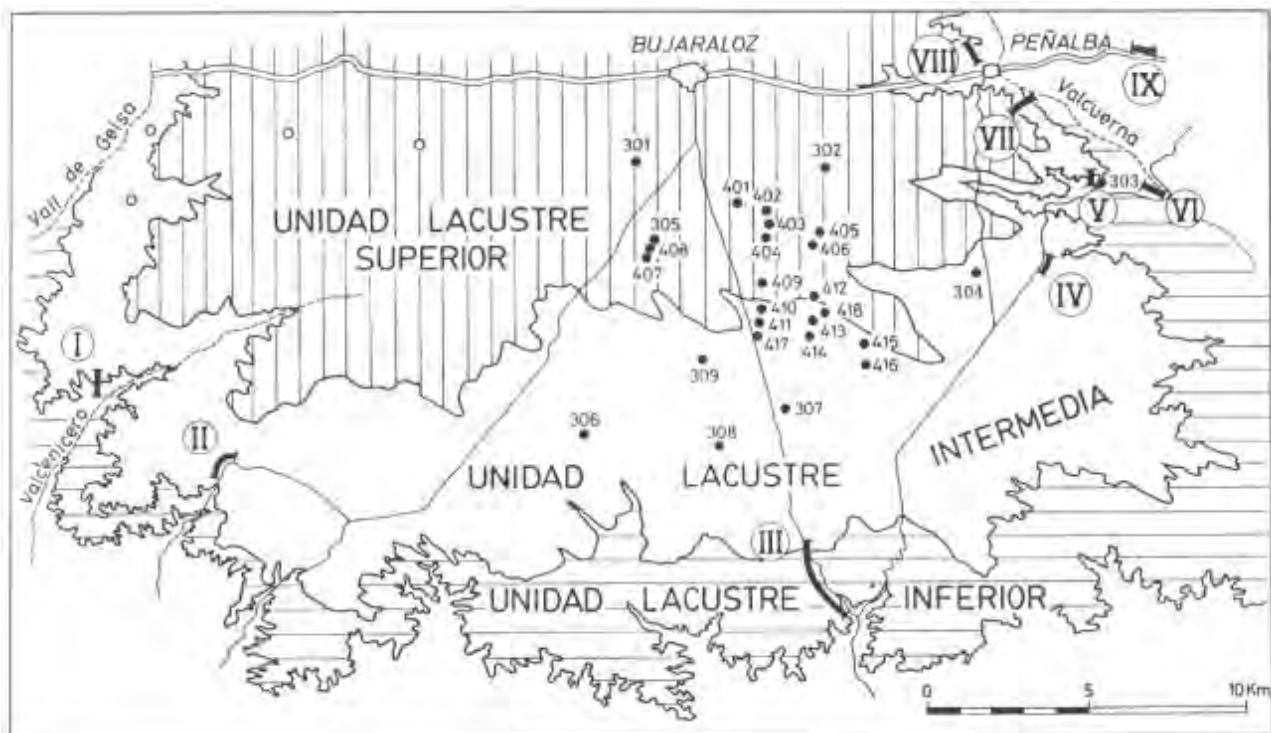


Figura 5. Esquema con la situación de las unidades lacustres. La numeración corresponde a la localización de pozos y piezómetros (García-Vera, 1996).

La profundidad media del nivel piezométrico (nivel al que se encuentra el agua subterránea) en todos los pozos y sondeos de la zona es 4,5 m. En las zonas más elevadas, el agua se encuentra a más profundidad, aunque nunca a más de 14 m. La mínima profundidad del agua subterránea se da en los fondos de valle y en las saladas, donde llega a emerger.

Se han identificado dos acuíferos en la zona de plataforma. El denominado “acuífero superior” que corresponde a la “Unidad

propiedades químicas. Bien podríamos decir que es un paraíso para el hidroquímico. Su salinidad varía entre los 50 mg/l del agua de lluvia hasta valores mayores que 400.000 mg/l en las saladas. Como referencia, el agua de abastecimiento a Zaragoza tiene unos 900 mg/l y el agua del mar Mediterráneo tiene unos 37.000 mg/l.

Una vez que la lluvia cae en el terreno, la abundancia de yesos y su solubilidad provocan que la salinidad del agua pase de 50 mg/l a 2.150 mg/l. Esta salinidad corresponde a la máxima cantidad de yeso que puede disolver el agua de lluvia.



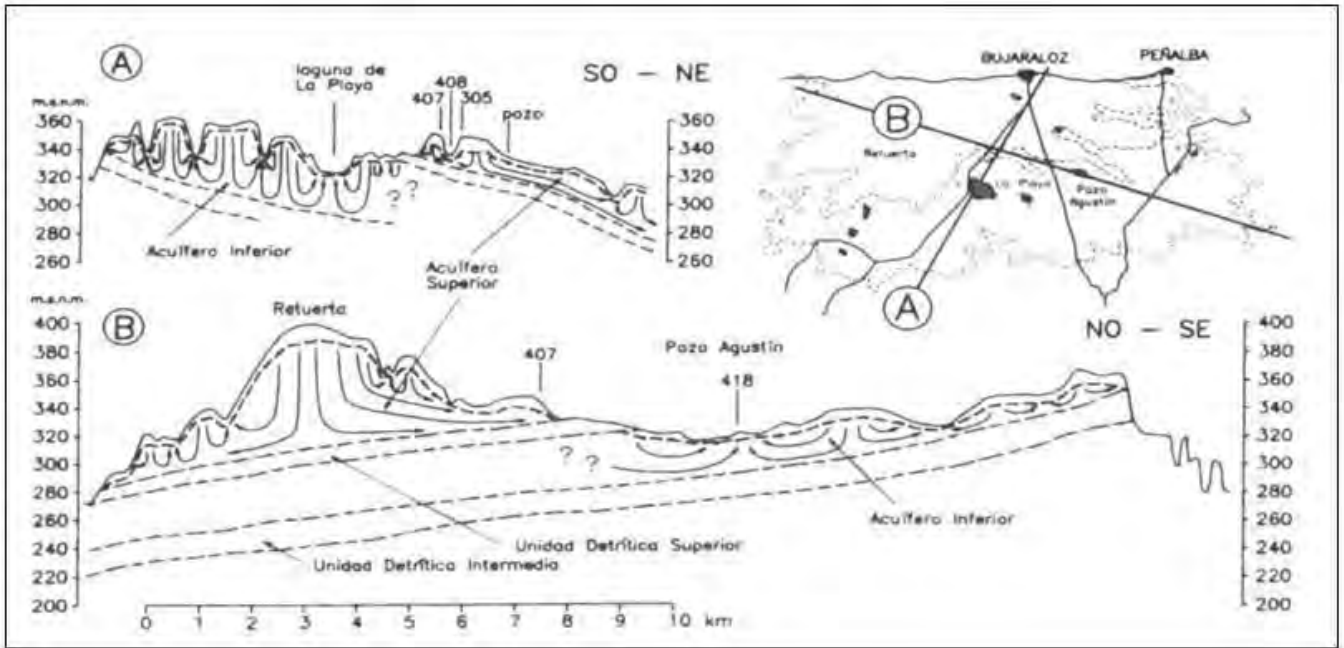


Figura 6: Cortes hidrogeológicos con esquema simplificado del funcionamiento del flujo subterráneo (Salvany et al., 1996).

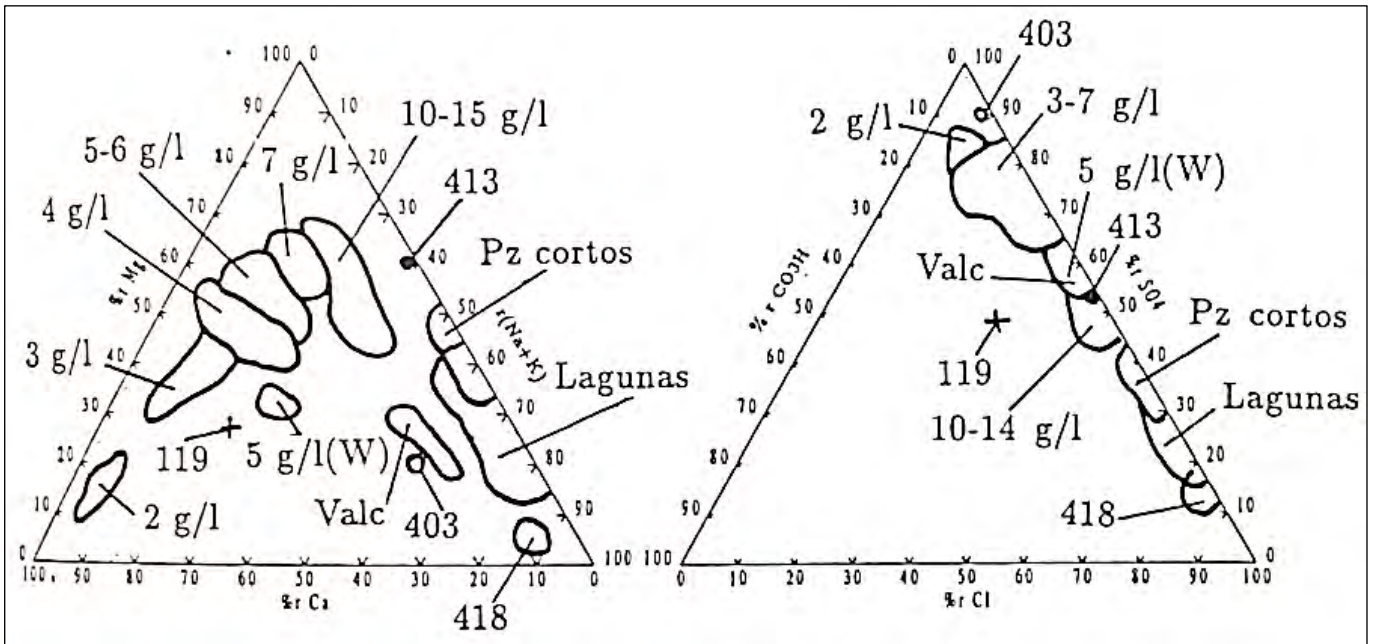


Figura 7: Evolución hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago (García-Vera (1996). La numeración corresponde a los pozos de la Figura 4; Valc: Barranco de La Valcuerna; Pz: piezómetros; W: agrupación de pozos en el sector oeste del acuífero inferior.

Una vez infiltrada en el terreno, el agua subterránea discurre lentamente hacia las zonas más deprimidas aumentando su salinidad hasta 10.000 mg/l. Este incremento se debe a la disolución de sales dispersas o diseminadas en los materiales de la zona, especialmente halita (cloruro sódico). Cerca ya de las depresiones un nuevo proceso provoca un brusco incremento de la salinidad del agua: la evaporación. Ésta comienza ya dentro del terreno, estando el agua muy cerca de su superficie, llegando a salinidades de 100.000 mg/l. Se observa una clara evolución hidroquímica de las aguas menos salinas con un carácter sulfatado cálcico, hacia unas aguas sulfatado cloruradas cálcico magnésicas conforme discurren lentamente por el terreno, y en las lagunas el proceso de evaporación va imprimiendo un carácter más clorurado sódico. En la Figura 7 se sintetiza esta evolución química.

Tabla 1. Grupos de saladas establecidos en los dos sistemas de la plataforma, norte y sur, con sus características.

Sistema	Grupo	Sector de la plataforma	Composición del sustrato <sup>1</sup>	Elevación media		Nº de saladas	
				Metros	Clase	Total	Con vegetación <sup>2</sup>
Norte	SIG1	Este	Lu-Ca	327.0	Muy baja	11	6
	SIG2	Sur	Lu	333.4	Baja	7	5
	SIG3	Oeste	Lu-Ye	339.4	Baja-intermedia	5	1
Sur	S2G1	Centro	Ye	333.1	Baja	16	14
	S2G2	Oeste	Ye	330.9	Baja	15	12
	S2G3	Oeste-centro	Ye-(Ca)	343.9	Intermedia	17	15
	S2G4	Suroeste	Ye-(Ca)	345.3	Intermedia	18	9
	S2G5	Este	Ca	350.4	Intermedia-Alta	16	13
	S2G6	Este-centro	Ca-(Ye)	351.3	Intermedia-Alta	26	22
	S2G7	Sureste	Ca-(Ye)	360.2	Alta	18	17

<sup>1</sup>: Composición media basada en el mapa litológico de Salvany et al. (1996), Lu: Lutita; Ye: yeso; Ca: caliza. <sup>2</sup>: Vegetación natural.

## INVENTARIO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS SALADAS

El inventario actual comprende alrededor de 150 depresiones con un tamaño entre 1 y 240 hectáreas, siendo la conocida como La Playa la que ocupa mayor extensión. Las saladas se sitúan a una altitud entre 315 m y 367 m sobre

el nivel del mar. La profundidad excavada en las depresiones es observable en las dimensiones del talud que delimita las depresiones, que varía entre 0,3 y 25 metros, con una media inferior a 5 metros de excavación. Este encajamiento de las depresiones ha sido un factor decisivo para su preservación durante la intensificación agrícola llevada a cabo en la zona en las últimas décadas.

Teniendo en cuenta los materiales del sustrato en el que se excavan las depresiones, las saladas se han agrupado en dos sistemas, norte y sur, respectivamente, y en un total de 10 grupos (Tabla 1); estos grupos pueden observarse en la Figura 8. La mayoría de las saladas se concentran en una franja de unos 30 metros de altitud que coincide con el espesor de la unidad yesífera definida por Salvany et al. (1996), de unos 40 m de espesor, y que está limitada por los dos niveles de lutitas rojas que, con bastante continuidad lateral, separan los dos acuíferos de la plataforma (García-Vera, 1996).

Desde el punto de vista de la presencia de agua y vegetación, morfología y geomorfología, se diferencian entre lagunas de tipo playa-lake (o lago-playa), clotas, hoyas, criptohumedales, etc. Las de tipo playa-lake son resultado de un proceso más avanzado de karstificación y deflación y funcionan descargando el agua subterránea.



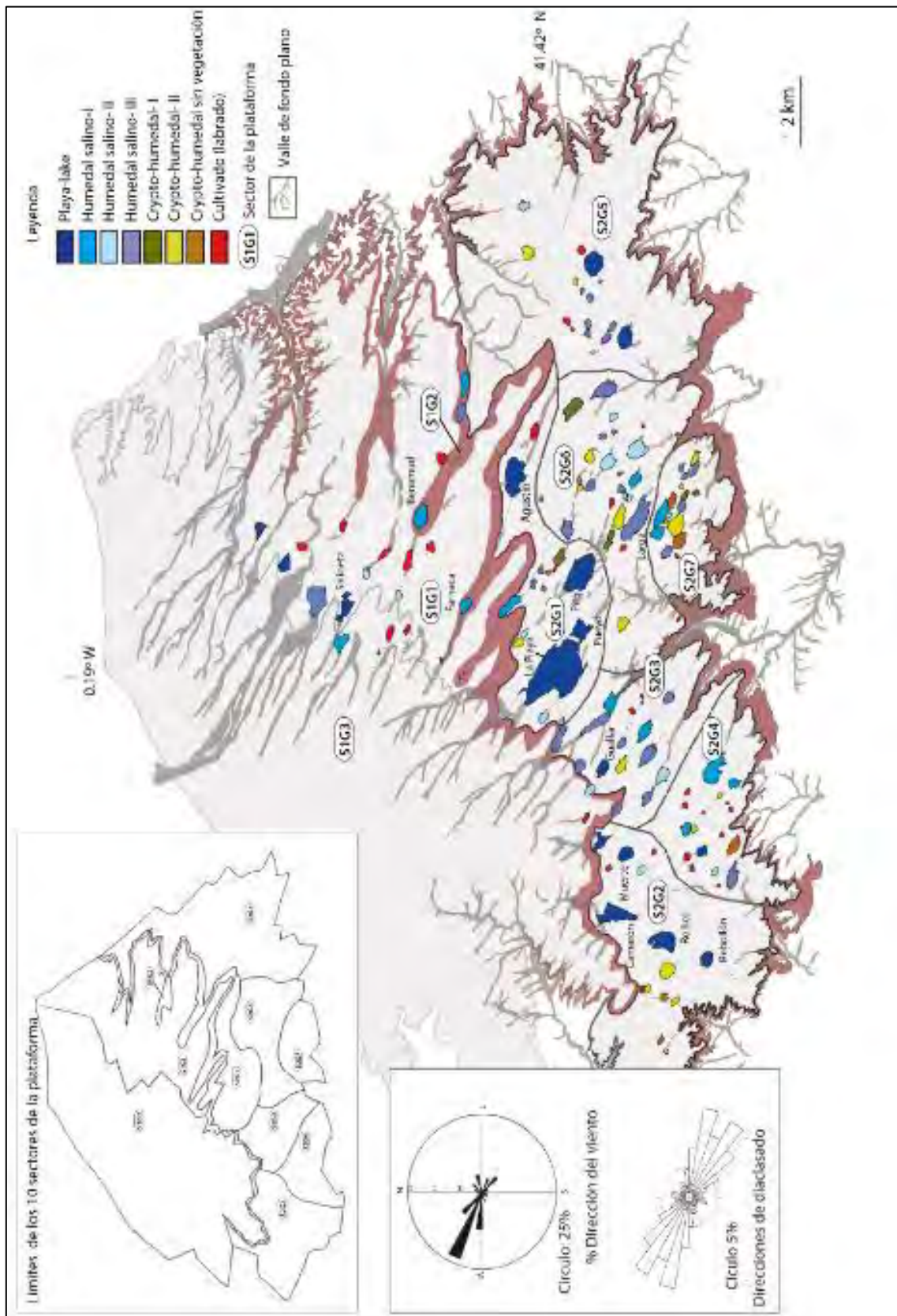


Figura 8. Mapa de distribución de las saladas de Bujaraloz-Sástago con los tipos establecidos en Castañeda et al. (2013).

Aunque no se descarta la existencia de procesos de recarga. Las más grandes y alargadas se sitúan en el sector central de la plataforma, donde predominan los estratos de yeso, y son las que más han excavado la plataforma. Alrededor del 40% de las saladas presenta forma circular y otro tanto tiene forma típica de dolina modificada por deflación.

Las saladas aparecen alineadas en valles muy suaves. Son valles de fondo plano (vales) típicos de terrenos ricos en materiales yesosos. Las saladas se disponen formando cadenas, o se yuxtaponen formando lo que se conoce como uvalas, mientras otras aparecen aisladas. Los vales se disponen en dirección NO-SE, reflejando la influencia de la dirección predominante de diaclasas en la zona. También, como se observa en el mapa de la Figura 7, esta dirección coincide con la del viento dominante y el eje de elongación de gran parte de las saladas.

## RÉGIMEN HÍDRICO

El complejo de las “Saladas de Sástago-Bujaraloz” es un conjunto de humedales salinos con inundación intermitente, dependiente de las lluvias, y con agua hipersalina por la contribución lenta y continua de aguas subterráneas que tienen una elevada salinidad de origen natural.

La presencia de lámina de agua en las saladas, y su persistencia en el fondo impermeable, depende en gran parte de las lluvias, especialmente de las lluvias acumuladas en los 180 días precedentes (Castañeda y Herrero, 2005). El agua puede permanecer en los fondos durante periodos de déficit hídrico y se produce evaporación en los fondos haya o no lámina de agua libre, evidenciando su relación con el agua subterránea. No hay una relación clara ente la frecuencia de inundación de las saladas y su tamaño o su elevación en el terreno. Ello, junto a su distribución a lo largo

de vales sugiere que la frecuencia de inundación está más relacionada con su localización a lo largo de flujos preferentes.

Las saladas de tipo playa-lake (lago-playa) son las de mayor frecuencia de agua y, por ello, una parte de su fondo está desnudo de vegetación, como ocurre en La Playa.

Las plantas halófilas colonizan los fondos en la medida en que la lámina de agua disminuye y se organizan en orlas según su tolerancia a la salinidad y a la inundación.

Actualmente se conservan 13 saladas de tipo playa-lake (Figura 8). Se puede considerar que las saladas de tipo playa-lake muestran un comportamiento bastante similar en cuanto a la duración de los ciclos de presencia de agua, aunque pueden observarse algunas diferencias.

Entre 1987 y 1990, Salineta, La Playa y Guallar fueron las saladas que mantenían lámina de agua durante más de 6 meses al año, desde el otoño hasta marzo. Los seguimientos semanales entre 1993 y 1997 mostraron que sólo Salineta, al norte, mantenía agua más de 6 meses al año, siendo también muy húmedas Guallar, La Playa y Camarón. La máxima profundidad de agua registrada ha sido 51 cm en La Playa, en diciembre de 1994.

Posteriormente al seguimiento pionero de lámina de agua en campo, se han desarrollado métodos para su seguimiento mediante el tratamiento de imágenes de satélite.

Actualmente se dispone de mayor frecuencia de imágenes capturadas con sensores de mayor detalle pertenecientes a la constelación Sentinel (Figura 9), aunque se siguen tomando datos de campo sobre la presencia de agua y las características espectrales de la lámina de agua para contrastar la información del satélite.



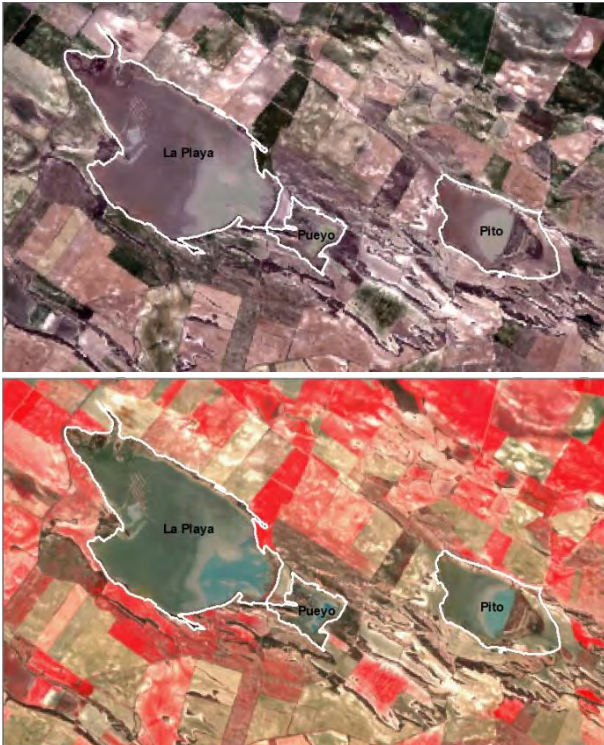


Figura 9. Saladas de La Playa, Pueyo y Pito vistas por el satélite Sentinel-2 el 11-03-2023. Izquierda, en color verdadero (RGB 432) y a la derecha en falso color (RBG 843). En la composición de falso color se observa en azul, a sotavento, la lámina de agua con escasa extensión y profundidad (unos 15 cm en La Playa).

## ORIGEN Y FORMACIÓN DE LAS SALADAS

Se ha podido establecer un modelo genético y evolutivo para cuencas lacustres salinas en áreas continentales, basado en las siguientes condiciones básicas que se dan en el área:

- La precipitación media anual (aprox. 350 mm) es claramente inferior al nivel de evaporación (aprox. 1.400 mm).
- No hay corrientes superficiales de agua que lleguen a la cuenca de la laguna, o si las hay, su contribución es claramente inferior al nivel de evaporación.
- Los lagos salinos se desarrollan sobre medios geológicos globalmente de baja permeabilidad, con una amplia extensión superficial y gran profundidad (cuencas sedimentarias). La baja permeabilidad de los materiales hace que el nivel freático sea una réplica atenuada de la

superficie del suelo, con la que a veces coincide en las zonas más deprimidas.

Como resultado de la baja permeabilidad de los materiales, la intersección de la capa freática no da lugar a manantiales, sino a descargas difusas, que, cuando están muy extendidas, evitan la infiltración del agua de lluvia, permitiendo que se produzca el encharcamiento.

El modelo de evolución, según Sánchez et al. (1989, 1998), tiene en cuenta cuatro etapas, que son las que aparecen en los diagramas de la Figura 10. Actualmente, existen ejemplos reales de las cuatro situaciones mostradas:

Inicialmente (1), el agua meteórica se infiltra por las zonas más permeables, disolviendo los materiales carbonatados y yesíferos. El agua con las sales disueltas penetra a través de la zona no saturada hasta que alcanza el nivel freático y se incorpora al flujo general de agua subterránea. Este proceso crea depresiones cerradas en forma de embudo (2), que son verdaderas dolinas. La profundización de la depresión continúa hasta que la superficie del terreno alcanza el nivel freático, momento en el que comienza una inundación periódica de la depresión; en otras palabras, se forma la laguna.

El afloramiento de la superficie freática (3) permite la evaporación directa del agua subterránea, lo que crea un gradiente en el nivel freático hacia la laguna salada (una situación que es similar al cono de bombeo que se produce en la extracción de agua subterránea en una captación de bombeo).

Este “bombeo por evaporación” produce el rebajamiento del nivel freático y provoca que el agua subterránea fluya hacia la laguna; se generan flujos ascendentes de agua subterránea que impiden la infiltración de agua de las precipitaciones, la situación se conoce como “drenaje impedido”. En la laguna ya no

pueden evacuarse las sales, y los flujos ascendentes de agua subterránea aportan más sales a la laguna. Posteriormente (4), la evaporación completa del agua de la laguna da lugar a la acumulación de sales y restos orgánicos, esta sedimentación da lugar a superficies extremadamente planas que son típicas de los lagos salados.

Balance hídrico. Así, para el balance hídrico en la primera fase (depresión cerrada), la entrada principal proviene de la lluvia (P), mientras que la salida proviene de la evaporación (E), evapotranspiración (ET) y especialmente de la infiltración.

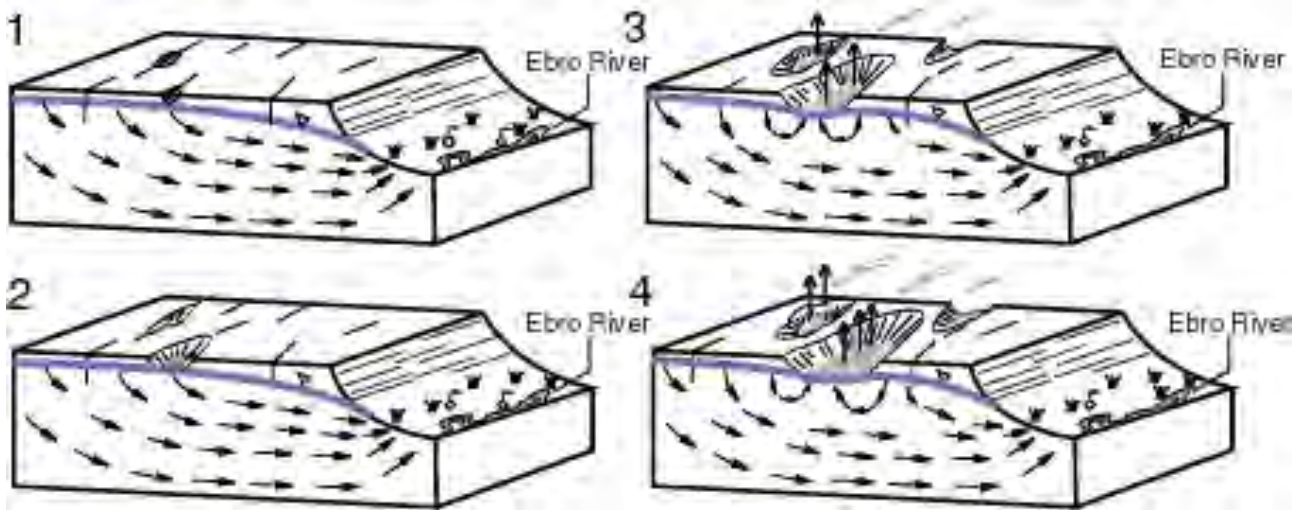


Figura 10. Modelo evolutivo de las depresiones salinas formadas sobre materiales solubles (yesos y calizas), según Sánchez et al. (1989). La explicación de las etapas 1 a 4 se tiene en el texto.

Alcanzada esta situación, la laguna ya no profundiza y sólo se extiende lateralmente. Los materiales solubles, que en los estados 1 y 2 se evacuaban a través del flujo general de las aguas subterráneas, en los estados 3 y 4 sólo pueden ser evacuados por acción del viento, que arrastra las sales precipitadas en la laguna, observándose verdaderas nubes de sal en el ambiente.

Las cuatro etapas se pueden agrupar en dos fases:

La primera fase corresponde a la formación y evolución de las depresiones cerradas (etapas 1 y 2). La segunda fase (etapas 3 y 4) corresponde a la formación y evolución de las lagunas saladas. Estas dos fases se caracterizan por tener componentes muy diferentes, tanto en su balance hídrico como en su balance de materiales (Sánchez et al., 1998, ver Figura 11).

El balance de agua para la segunda fase (lago salino) tiene como entradas tanto la precipitación (P) como la descarga de aguas subterráneas (G), mientras que la única salida se produce por evaporación (E); El lago salino se inunda durante largos períodos de tiempo y el suelo está permanentemente saturado.

Balance de materiales. En la primera fase (depresión cerrada), no hay una entrada significativa de materiales, mientras que la salida es a través de materiales disueltos en el agua que se infiltra (si los materiales son solubles) o si el material insoluble es arrastrado por el viento. Para el equilibrio de materiales en la segunda fase (lago salino), hay una entrada importante de materiales debido a la contribución de agua subterránea cargada de sales (G), mientras que la única salida de materiales es producida por el viento (W), que se lleva las sales.



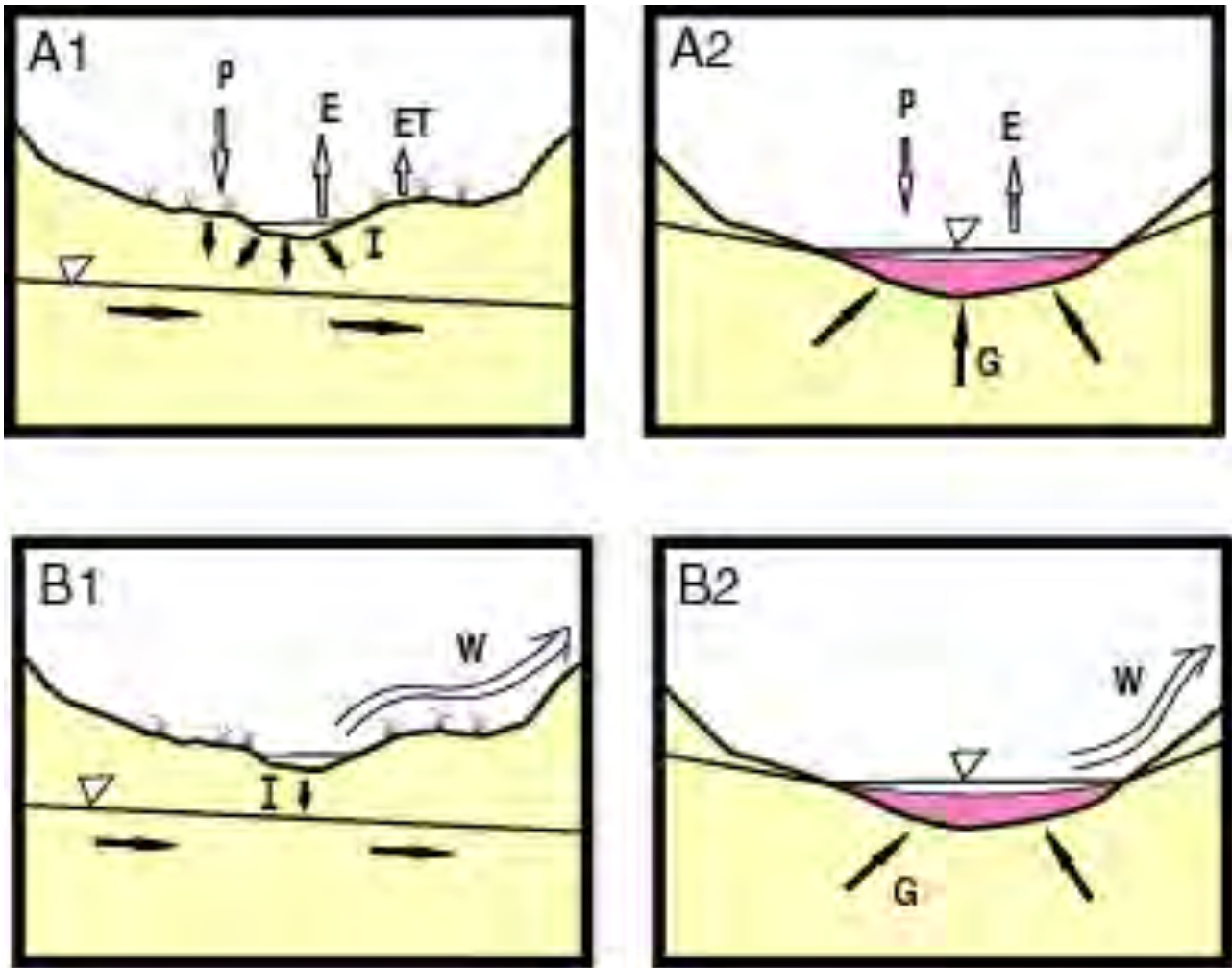


Figura 11. Balance hídrico y balance de materiales las depresiones y lagunas saladas, según Sánchez et al. (1998). A1.-Balance hídrico en depresiones cerradas. A2.-Balance hídrico en lagunas saladas. B1.-Balance de materia en depresiones cerradas. B2.-Balance de materia en lagunas saladas. P: precipitaciones. E: evaporación. ET: evapotranspiración. I: infiltración de agua y sales disueltas. G: flujo de aguas subterráneas y sales disueltas. W: material evacuado por el viento.

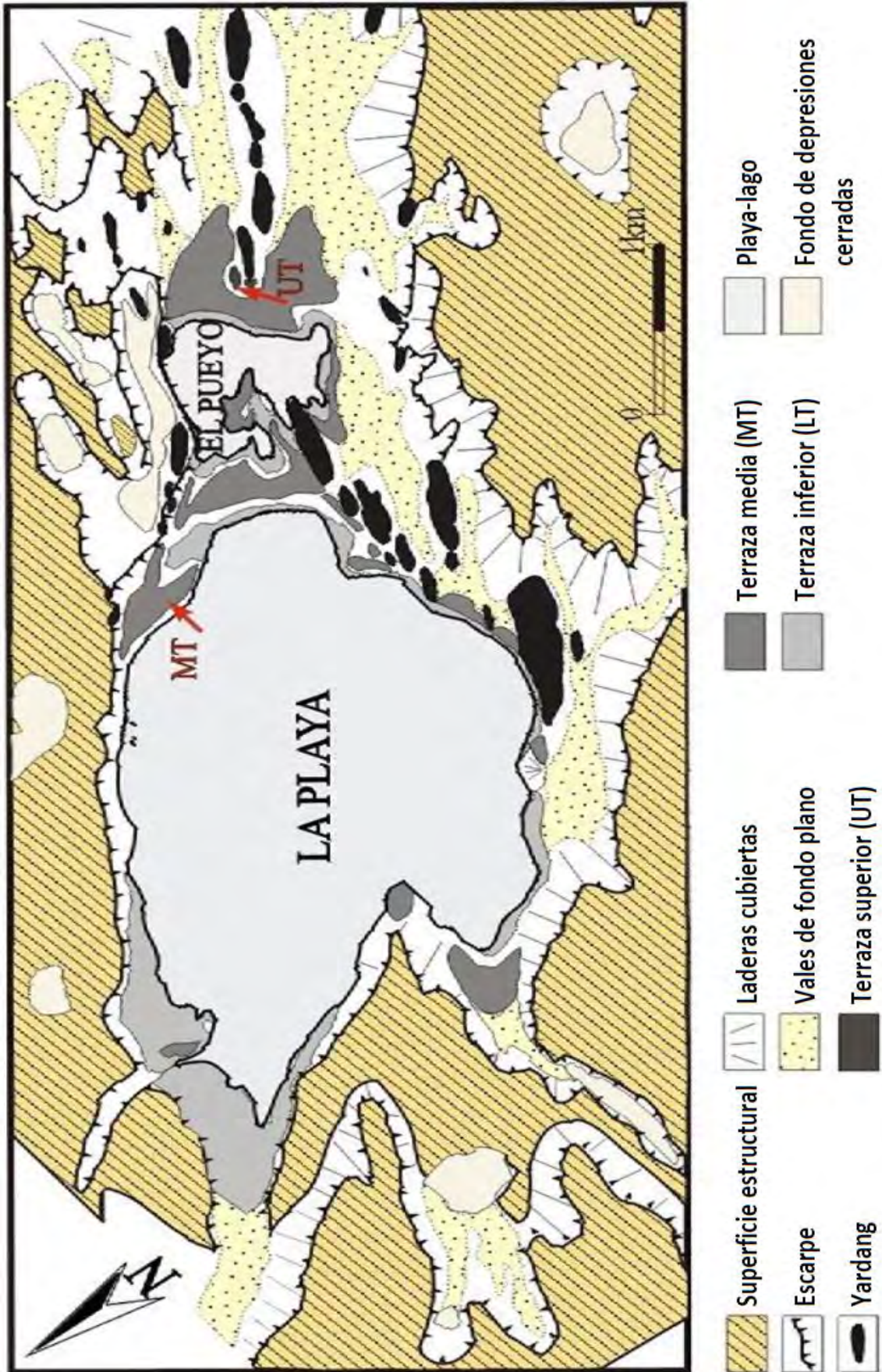


Figura 12. Mapa geomorfológico del entorno de la salada de La Playa (Gutiérrez et al., 2013).



Los recientes trabajos de Gutierrez et al. (2013) acerca de la geomorfología de las depresiones (Figura 12) han mostrado el sucesivo ahondamiento de las depresiones cerradas hasta el afloramiento del nivel freático, puesto de manifiesto con la formación de tres niveles de terrazas. También señalan la importancia de la acción eólica en estas lagunas y en el entorno rocoso, identificando y cartografiando formas como los “yardangs” (Figura 13) que son estructuras de casco invertido, típicas de desiertos y ambientes áridos, que aparecen moldeadas y alineadas según la dirección de los vientos dominantes.



Figura 13. Morfología de yardang en el entorno de la salada de La Playa.

### UN BREVE APUNTE SOBRE LA VEGETACIÓN

El entorno natural de las Saladas de Sástago-Bujaraloz, como gran parte del valle medio del Ebro, forma parte de la estepa ibérica, definida por Suarez et al. (1992) como paisaje de relieves llanos u ondulados de clima mediterráneo y de tendencia semiárida, que se caracterizan por el predominio de especies leñosas bajas sobre suelos pobres y en muchas ocasiones salinos. Por las características singulares de los suelos, también se incluyen en esta estepa ibérica el entorno de otras lagunas salobres temporales como las de Gallocanta (Zaragoza, Teruel), Chiprana (Zaragoza), Saladas de Alcañiz-Calanda

(Teruel) y, aunque muy transformada, Sariñena (Huesca). La flora del de la zona es eminentemente mediterránea, pero incluye especies cuya distribución característica es extramediterránea, bien del ámbito medioeuropeo (arbolados) o bien del norte de África o incluso del desierto del Sahara (ej. *Arthrocnemum macrostachyum*, *Tamarix boveana*).

La diversidad florística de la zona se forjó a raíz de eventos geológicos y climáticos de gran envergadura. Uno de ellos fue la crisis de aridez que llevó a la desecación del Mar Mediterráneo (¡unos 5-6 millones de años...!) y el segundo fue el engrosamiento de los casquetes polares que llevó a un clima con marcadas diferencias estacionales (hace unos 2,8 millones de años). La sucesión de períodos glaciares e interglaciares produjo una vegetación alternante entre arbórea y de estepa, con aumento de coníferas en detrimento de las estepas al inicio del Holoceno (10.000 años) y con la modificación del paisaje posterior por la actividad agrícola.

Gran parte de las comunidades vegetales de la zona son plantas diagnósticas de humedales salinos. Un 77% de las saladas presentan vegetación natural, en su fondo y/o en sus laderas, a la vez que un 35% de saladas están degradadas por labores agrícolas en parte de su fondo (en 2011). Los halófitos, anuales y perennes, están presentes en un 91% de las saladas y se asocian frecuentemente con comunidades halonitrófilas. La planta perenne que más tolera la salinidad del suelo es *A. macrostachyum* o arroquino (Figura 14). Son las menos tolerantes a la inundación, aunque sí toleran la humedad del suelo incluso en verano.



Figura 14. El fondo inundable de las saladas está orlado por vegetación de arroquinos (*A. macrostachyum*), en este ejemplo la salada de La Playa.

### SALES Y SALINAS

El aspecto de los fondos de las saladas es muy variable y constituye uno de los mayores atractivos para el visitante (Figuras 15 y 16).

Las aguas de las saladas pueden alcanzar una concentración de 400 g/l. La salinidad edáfica de los fondos varía con la profundidad y la época del año; su conductividad eléctrica en extracto de saturación supera los 40 dS/m. Esta elevada salinidad edáfica puede darse fuera de los actuales bordes de las saladas, en campos de cultivo colindantes, prueba de la mayor extensión del saladar, previa a la invasión agrícola.

La precipitación de sales se produce a partir del agua (salmuera) o bien en el sedimento, de forma intersticial. Conforme el agua se evapora, diferentes minerales precipitan siguiendo un orden marcado por la capacidad del agua de atraer los iones disueltos en la salmuera (Figura 17).



Figura 15. Restos de la antigua explotación de sal en la salada de La Playa.



Pueden formarse cristales de tamaño centimétrico o masas de aspecto pulverulento fácilmente transportables por el viento. La lluvia o la humedad de la noche, favorece la redisolución de las eflorescencias salinas reciclándose de nuevo en el sistema. En condiciones favorables, se llega a formar una costra blanca de sales de grosor centimétrico, que se mezcla con los tapices de algas y que protege el fondo de la salada de la fuerte evaporación estival, permitiendo el desarrollo de ambientes extremos exclusivos de una actividad biológica en ausencia de oxígeno. El estado de reducción del suelo se evidencia por la presencia de una capa negra bajo la costra de sal, y la producción de gases se refleja por el olor y el desarrollo de estructuras en forma de cúpula en la superficie del suelo (Figura 18).

Las sales son ricas en cloruros y sulfatos, y en sodio y magnesio. La secuencia de minerales salinos que cristalizan en las lagunas está constituida por calcita, yeso, halita, thenardita y bloedita, mientras que otros minerales tales como la mirabilita, glauberita y polihalita están restringidos a la formación de eflorescencias por ascenso capilar (López et al., 1999). En primavera y verano se forma la halita en la zona central de la salada, formando cristales cúbicos, tolvas o costras. En invierno precipitan principalmente cristales de mirabilita, un sulfato sódico hidratado que se deshidrata por encima de los 32 °C pasando a thenardita, de aspecto pulverulento, que es fácilmente dispersada por el viento. Hacia los bordes de la salada, orlando la halita, crecen los cristales de yeso lenticular.



*Figura 16. Sal cubriendo el fondo y parte inferior del talud en La Salineta.*

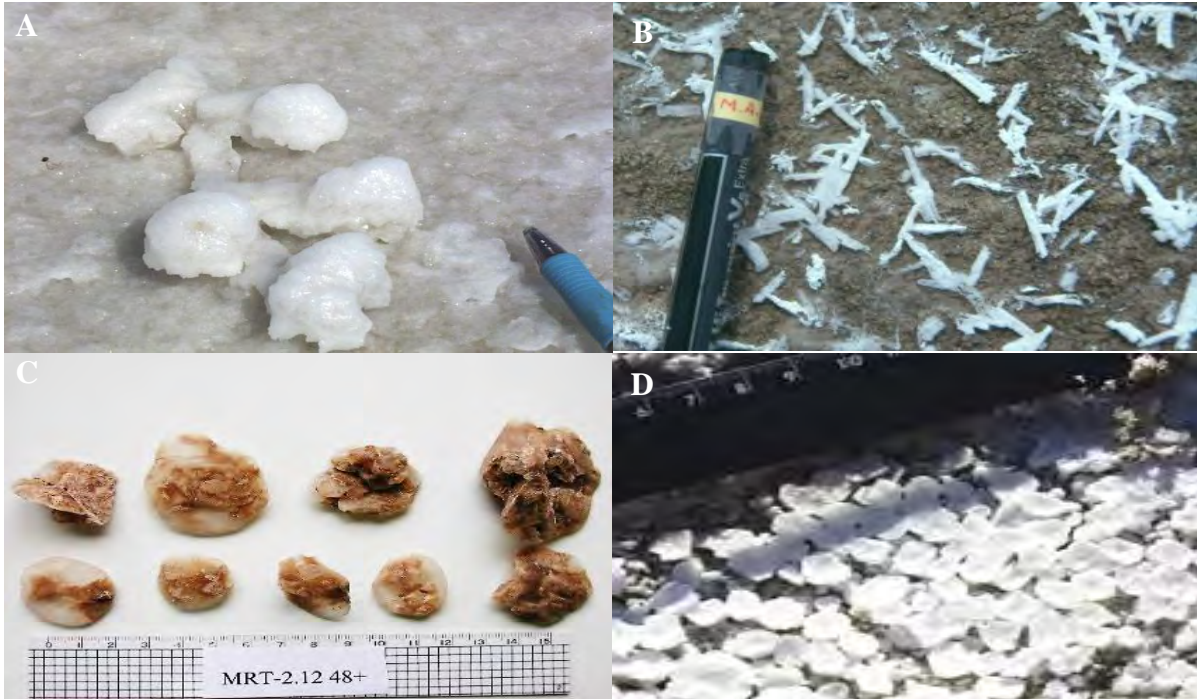


Figura 17. Algunos tipos de depósitos salinos. A: nódulos con halita en redisolución en la laguna de La Playa. B: cristales de mirabilita (sulfato sódico) en La Playa; C: incipientes rosas del desierto en el sedimento de la salada Muerte; D: costra salina en la Salineta.



Figura 18. Formas en cúspide en La Playa, debido a producción de gases bajo la costra salina.



Junto a las sales se acumulan arcillas arrastradas por la escorrentía superficial durante las tormentas.

En el suelo o sedimento, a veces emergido y otras sumergido, se concentran gran cantidad de cristales de yeso de tamaño microscópico que confieren al material aspecto y tacto arenoso, llegando a formar, con tiempo suficiente y condiciones adecuadas, rosas del desierto de diferente tamaño.

### **CONTEXTO GEOPOLÍTICO E IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS SALINOS**

Los sistemas hidrogeológicos salinos (lagos o lagunas salinas, saladares, salares, etc.), además de albergar ecosistemas únicos en el mundo, contienen minerales que son de un alto interés para el desarrollo de la economía local e incluso, en algunos casos, para la economía mundial, aunque lo desconozcamos.

Algunas saladas de Los Monegros han sido explotadas como salinas desde tiempos inmemoriales, no bien documentados, siendo éste el caso de La Playa y, en menor grado, Salineta. La extracción de sal se realizaba de forma artesanal. Probablemente esta sal, de limitada calidad, sería utilizada sobre todo en salazones, debido a que la presencia de sales de magnesio y sodio la hace un poco amarga al gusto. A pesar de ello, su importancia radicaba en formar parte del Estanco de la Sal desde 1703, bajo el monopolio exclusivo de Remolinos y siendo en aquella época la única explotación de interior en España (Calvo, 2022).

La industrialización de este proceso se produjo entre los siglos XVII y XVIII. El agua salada se extraía desde un pozo y luego se canalizaba hacia las eras de evaporación, donde por evaporación precipitaban las sales que finalmente eran recolectadas. Más adelante, la sal extraída de estas lagunas se

empezó a mezclar con sal gema proveniente de Remolinos, con el fin de amortiguar el sabor amargo de la sal local y enriquecer el sabor monótono del cloruro sódico de Remolinos. Afortunadamente, algunos restos de las instalaciones, como restos de edificios, eras de evaporación y depósitos de agua, aún pueden observarse (Figuras 15, 16 y 19).

Dependiendo de las rocas y materiales geológicos sobre los que se asientan los sistemas hidrogeológicos salinos, las sales que se concentran en sus salmueras pueden llegar a ser claves desde un punto de vista geopolítico. Por ejemplo, los salares andinos constituyen la principal reserva mundial de litio, el cual es imprescindible, por ejemplo, para la fabricación de baterías de teléfonos móviles y coches eléctricos, o para el desarrollo de fármacos para el cáncer y la depresión.



*Figura 19. Depósitos de agua y restos de las antiguas instalaciones destinadas a la explotación de la sal.*

En concreto, el Salar de Atacama (Chile), que se ubica la zona más árida del mundo (Desierto de Atacama), alberga las salmueras con mayor concentración de litio (más de 5.000 mg/l). La sal del Salar de Atacama, a diferencia de la sal de las salinas de Monegros, proviene de la disolución de los minerales del suelo volcánico de la Cordillera de Los Andes por el agua de lluvia que recarga los acuíferos. Además, la evaporación y el flujo convectivo asociado al gradiente geotérmico anómalo y a la presencia de fallas condicionan la química final de sus salmueras (Marazuela et al., 2020). Debido a la aridez extrema (menor a 20 mm/año de lluvia), la lámina de agua se localiza siempre unos pocos decímetros/metros por debajo del suelo o costra salina, excepto en la zona marginal oriental donde el agua subterránea asciende hasta la superficie alimentando las lagunas de la Reserva Nacional de los Flamencos (espacio RAMSAR). La extracción del litio se realiza mediante bombeo de las salmueras subterráneas y su posterior evaporación en conjuntos de balsas que alcanzan las dimensiones de la ciudad de Zaragoza, en un proceso análogo al de la antigua extracción de sal en Los Monegros, pero a una escala mucho mayor. Muchos otros salares también son ricos en otros elementos químicos de interés, como boro, magnesio, potasio y sodio.

## PARADA 2. POZO AGUSTÍN

Unos 7 km al sur de Bujaraloz, pocos metros a la izquierda de la carretera comarcal A-230 en dirección hacia Caspe, se localiza uno de tantos antiguos pozos que se reparten por el paisaje de Monegros y que antaño tuvieron relativa importancia por ser puntos para extracción del escaso recurso de agua existente en estos áridos parajes.

La necesidad de poder abastecer de agua al ganado en este duro entorno requería captar agua del subsuelo pese a que su calidad distaba de ser la idónea. Pozos excavados a mano, la mayoría de no más de 10 m de profundidad y diámetros grandes, de más de 1 m, eran más que suficientes para captar aguas de dudosa calidad con las que aliviar la sed de los rebaños. Aunque hay agua subterránea a escasa profundidad no puede explotarse excepto para el abastecimiento del ganado, pues la baja permeabilidad del terreno hace que el llenado de los pozos, una vez vaciados, sea muy lento. La elevada salinidad del agua subterránea hace imposible su uso para abastecimiento humano como agua de boca; tampoco sirve para el regadío de la zona cultivable, requiriendo para ello la traída de aguas desde otras partes, como recientemente se ha conseguido con las aguas del Pirineo a través del Canal de Monegros.

Existen inventariados en torno a 43 pozos excavados a mano y algunos de ellos son muy antiguos (Figura 20). Para estudiar la hidrogeología de la zona, el Ministerio de Agricultura construyó 45 sondeos de investigación o piezómetros de pequeño diámetro en 1986, 1989 y 1996. Con ello se pretendía avanzar en el conocimiento de la zona ante su puesta en regadío.



Figura 20. Pozo excavado tradicional de Monegros.



Pese a la degradación de su estado de conservación, se ha escogido para esta breve parada el Pozo Agustín (Figura 21), por la facilidad de acceso y por servir para los objetivos de esta parada, que no es otro que la observación y medición de características del agua subterránea.

Como podremos comprobar con la medición de algunos parámetros fisicoquímicos del agua subterránea, el acuífero somero se caracteriza por tener aguas con conductividad eléctrica en torno a 8 mS/cm, lo que las convierte en aguas de características salobres y duras, con más de 10 gramos por litro de sales disueltas, por lo general saturadas en sulfatos y con contenido de cloruros, calcio y sodio. El contenido de nitrato en el agua es elevado, superior a 50 mg/l, que pone en evidencia el entorno altamente vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario de este acuífero. Ambos motivos condicionan la no explotación y uso de las aguas subterráneas en la actualidad.



Figura 21. Pozo Agustín, en el pasado (Foto IPA-CHE: 301610026) y en la actualidad.

### PARADA 3. ERMITA DE VIRGEN DE LAS NIEVES

Antes de abandonar Bujaraloz se realiza una breve parada en esta ermita, situada a las afueras de la población. Su interés radica en la observación de los fenómenos de ascenso capilar y los efectos que produce en las edificaciones.

Entra la zona vadosa intermedia y la zona saturada del subsuelo se desarrolla la denominada “franja capilar”, que retiene una cantidad relevante de agua, prácticamente hasta saturación, en una altura determinada que es función del tamaño de los poros del terreno. En el caso de un terreno de grano muy fino, una arcilla, por ejemplo, la franja capilar puede ascender hasta 2-2,5 metros por encima de la superficie freática.



En granulometrías medias, como los limos (partículas con diámetro entre 2 y 64 micras) la franja capilar asciende unos pocos decímetros. En las arenas (desde 64 micras hasta 2 mm de diámetro) apenas sube unos pocos centímetros.

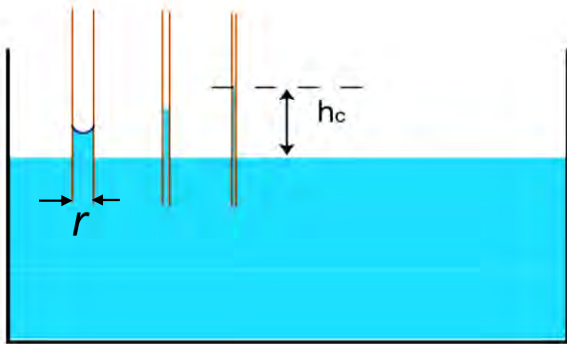


Figura 22. Variación de  $h_c$  (altura capilar) con el valor de  $r$  (espaciado entre partículas).

A partir de la Figura 22, se deduce que la altura se debe a la tensión superficial del agua ( $\sigma$ ), que es una fuerza por unidad de longitud. Considerando que el ángulo de contacto del líquido con la pared es próximo a 0 ( $\cos 0=1$ ), lo que corresponde con un menisco semiesférico, esa altura  $h_c$ , denominada altura capilar, puede calcularse del siguiente modo:

$$2 \times \pi \times r \times \sigma = \pi \times r^2 \times h_c \times \rho \times g$$

$$h_c = \frac{2 \times \sigma}{r \times \rho \times g}$$

Si se asume que el valor de la tensión superficial del agua pura a temperatura ambiente es de 0,075 g/cm (uno de los más elevados de los fluidos de la naturaleza), y que la densidad del agua sin sales disueltas es 1 g/cm<sup>3</sup>, se obtiene como valor de elevación capilar  $0,15 / (r \times g)$ , que puede simplificarse en:

$$h_c = 15 / r \text{ (con los valores medidos en mm)}$$

Resulta evidente que a menor tamaño de grano los huecos existentes entre partículas también tienen menor tamaño, por lo que el valor de  $r$  se hace más pequeño y, por consiguiente, la altura capilar que se tiene es mayor. Sin embargo, las aguas que contienen gran cantidad de sales disueltas, como las que pueden circular por el subsuelo de esta zona de Monegros, adquieren una densidad ligeramente superior a 1 g/cm<sup>3</sup>. Puesto que este factor contribuye con el denominador en la fórmula anterior, el resultado que se consigue es una altura capilar inferior a la altura capilar de aguas no salinas.

La franja capilar acompaña a las oscilaciones de la superficie freática, siempre con una gran inercia. En el caso de terrenos de granulometría muy fina, la franja capilar tarda semanas o incluso meses en alcanzar su equilibrio. Resaltar que el ascenso-descenso capilar es un fenómeno físico afectado por histéresis (fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce). En concreto, la altura capilar no es la misma en periodo de humectación que en periodo de secado.

La evaporación del agua capilar produce la precipitación de las sales que conllevan disueltas, las cuales en su cristalización afectan a la fábrica de los materiales provocando su disgregación, como puede verse en las fotos adjuntas (Figuras 23 y 24).



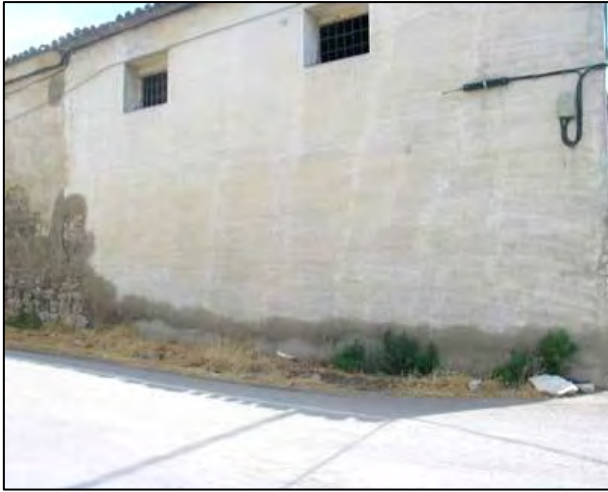


Figura 23. Ascenso de agua por capilaridad y efectos que produce en la base y muros de las edificaciones.



Figura 24. Aspecto actual tras las obras de rehabilitación, donde se observa la continuidad del efecto producido por la salinidad del agua capilar.

## PARADA 4. BARRANCO DE LA VALCUERNA

Dejamos Bujaraloz y nos dirigimos por la carretera N-II en dirección hacia Barcelona hasta la localidad de Peñalba (Huesca) donde haremos la siguiente parada. Por esta población cruza de norte a sur el barranco de fondo plano de La Valcuerna (Figura 25), el más extenso e importante de los barrancos que inciden en el relieve de Monegros (ver Figura 1). Ocupa una extensión de unos 322 km<sup>2</sup> y por su fondo discurre el cauce de mismo nombre, que cuenta con unos 37 km de longitud hasta su confluencia con el río Ebro.

La presencia de manantiales y rezumes difusos en las vertientes y en el fondo del mismo valle propician la generación de una corriente de agua exigua al comienzo que se convierte en permanente a la altura de Peñalba. No obstante, la transformación en regadío de esta parte de Monegros, llevada a cabo fundamentalmente desde la década de los 90 del siglo XX, ha supuesto la traída a esta región de importantes volúmenes de agua procedentes del Pirineo. desde la boca sur del Túnel de Alcubierre, infraestructura ligada al Canal de Monegros. El volumen desaguado excedentario que circula directamente por el barranco o los retornos de agua procedentes del riego en las áreas cultivadas de ambas vertientes de La Valcuerna, se incorporan al cauce como componentes de escorrentía superficial y subterránea, por lo que acaban alterando el caudal y régimen natural del barranco. La transformación en regadío, en definitiva, ha supuesto la multiplicación entre 3 y 15 veces la aportación en régimen natural de La Valcuerna (Berga, 1993).

Cuantificar el caudal que circula en cada momento y evaluar el volumen de recursos hídricos disponibles de una cuenca constituye una tarea fundamental para llevar a cabo una adecuada planificación hidrológica y gestión medioambiental en toda la cuenca, de utilidad para la asignación de los caudales ecológicos, la prevención de sequías o la programación ante situaciones de avenidas.



Figura 25. Arroyo de La Valcuerna, a su paso por la localidad de Peñalba.

La medida o aforo del caudal de un río puede llevarse a cabo por diferentes procedimientos, mediante aforos directos o con técnicas de aforo en continuo, con los que se consiguen resultados más o menos precisos en función de la metodología utilizada.

Los métodos directos de aforo tienen por objetivo establecer el caudal  $Q$  circulante en un instante determinado de tiempo. Con una consecución de medidas periódicas de este tipo se construye un hidrograma o curva de caudal en función del tiempo:  $Q f(t)$ . Las técnicas más utilizadas consisten, entre otras,

en la medida de la velocidad con flotadores o con molinetes sumergidos, los aforos químicos, que miden la dilución con el tiempo de una concentración conocida de un trazador salino añadido a la corriente de agua. Otras técnicas se basan en propiedades físicas y utilizan sensores de tipo electromagnético, sísmico o de ultrasonidos.

Por otro lado, los métodos de aforo en continuo tienen por objeto establecer la relación de la altura de la lámina de agua en función del tiempo. Una consecución de medidas de este tipo en diferentes momentos permite obtener un limnigrama o curva de alturas en función del tiempo:  $H f(t)$ . Los dispositivos comúnmente utilizados consisten, en este caso, en regletas y escalas graduadas introducidas en el cauce con las que se mide puntualmente la altura o calado de la lámina de agua. También se puede medir y registrar la oscilación del calado durante un intervalo de tiempo mediante limnímetros y limnigrafos, que son aparatos que disponen de boyas o sensores que transforman los cambios del nivel en variaciones de presión. En situaciones con escaso caudal se tiene dispositivos de tipo vertedero, que son estructuras que se colocan perpendiculares al flujo y que adoptan diferentes morfologías (triangulares, rectangulares, de tipo Parshall), con ello se provoca el rebose del agua facilitando la lectura del calado de agua a su paso por un canal.

El objetivo que se pretende con la combinación de métodos de aforo directo y aforo en continuo es establecer la relación entre el caudal circulante y la altura de la lámina de agua:  $Q f(H)$ , para dibujar la que se denomina “curva de gastos”. Para que los aforos en un mismo punto sean comparables, han de poder realizarse preferentemente en lugares adecuados y preparados del cauce, donde las características de la sección permanezcan invariables en el tiempo, para medir la altura de la lámina del agua y realizar



aforos directos en idénticas condiciones del cauce. Los puntos de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) de la CHE facilitan este cometido y proporcionan datos de nivel y caudal de los principales cursos de agua.



Figura 26. Estación de aforos EA 9231 Barranco Valcuerna en Candasnos, perteneciente a la red ROEA de la CHE

El caudal que circula por La Valcuerna es controlado en la actualidad en la estación de aforos EA 9231: Barranco Valcuerna en Candasnos (Figura 26) que se encuentra unos 7 km aguas abajo de Peñalba. Dispone de regleta, limnógrafo y vertedero rectangular, contando con medidas diarias de caudal desde 1985. La aportación anual promedio de los 22 años con datos completos entre 1985 y 2018 es de 15,39 hm<sup>3</sup>, que supone un caudal anual de 0,488 m<sup>3</sup>/s. La estación de aforos registra dos periodos de aguas altas, uno entre agosto y octubre, y otro entre abril y mayo. La curva de gastos correspondiente a esta estación de aforos se observa en la Figura 27.

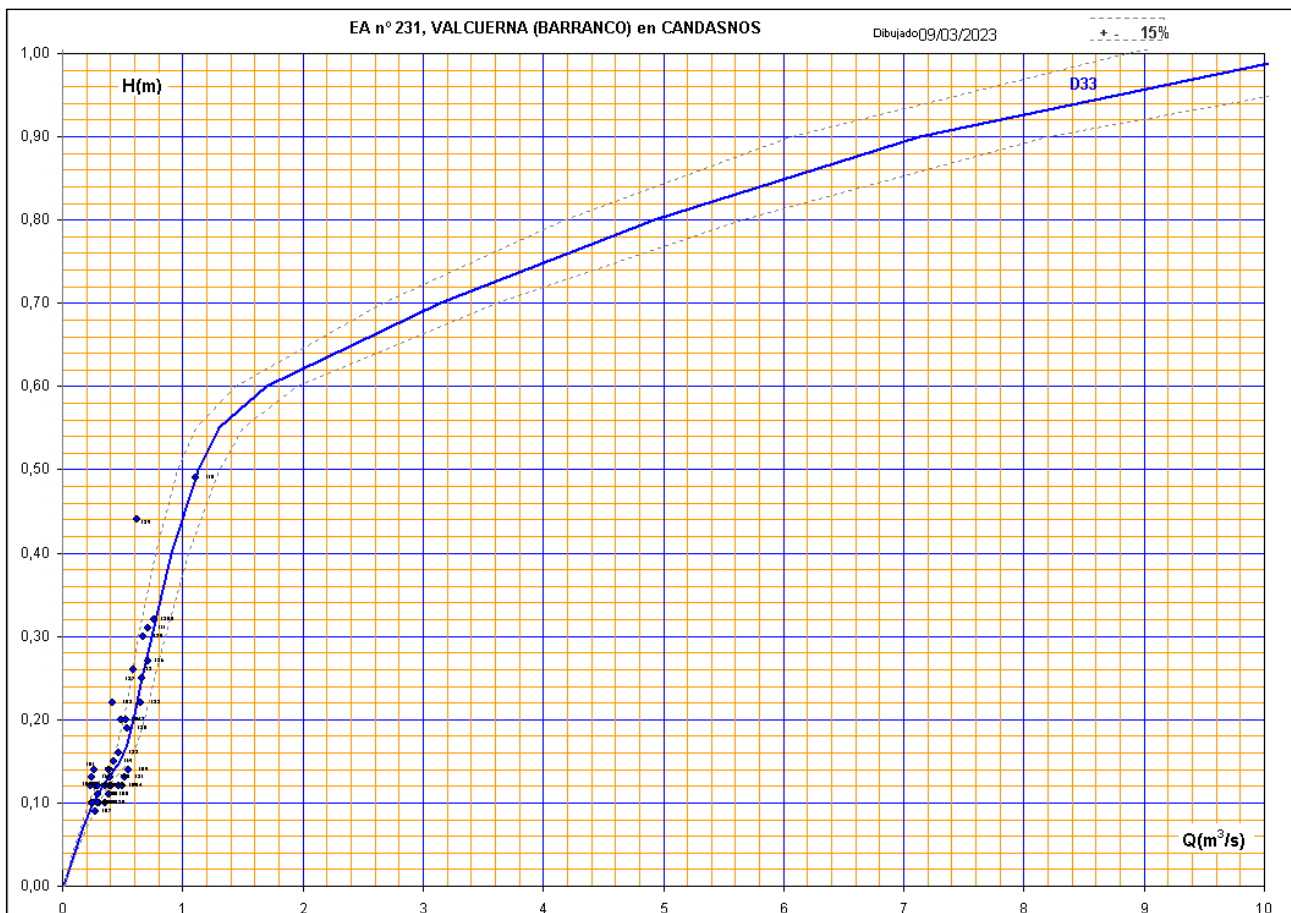


Figura 27. Curva de gastos, o de caudal-calado, correspondiente a la estación de aforos EA 9231 Barranco Valcuerna en Candasnos (fuente: CHE).

En esta parada, además de analizar algunos parámetros básicos indicativos de la calidad del agua (conductividad eléctrica y concentración de nitratos), procederemos a una práctica sencilla de estimación del caudal circulante por el método de flotación. Medido el calado del agua y la sección de paso en el tramo canalizado del barranco se necesitará calcular la velocidad del agua para obtener un dato bastante aproximado del caudal.

### **ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA SUBTERRÁNEA A UN CAUCE SUPERFICIAL**

Las interacciones entre las aguas subterráneas y las superficiales son muy complejas y dependen de múltiples factores. La dependencia mutua de ambos cuerpos de agua crea la necesidad de tratarlos como un único sistema (Blanco-Coronas et al., 2021). El grado de intercambio depende de numerosos factores entre los que se incluye la topografía, la geología, las propiedades hidráulicas del subsuelo, las variaciones temporales en la precipitación y patrones de flujos locales de agua subterránea (Cey et al., 1998)

La estimación de la descarga subterránea a los ríos ha sido objeto de numerosos estudios basados fundamentalmente en la separación de las componentes del hidrograma de caudales (Custodio y Llamas, 1983). Otras alternativas a la separación de las componentes del hidrograma son los aforos diferenciales y la realización de balances de masa de constituyentes químicos e isotópicos (Freeze & Cherry, 1979).

#### **Aforos diferenciales**

Consiste en la realización de aforos directos en varios puntos del cauce entre los que sabemos que no existe aporte superficial o conocemos dicho aporte superficial. El incremento de caudal obtenido entre ambos puntos será el caudal subterráneo que está descargando el acuífero de forma difusa al

cauce a lo largo del perfil seleccionado. De la misma forma, en el caso de que este caudal disminuya, indicará que es el río el que descarga en el acuífero. Esta información se puede confirmar con la medida de los niveles piezométricos en esa zona, que deberían estar por encima o por debajo de la cota del cauce respectivamente. Los datos piezométricos junto con los datos de aforo, permiten relacionar las diferencias de caudal con los ascensos y descensos del nivel.

### **Balance de masas en zonas salinas: Aplicación al Arroyo de La Valcuerna**

En zonas salinas conectadas a ríos y arroyos, la evolución de la calidad química a lo largo de un cauce en respuesta al aporte subterráneo puede proporcionar información sobre la magnitud de la descarga subterránea. Esto se debe a que la salinidad de las aguas subterráneas en estos casos es mucho mayor que la de las aguas superficiales circulantes.

Esta metodología se integra dentro de los métodos químicos y se basa en la realización de un balance de masas a lo largo de un tramo de un río conectado hidráulicamente a un acuífero en el que se controla la variación espacial de la calidad química del agua. Los métodos basados en el estudio de la composición química de las aguas (La Sala 1967; Pinder & Jones, 1969), determinan el porcentaje de flujo de base del caudal del río, teniendo en cuenta las variaciones de distintos componentes tales como iones mayoritarios ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ...).

En este caso, las aguas del acuífero son aguas salobres con una conductividad eléctrica media de 8900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (IRYDA, 1989). Las aguas subterráneas próximas al arroyo de La Valcuerna son aguas cloruradas-sulfatadas-sódico-magnésicas con una conductividad eléctrica próxima a 14.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en el arroyo de La Valcuerna es de unos 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La evolución de los parámetros



químicos a lo largo del arroyo muestra un continuo incremento debido al aporte subterráneo de agua salobre. Esto indica la existencia de una descarga subterránea constante a lo largo de todo el tramo del arroyo.

El balance de masas en zonas salinas se aplicó al Arroyo de La Valcuerna (García-Vera et al., 1991), que como se ha comentado, es un arroyo afluente del río Ebro que recibe los aportes salinos del acuífero constituido fundamentalmente por yesos y margas yesíferas. Tiene una longitud de 28 km y se divide en dos tramos. El primer tramo, conocido como Val del Reguero, llega hasta la población de Peñalba y el segundo, comprendido entre Peñalba y el río Ebro. Solo por el segundo tramo fluye agua de forma permanente y es donde se estimó el aporte subterráneo. Utilizando los datos de conductividad eléctrica medidos en 10 puntos a lo largo del cauce del arroyo (entre Peñalba y el embalse de Mequinenza), García-Vera y Cúas (1990) obtuvieron una aportación subterránea de 5,4 l/s/km con una conductividad eléctrica de 14.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El aumento de caudal y la salinidad a lo largo del cauce debido a la aportación subterránea sucede hasta un punto a unos 12 km aguas abajo de Peñalba, a partir del cual los valores se mantienen prácticamente constantes. Esto es coherente con el hecho de que nivel piezométrico en esa zona se encuentre unos 5 m por debajo del nivel del agua del arroyo. Todo esto parece indicar que a unos 12 km aguas abajo de Peñalba del arroyo deja de estar conectado hidráulicamente con el acuífero. Asimismo, Aragües (1984) constató el aumento del caudal y de la conductividad en el tramo comprendido entre Peñalba y un punto situado a 4 km antes de llegar al embalse de Mequinenza. A partir de este punto la conductividad eléctrica se mantiene prácticamente constante y el caudal disminuye hasta desaparecer.

## REFERENCIAS

- Ángela M. Blanco-Coronas I, Manuel López-Chicano, Rogelio Acosta-Rodríguez y María Luisa Calvache. (2021) Estimación de la recarga y descarga de agua subterránea mediante aforos diferenciales en el tramo final del río Guadalfeo (Granada) GEOGACETA, 69.
- Berga Celma, A. (1993). Relaciones Clima-Agua-Suelo-Subsuelo en Monegros II. Tesis doctoral. Universidad de Lérida.
- Calvo, M. (2022). La sal en la provincia de Zaragoza. Diputación provincial de Zaragoza, 92 páginas. ISBN: 978-84-9703-415-9.
- Castañeda, C. & Herrero, J. (2005). The water regime of the Monegros playa-lakes established from ground and satellite data. *Journal of Hydrology* 310: 95-110.
- Cey, E., Rudolph, D.L. y Parkin, G.W. (1998). Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in southern Ontario. *Canada. Journal of Hydrology*, 210, 21-37.
- Custodio, E. y M.R. Llamas (1982): Hidrología Subterránea. Ediciones Omega S.A. Barcelona
- Freeze, A. & J. Cherry (1979): Groundwater. Prentice-hall, Inc., 604 pp.
- García Vera, M.A. y R. Cúas (1990): Estudio de las aguas superficiales y subterráneas en el Valle de La Valcuerna. XXIV Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Barcelona.
- Gracia Vera, M.A., Samper, J. y Poncela, R. (1991): Estimación mediante balance de masas de la descarga subterránea en zonas salinas: aplicación al arroyo de La Valcuerna (Huesca). *Hidrogeología* 9: 31-51.
- García-Vera, M.A. (1996). Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos.

Aplicación a Los Monegros. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 297 pp.

F. Gutiérrez, B. Valero-Garcés, G. Desir, P. González-Sampériz, M. Gutiérrez, R. Linares, M. Zarroca, A. Moreno, J. Guerrero, C. Roqué, L.J. Arnold, M. Demuro. (2013). Late Holocene evolution of playa lakes in the central Ebro depression based on geophysical surveys and morpho-stratigraphic analysis of lacustrine terraces. *Geomorphology* 196 (177-197).

I.R.Y.D.A. (1989). Estudio geohidrológico de los Sectores VII, IX y XI de la zona regable de Monegros, II (Zaragoza y Huesca). 4 tomos.

La Sala, A. (1967). New Approaches to Water Resources Investigations in Upstate New York, *Ground Water*, 5(4): 6-11.

López, P.L., Auqué, L.F., Mandado, J., Vallés, V., Gimeno, M.J., Gómez, J. (1996). Determinación de la secuencia de precipitación salina en la laguna de La Playa (Zaragoza, España). Condiciones de equilibrio mineral y simulación teórica del proceso. *Estudios Geológicos* 55, 27-44.

Marazuela, M.A., Ayora, C., Vázquez-Suñé, E., Olivella, S., García-Gil, A. (2020). Hydrogeological constraints for the genesis of the extreme lithium enrichment in the Salar de Atacama (NE Chile): A thermohaline flow modelling approach. *Science of the Total Environment* 739, 139959.

Pinder, G. y Jones, J. (1969). Determination of groundwater component of peak discharge from chemistry of total runoff, *Water Resources* 5, 438-445.

Salvany, J.M., García-Vera, M.A. and Samper, J. (1996). Geología e hidrogeología de la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago. *Acta Geologica Hispanica* 30: 31-50.

Sánchez, J. A., Martínez, F. J., De Miguel, J. L., and San Román, I. (1989). Hidrogeoquímica de

la zona endorreica de las lagunas de Monegros, provincias de Zaragoza y Huesca, *Boletín Geol. Minero*, 100, 876-885.

Sánchez, J.A., Pérez, A., Coloma, P. and Martínez, F.J. (1998). Combined effects of groundwater and aeolian processes in the formation of the northernmost closed saline depressions of Europa: north-east Spain. *Hydrological Processes*, 12, 813-820.

Suárez Cardona, F., Sainz Ollero, H., Santos Martínez, T. & González Bernáldez, F. (1992). *Las estepas Ibéricas*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Centro de Publicaciones, Madrid, 160 pp.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2023-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza (IGME-CSIC), Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) y Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR). Por otro lado, agradecemos la colaboración a todos aquellos que nos han ayudado a su difusión.

## CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Se ruega puntualidad

Llevar bebida y algo para almorzar

Llevar calzado cómodo

Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra, crema solar, paraguas, chubasquero, ropa de abrigo...



El lugar de finalización de la excursión será el mismo que el de salida (Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses. C/ García Arista-Avda. Pirineos).

La hora de llegada es aproximada (14:30h).

## CONCURSO DE FOTOGRAFÍA SOBRE EL HIDROGEODÍA

Desde la AIH-GE se propone un CONCURSO DE FOTOGRAFÍA en el que cada participante puede participar subiendo una foto a Twitter.

Para dar validez a la foto en la participación del concurso se deben cumplir estos requisitos:

- Nombrar en el Tweet a la cuenta de la AIH-GE que es: @GE\_AIH
- Poner la etiqueta #hidrogeodia23

Cada fotografía irá acompañada de la siguiente información:

- Título de la fotografía
- Hidrogeodía-localidad
- Texto breve con la descripción del lugar donde fue tomada

Ganará la foto que reciba más likes a día 31 de marzo a las 23:59 h. En el caso de empate, la que haya sido más veces retuiteada.

Las fotos publicadas para el concurso podrán utilizarse en años posteriores para dar difusión a la actividad en la web de la AIH-GE y las redes sociales.

## ENCUESTAS DE SATISFACCIÓN HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Os animamos a que rellenéis las encuestas de satisfacción para tener una idea de los aspectos a mejorar en futuras ediciones.

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2023>

## ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2023

Eduardo A. Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

Miguel Ángel Marazuela (CN IGME-CSIC)

## COLABORADORES

Miguel Ángel García-Vera (CHE)

Carmen Castañeda (EEAD-CSIC)

José Ángel Sánchez Navarro (UNIZAR)

## **NOTAS**





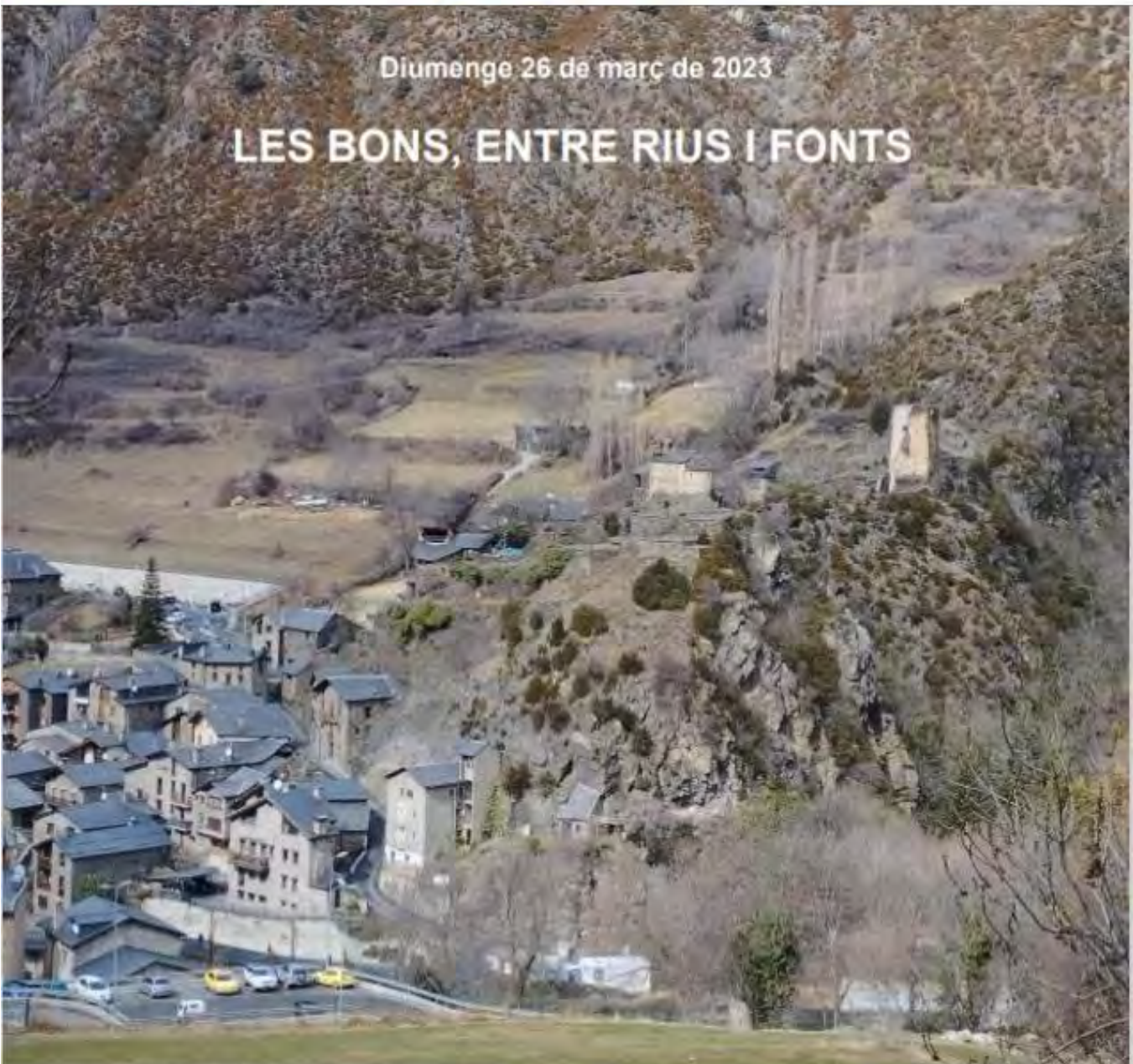
# HIDROGEODÍA

## 2023 ANDORRA

M. Chevalier  
[www.fundaciomarcelchevalier.org](http://www.fundaciomarcelchevalier.org)

ANDORRA  
RECERCA +  
INNOVACIÓ

Govern d'Andorra  
Ministeri de Cultura i Esports



Diumenge 26 de març de 2023

## LES BONS, ENTRE RIUS I FONTS

**EXCURSIÓ GRATUÏTA I GUIADA.** Ruta circular sense dificultat tècnica (3 km)  
Punt de trobada: Hotel Rosaleda (Encamp)  
Hora de sortida: 09:30 h  
Hora de tornada (estimada): 13:30h

Per a més informació:  
<https://www.aifn-ge.org/hidrogeodia-2023/>  
[igeofundacio@fundaciomarcelchevalier.org](mailto:igeofundacio@fundaciomarcelchevalier.org)

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

HIDROGEODÍA 2023

II Concurso de Fotografía Hidrogeológica AIN-Hidrogeodia 2023

Autores : Valentí Turu (Fundació Marcel Chevalier) y Anna Echeveria (Fundació Andorra Recerca i Innovació)



## INTRODUCCIÓ

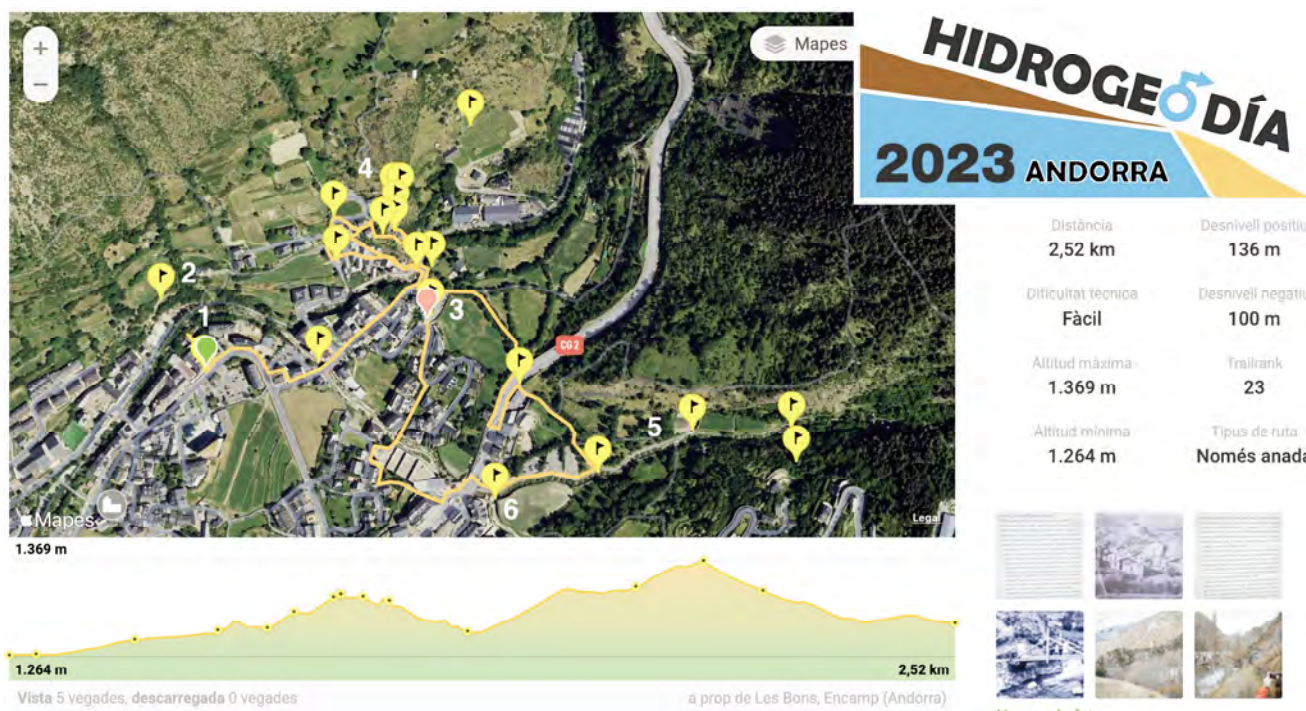
L'excursió que organitza **Andorra Recerca i Innovació** (Ari) amb la **Fundació Marcel Chevalier** (FMC) com a activitat del dia Mundial de l'Aigua (inclou les Aigües Subterrànies), L'activitat s'emplaça dins de l'Hidrogeodia, que el grup Espanyol de l'Associació Internacional d'Hidrogeòlegs coordina. L'edició d'enguany al Principat d'Andorra es desenvolupa a la Parròquia d'Encamp i porta per títol:

### LES BONS, ENTRE RIUS I FONTS

L'objectiu principal de la ruta serà explicar el funcionament hidrogeològic d'aquesta zona de fons de vall, on conflueixen dos rius, l'Aixec i el Valira d'Orient, sense oblidar el marc geològic i geomorfològic on se situa aquesta zona central del Principat d'Andorra.

El recorregut està dividit en dos, un per la part urbana (de 1 a 4) i l'altra pel extraradi (5 i 6). Dins dels elements patrimonials destaca l'Hotel Rosaleda (ara seu del Ministeri titular de Cultura, Sant Romà de les Bons i la torre dels Moros restaurada. La zona perifèrica està afectada per perillositats geològiques derivades on l'aigua és un factor clau.

El Departament de Patrimoni Cultural ens ha facilitat l'accès a l'interior de Sant Romà de Les Bons a partir de les 10H30. Després podrem fer una parada per gaudir de la vista de Les Bons i Encamp, fet que ens permetrà veure elements del paisatge i interpretar-los.



<https://ca.wikiloc.com/rutes-senderisme/les-bons-entre-rius-i-fonts-hidrologia-2023-127882045>

## PARADA 1. HOTEL ROSALEDA

L'hotel Rosaleda és un edifici singular que forma part de l'Inventari general del patrimoni cultural d'Andorra amb classificació de monument i és un dels exemples més destacats de l'anomenada arquitectura de granit, juntament amb l'edifici de la central de FASHA, ràdio Andorra, l'hostal Valira, o l'Hotel Carlemany entre altres.



Foto ANA- Arxiu F.Pantebre



1948 (ANA)

(Documentació Ex Libris 23 i 25)

La cuina també va ser la més moderna d'Andorra al seu moment, tenia fogons, cambres frigorífiques i fins i tot una màquina de pelar patates que encara conservem a les reserves del Departament de patrimoni cultural.

Avui és la seu del Ministeri de Cultura. Té els seus orígens a principis dels anys 40 del segle passat. Va ser encomanat a l'arquitecte català Adolf Florensa, un representant destacat del Noucentisme català. Fou inaugurat l'any 1943 tal i com trobem gravat a la façana principal.

Construït per la família Puigsubirà. Els primers a regentar-lo van ser la Dolors Puigsubirà casada amb Joan Martí, que va ser el xef de l'hotel i el primer xef d'Andorra, format a París.

Al soterrani hi havia el forn de pa-pastisseria, les calderes, la bugaderia, els cellers amb una important bodega, els tallers pel manteniment de les instal·lacions i les habitacions pels xofers i el servei dels hostes.

Hi havien dos piscines, la més petita era per als nens i tenia forma de trèvol, construïda per uns paletes gallecs, que després va passar a ser climatitzada. Aquest espai és el que no ha estat recuperat i està en un estat penible.



## PARADA 2. RIU VALIRA D'ORIENT: INUNDACIONS DEL 1937 A ENCAMP

Les inundacions del 26, 27 i 28 d'octubre de 1937 van causar danys sobretot a Encamp i Escaldes, on no es van produir víctimes i només es va informar que algunes cases van ser arrossegades. A la resta de vall i parròquies, no es menciona cap dany

important, tret dels danys habituals a la vegetació i les pèrdues agrícoles conseqüència de les inundacions segons Joan Becat. (Geògraf del desaparegut Institut d'Estudis Andorrans, secció de Perpinyà).



Font ANA (Fons Builles)

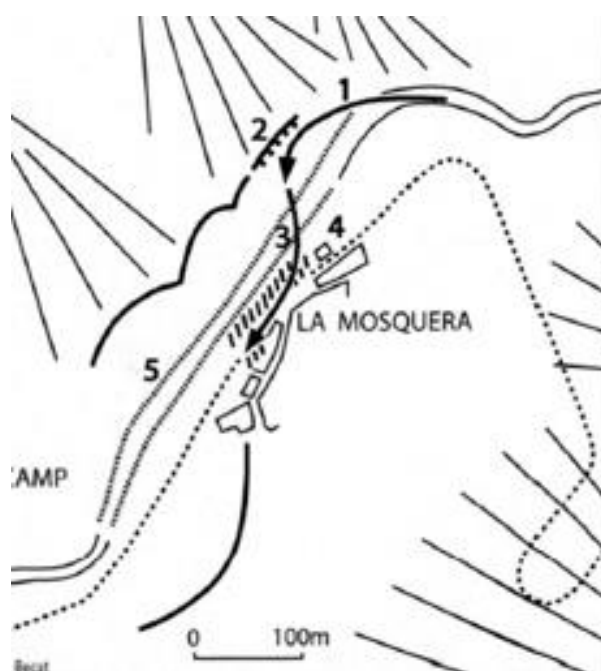


Font ANA (Fons Builles)

Segons Salvador Llobet (autor del *Medi i la Vida d'Andorra*, 1946), els cabals mitjans durant aquest episodi van ser de 90 m<sup>3</sup>/s a Ransol i 150 m<sup>3</sup>/s a Escaldes, amb cabals punta de 1.205 i 1.013 m<sup>3</sup>/s. Cal tenir com a referència, que el riu Valira a la presa de Ransol tenia en aquella època un cabal mitjà anual de 2,8 m<sup>3</sup>/s i un cabal d'estiatge de 0,8 m<sup>3</sup>/s segons Joan Becat (IEA, centre Perpinyà).

A Encamp l'impacte va ser més gran. El riu Valira d'Orient va socavar i erosionar la base

d'un meandre còncav, provocant el col·lapse d'un terraplè inundà el sector central de la vila d'Encamp. El riu va establir un nou tren de meandres, més exagerats que els anteriors i es va endur tota una sèrie de cases construïdes a la vora del seu llit. La Casa Comunal va ser mig destruïda, juntament amb l'arxiu comunal, entre d'altres. Des de l'aiguat del 1937 el Comú arrossegà un gran dèficit públic, sobretot per la construcció d'infraestructures com la canalització i la Casa Comuna segons l'historiador Joan Lluís Ayala (Arxiu Nacional d'Andorra).



Croquis interpretatiu :  
la dinàmica de la Valira  
d'Orient a Encamp  
durant l'aiguat del 1937

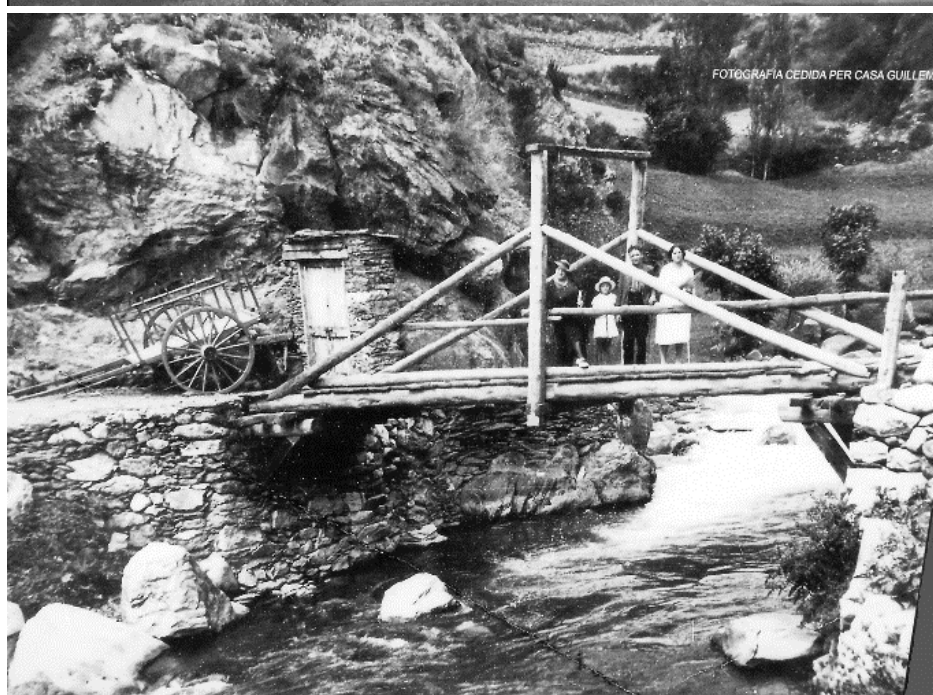
- 1 Exageració d'un meandre
- 2 Erosió i esllavissada d'un talús
- 3 Nous meandres i cases emportades
- 4 Casa del Comú esventrada
- 5 Dics i llit rectificat posteriorment



### PARADA 3. LES BONS (Lobedonç)

El poble de Les Bons apareix documentat per primer cop a la Concòrdia de l'any 1162. Al segle XII és conegut com Lobedonç, que significa pedres, penyes. Tots els edificis estan agrupats sota el castell de Les Bons i orientat al sud-oest per aprofitar millor la llum del dia, ocupant el vessant de forma esglaonada.

Les característiques del terreny rocós i abrupte sobre el qual està assentat el poble, el fan poc apte per a les construccions modernes, el que ha permès que el poble s'hagi conservat amb l'urbanisme tradicional i que te el seu origen en l'edat mitjana.

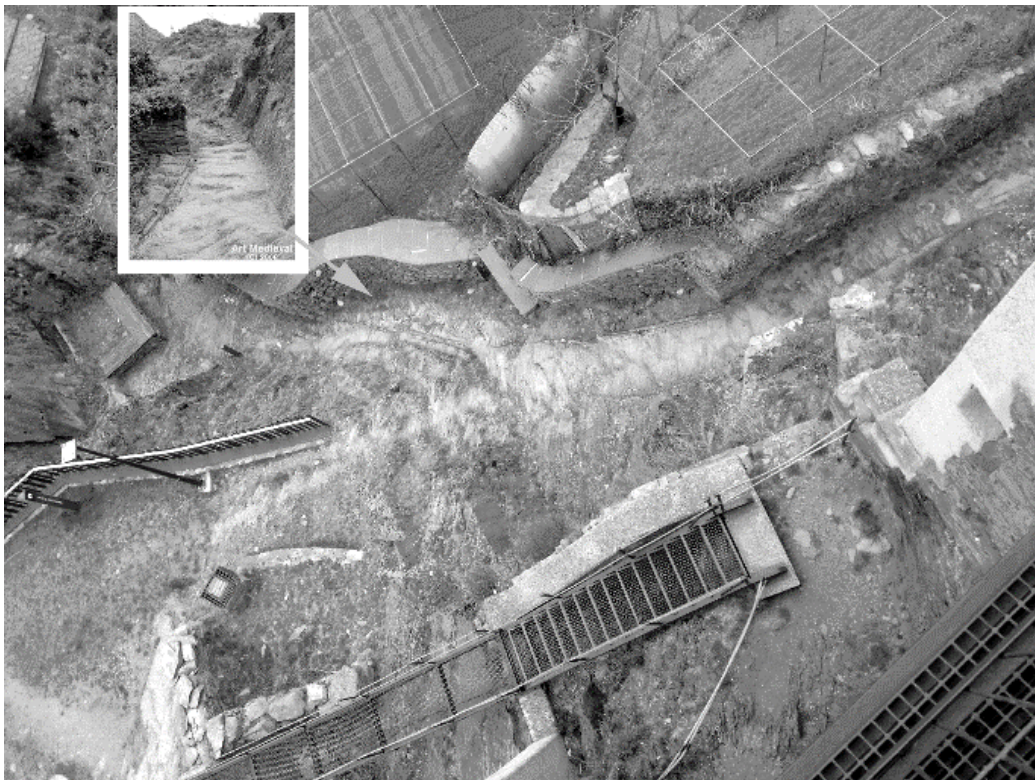


(Fons Arxiu Comú d'Encamp)

## PARADA 4. SANT ROMÀ I LA TORRE DELS MOROS

Tots els edificis del poble estan agrupats sota el castell de les Bons, conjunt format per la Torre dels Moros i l'església de Sant Romà. Seguint el camí s'observa un còm o obi d'aigua, conegut com "bany de la reina mora".

L'església de Sant Romà fou consagrada al 1164, d'origen romànic i un porxo del s. XVI-XVII. A l'interior de l'església està decorada amb pintures del s.XVI. A l'interior hi ha una reproducció de les pintures romàniques actualment al MNAC.



Solc al substrat rocós que canalitza l'aigua pel camí



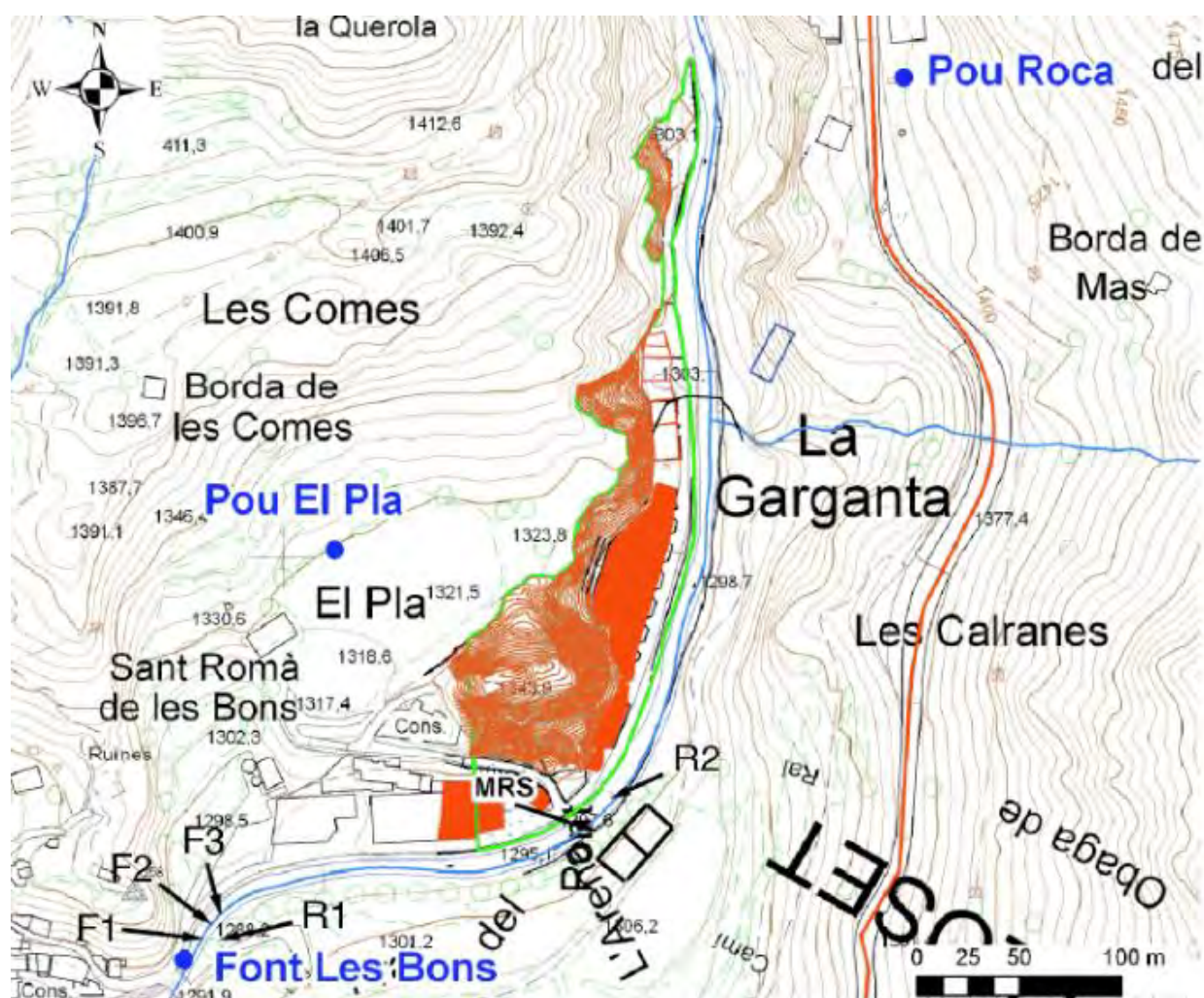
Visita a l'interior de l'església romànica amb els participants



## PARADA 5: L'AQUÍFER DE LES BONS

La part baixa de Les Bons està format per una vall molt estreta en forma de garganta limitada per afloraments rocosos. Aquesta és una antiga gorja subglacial que ha estat omplerta

per sediments al·luvials que formen l'aquífer de Les Bons. El riu és perdedor en el tram superior i guanyaor al seu tram inferior



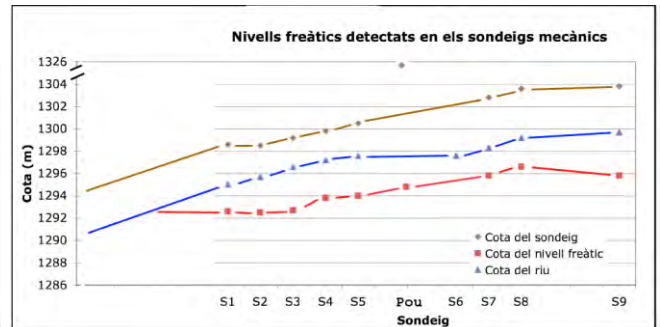
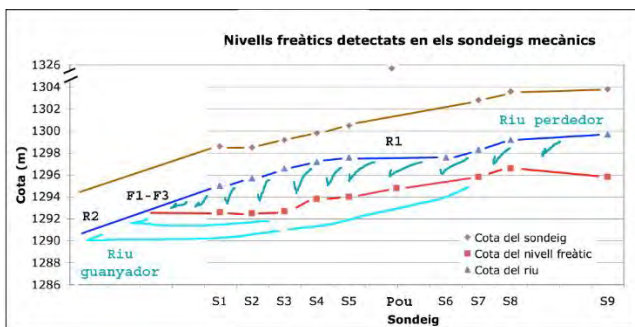
Situació de la Font de les Bons i dels pous existents (D-013.11.09)

Punt	pH	Eh	Cond	T	Q	Observacions
R1	8,32	-66,2	224	0,6	11 m <sup>3</sup> /s	En el aforador del pont vell de Les Bons
R2	8,38	-69,7	224	0,7	22 m <sup>3</sup> /s	Devant de la Cruïlla que mena al "El Pla"
F1	7,77	-38,6	209	9,2	0,15 l/s	A uns 13 metres del peu del pont de Les Bons
F2	7,71	-39,4	249	7,1	0,25 l/s	A uns 18 metres del peu del pont de Les Bons
F3	7,79	-38,9	247	6,4	0,35 l/s	A uns 24 metres del peu del pont de Les Bons
	-	mV	μS/cm	°C		

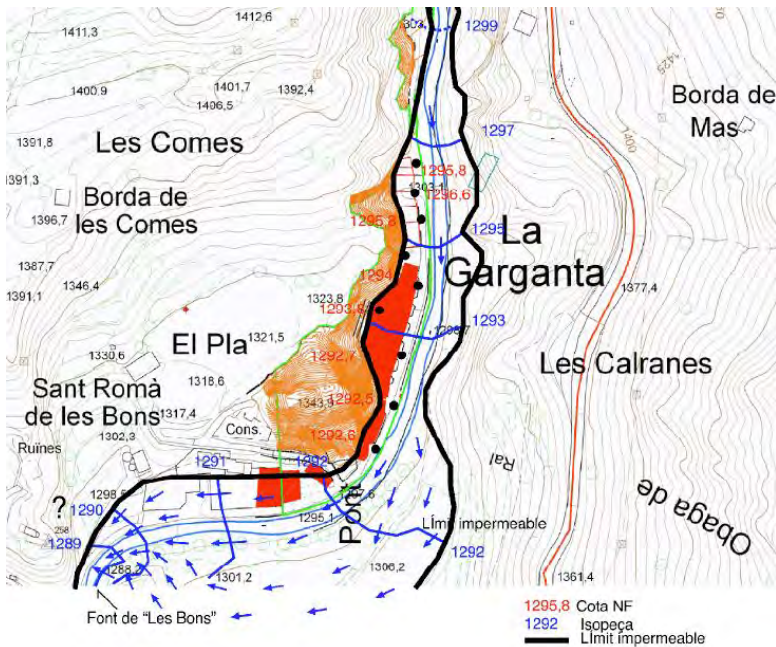
Mesures a fonts i a la llera del riu Valira d'Orient (D-009.04.07)



Construcció d'un pou. El nivell freàtic està connectat a l'aquífer al·luvial



Situació dels nivells d'aigua i interpretació dels fluxos subterranis



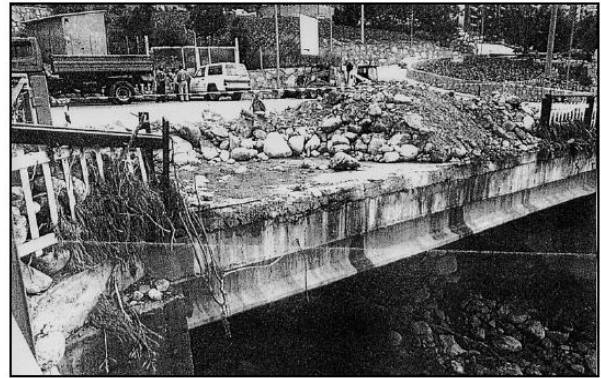
Interpretació de les línies de flux de l'aquífer abans d'interceptar el riu.

Les observacions del nivell piezomètric seguint el trajecte del riu Valira d'Orient (respectives línies vermella i blava als gràfics següents) permeten interpretar les diferències de cabal observades entre R1 i R2. El riu passa de recarregar a l'aquífer per posteriorment ser recarregat per aquest.

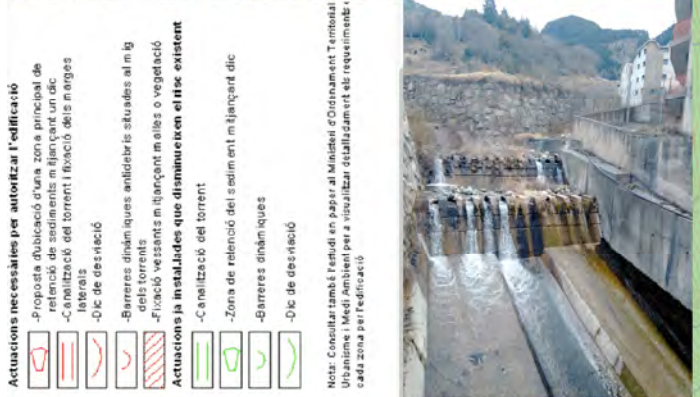
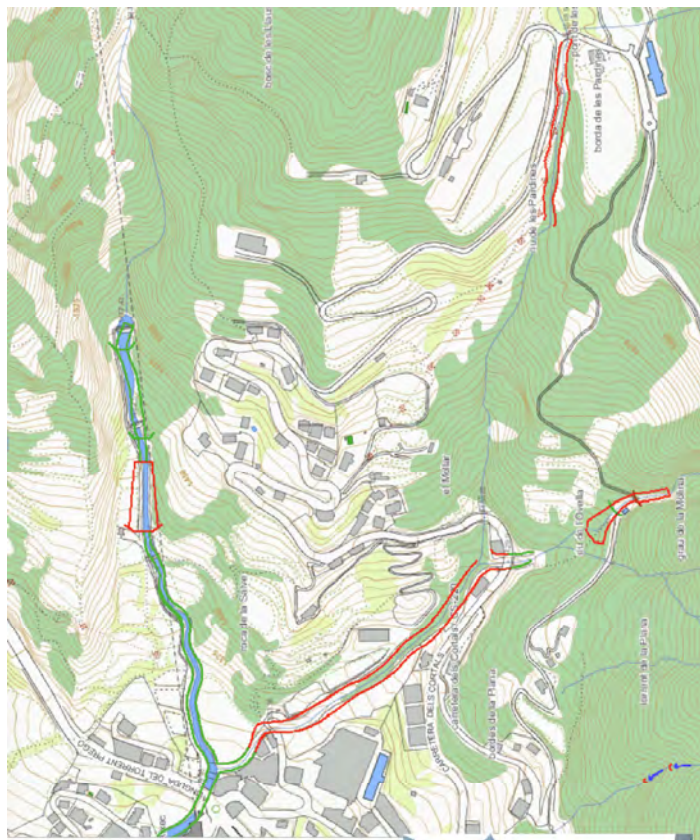
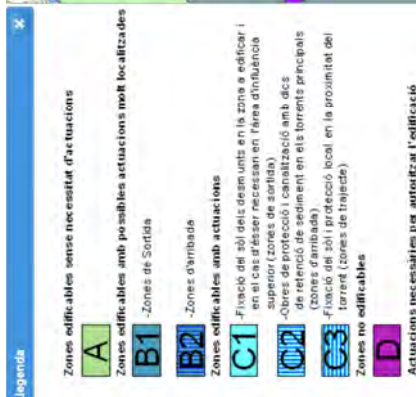
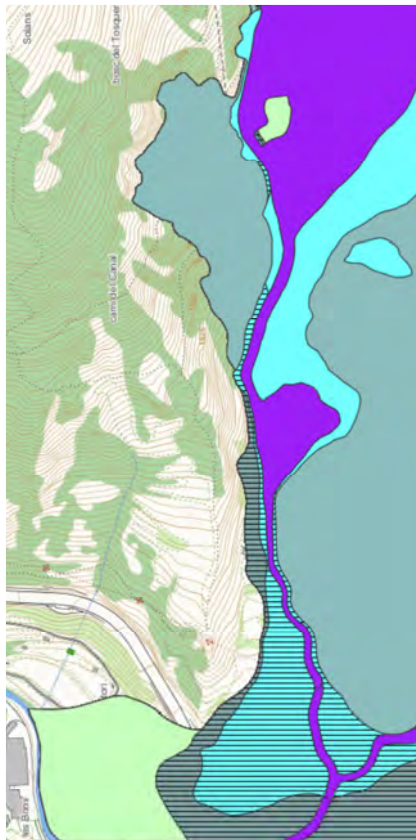


## PARADA 6. RISC DE CORRENT D'ARROSSEGALLS, EL RIU AIXEC

Seguint el camí de l'Oratori de Les Bons, i d'aquí a Torrent Pregó, ens endinsem en un sector amb risc d'aiguats torrencials pel Riu dels Cortals d'Encamp al 1996 i al 2004. L'excursió ens permet parlar de les obres hidràuliques construïdes pels volts del 2005 per aturar els sediments que porten els torrents a prop de la zona urbanitzada



Pont de la CG2 (6-8-1996)



Cartografia de riscos naturals existent (<https://www.ideandorra.ad>)

## NOTAS



## NOTAS

# HIDROGE♂DÍA

## 2023

BAURU - SÃO PAULO



# SACRE

soluções integradas de água  
para cidades resilientes



## HidroGeoDia|Brasil

O projeto SACRE<sup>1</sup>, com apoio da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) e da Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH) Brasil, apresenta o HidroGeoDia|Brasil. Esse evento, que já ocorre em países como Espanha, Canadá, Chile e Nicarágua, consiste em uma visita técnica guiada por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) a pontos de interesse em recursos hídricos e hidrogeologia. Dirigido ao público em geral, o HidroGeoDia faz parte das comemorações do Dia Mundial da Água (22 de março) e, nesta primeira edição brasileira, ocorrerá em Bauru (SP) no dia 18 de março de 2023 (sábado).

Este evento será uma excelente oportunidade para refletirmos sobre os desafios do abastecimento público, sobretudo no enfrentamento dos problemas advindos das mudanças climáticas globais.

Nessa atividade de um dia, iremos visitar as fontes de água da cidade, que incluem poços tubulares profundos, e a captação do rio Batalha, a Estação de Tratamento de Água (ETA).

## E quais são as fontes de água em Bauru?

O sistema de abastecimento de água em Bauru é composto de uma captação de água bruta no rio Batalha, cujo tratamento ocorre na ETA Bauru, e de outros 41 poços profundos que captam água subterrânea do Sistema Aquífero Guarani (SAG). O Departamento de Água e Esgoto (DAE) é o responsável pelo fornecimento de água e coleta e tratamento de esgoto em Bauru. Ainda há mais de 500 poços privados que captam água do Sistema Aquífero Bauru (SAB).

### *Mas o que são esses aquíferos?*

A água proveniente da chuva infiltra-se na superfície até chegar nos aquíferos, que formam reservatórios, onde a água subterrânea flui e armazena-se nos poros formados entre os grãos das rochas (SAG e SAB) (Figura 1).

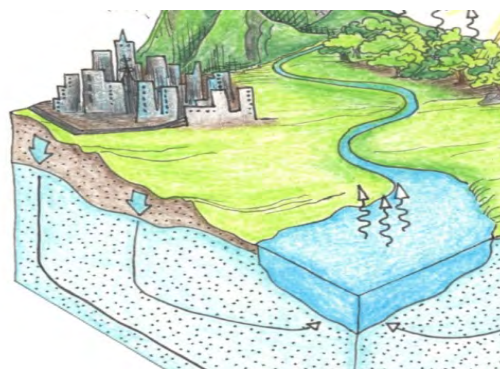


Figura 1. Modelo esquemático de um aquífero e a descarga das águas subterrâneas em um rio.  
(Arte Isabela Hirata)

<sup>1</sup> O SACRE [Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes] é um dos maiores projetos de pesquisa em águas subterrâneas do Estado de São Paulo, contando com financiamento da FAPESP (Processo 2020/1543-4-0) e CNPq e participação de

universidades brasileiras (USP, Unicamp, Unesp, Unifesp), canadense (Waterloo) e japonesa (Hiroshima), e instituições do governo do Estado de São Paulo (IPA, IPT, Cetesb, SIMAL).

Para se explorar o SAG por meio de um poço, é preciso que a perfuração atravesse o SAB primeiro, que possui espessuras máximas de 200 m nas

regiões topográficas mais elevadas de Bauru. Já o SAG na região pode apresentar espessuras entre 80 e 250 m (Figura 2).

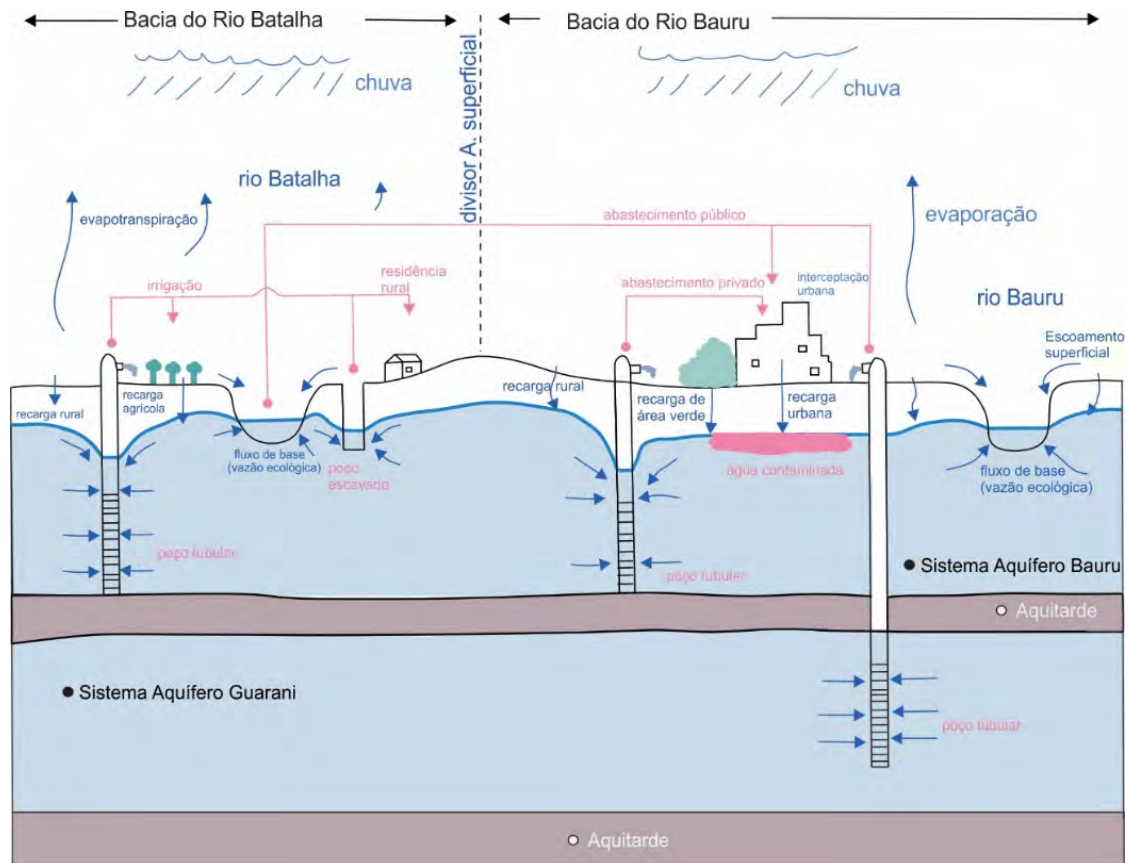


Figura 2. Modelo esquemático hidrogeológico.

Esses aquíferos não estão presentes apenas em Bauru. O SAG, por exemplo, ocupa uma área de 1,2 milhões de km<sup>2</sup>, estendendo-se pelo Brasil (70%), Paraguai (5%), Uruguai (5%) e Argentina (20%). Já o SAB é o aquífero mais explorado no Estado de São Paulo, ocorrendo em cerca de 40% do território paulista.

### Como a água chega até as nossas casas?

Segundo o DAE, cerca de 35% da população é atendida pela água superficial captada (vazão de 13,2 Mm<sup>3</sup>/ano) e tratada do Rio Batalha. Até chegar às torneiras dos consumidores, essa água passa por várias etapas (Figura 3).

Após a captação e adução, a água bruta vai para a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde, por meio de vários



processos químicos e físicos, torna-se potável e está pronta para ser distribuída à população. Na ETA, também há o laboratório de análises químicas que realiza análises rotineiras

da potabilidade da água tratada de forma a garantir permanentemente a qualidade da água distribuída para a população.



Figura 3. Sistema de captação e tratamento de água. Fonte: DAE-Bauru

Os 41 poços tubulares extraem outros 33,0 Mm<sup>3</sup>/ano de água do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e abastecem cerca de 65% da população. Por sua excelente qualidade, as águas extraídas

do SAG não vão para a ETA, recebendo como tratamento apenas o cloro (bactericida) e o flúor, que são exigências da Portaria GM/MS N<sup>o</sup> 888/2021.

## Roteiro da visita técnica - HidroGeoDia|Brasil 2023



Figura 4. Pontos que serão visitados em Bauru e arredores.

### 1ª Parada

Lagoa de Captação- Rio Batalha



### 2ª Parada

Estação de Tratamento de Água – ETA



### 3ª Parada

Poço de produção do DAE (SAG)



### 4ª Parada

Jardim Botânico e poço de produção no SAB



## Equipe

Alexandra Suhogusoff

Claudia Varnier

Daniela Barbati

Eduardo Ikehara

Fernanda Barreto

Fernando Schuh

Leonardo Capeleto

Ricardo Hirata

## Mais informações

[sacre.hidrogeodia@gmail.com](mailto:sacre.hidrogeodia@gmail.com)

## Parceiros





HIDROGEODÍA  
2023

SERRA DE OURO PRETO E  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:

O que os olhos  
não vêem

Organização:

Apoio:



ÁGUAS DE OURO PRETO:  
CONSUMO SUSTENTÁVEL E  
GEOTURISMO



406



PROEX  
Pró-Reitoria de  
Extensão e Cultura







## SERRA DE OURO PRETO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: O QUE OS OLHOS NÃO VÊEM

Autores:

Discentes

Bruno Henrique Borges

Bárbara Maria de Paula Botaro

Ludymilla Agnes Ferreira

Yasmin Peric Velloso

Docentes

Adivane Terezinha Costa

Rodson de Abreu Marques

Luís de Almeida Prado Bacellar

Universidade Federal de Ouro Preto  
Departamento de Geologia – Escola de Minas  
Ouro Preto, março de 2023.

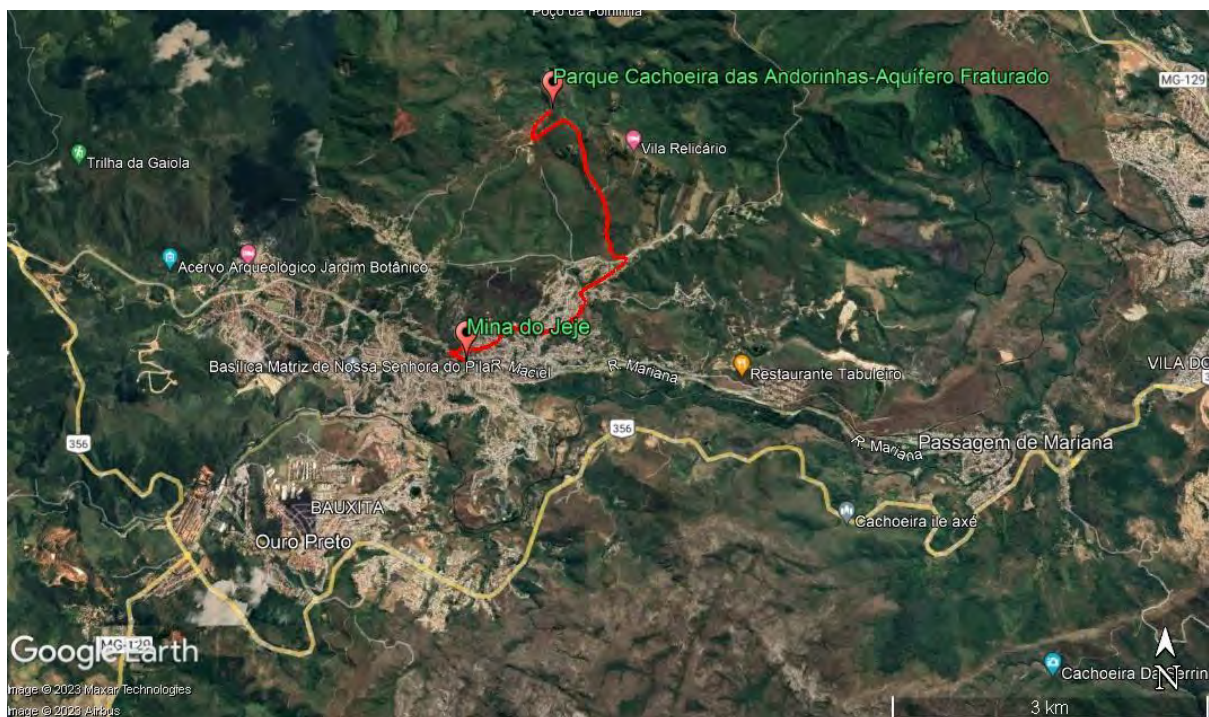
# SERRA DE OURO PRETO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: O QUE OS OLHOS NÃO VÊEM

## 1. ROTEIRO

Parada 1: Mina do Jeje

Parada 2: Parque Municipal Cachoeira das Andorinhas

Figura 1: Mapa dos locais a serem visitados. Fonte: Google Earth



## 2. HISTÓRICO

### Antecedentes Históricos

Ouro Preto, outrora denominada como Vila Rica, foi a principal cidade da América colonial portuguesa, durante o ciclo do ouro nos séculos XVII e XVIII. O legado e a urbanização deixado pelo ciclo econômico é observado nos monumentos da arquitetura colonial como as igrejas, museus e casarões (Figura 2). O processo histórico de ocupação se dá pelo povoamento e as construções de habitações, desde o século XVII, em toda a geografia



intrínseca à região (vales, encostas e no topo dos morros). O aproveitamento e a captação dos recursos hídricos também foram marcadamente aplicados para fins da exploração do ouro em aluviões e aquedutos nas encostas (Costa e Lucon, 2015 p. 94), com ampla utilização das nascentes e rios.

**Figura 2** – Arquitetura colonial da cidade de Ouro Preto – Minas Gerais.

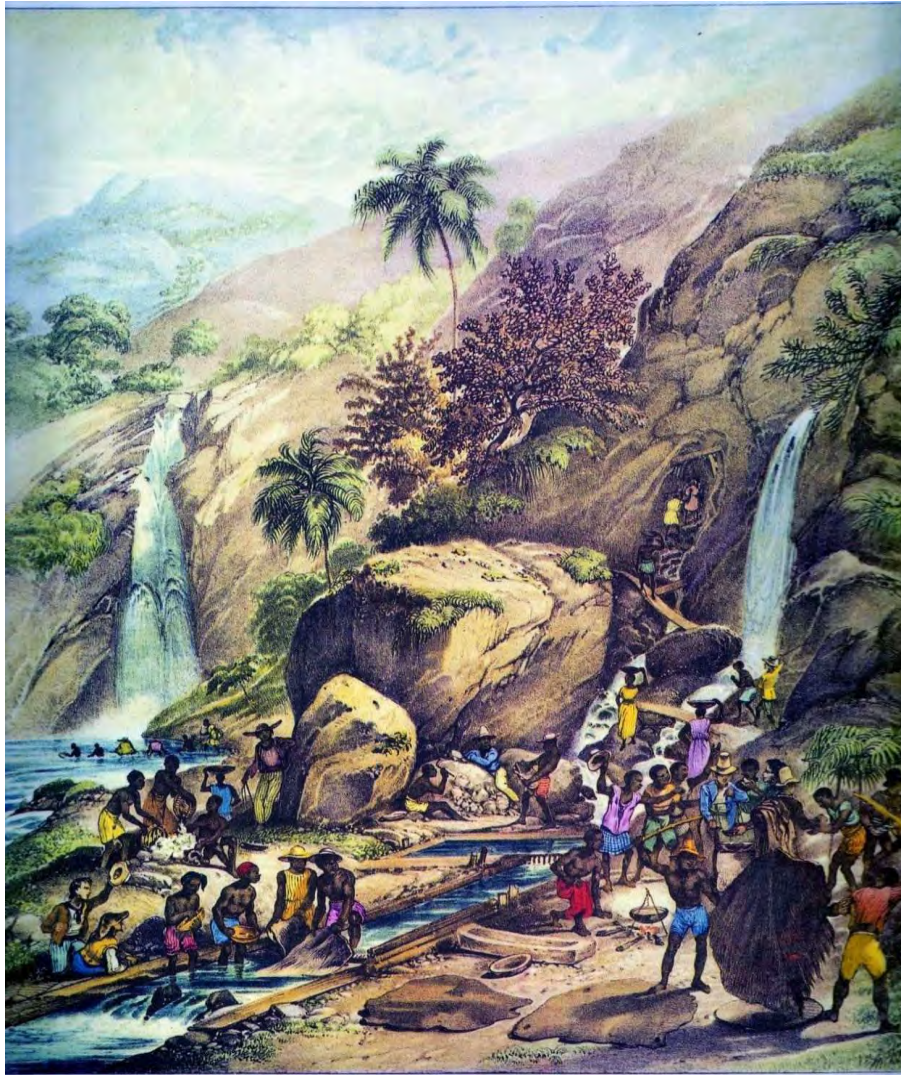
*Fonte – Os autores (2023).*



A corrida do ouro nas terras de Ouro Preto, como pode ser observado na representação histórica na Figura 3, levou a cidade despertar um grande interesse e o reconhecimento nacional, deixando como legado diversas minas subterrâneas durante o ciclo econômico do ouro. Além de sua importância atrelada à cultura e à história, pode ser descrito um notável aquífero fraturado na serra de Ouro Preto, comportando volumosos reservatórios subterrâneos de água (figura 4), relacionados principalmente aos itabiritos da formação Cauê. Embora haja disponibilidade de recursos hídricos, ainda há uma certa cautela da população em usufruir as águas das minas para o consumo. Devido à abundância de minerais, como galena, esfalerita, calcopirita, pirita e arsenopirita, associados ao ouro nas minas, há uma preocupação em relação aos efeitos causados pelos metais, principalmente o chumbo e arsênio (Costa e Noce, 2015 p. 47 e 48).

**Figura 3** - Lavagem do minério de ouro, nas proximidades da montanha de Itacolomi, de Johann Moritz Rugendas (1835).

Fonte - Análise de imagem: Lavagem de minério de ouro- Extraído do Livro "Viagem pitoresca através do Brasil (1972). Autor da imagem: Johann Moritz Rugendas (1835





**Figura 4** - Rochas fraturadas com percolação de água no Parque Natural Municipal das Andorinhas na Cidade de Ouro Preto - Minas Gerais, Brasil.

*Fonte – Os autores (2023).*



### **3. GEOLOGIA E AQUÍFEROS**

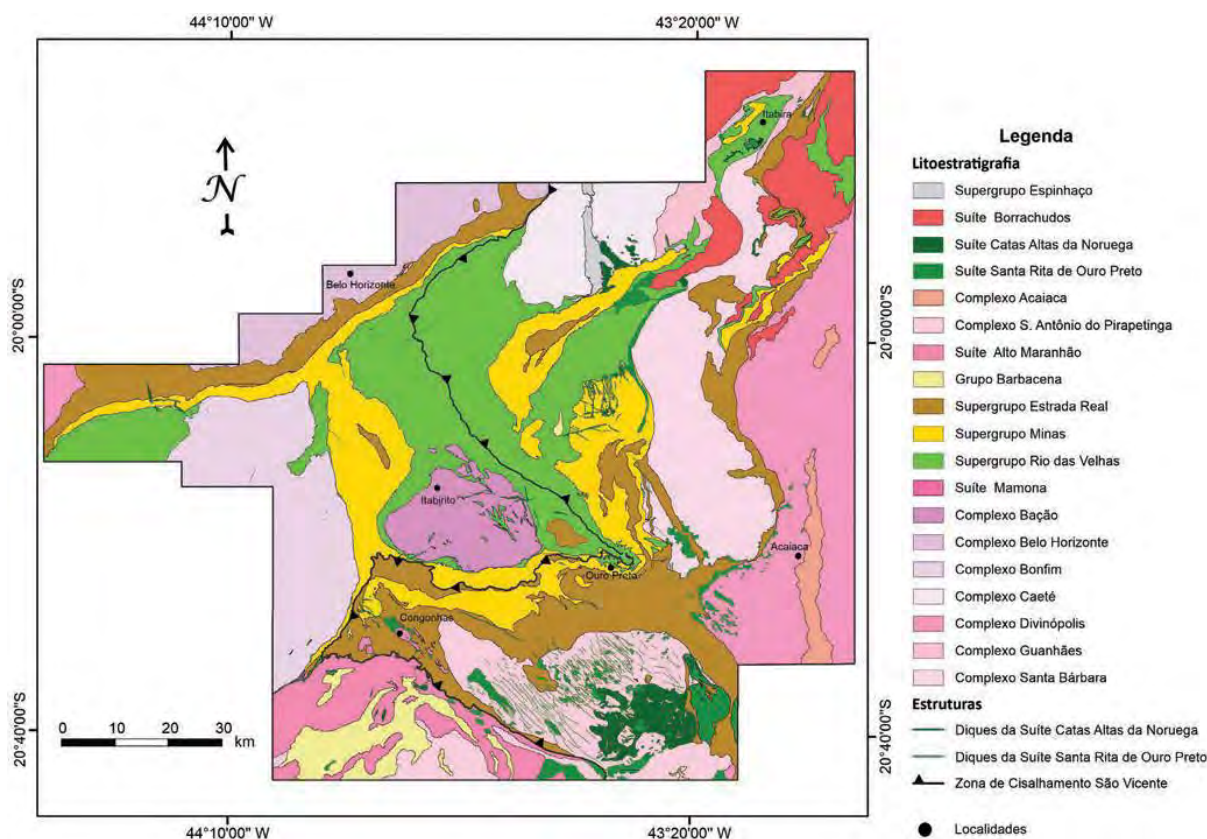
#### **3.1. Contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero**

A cidade de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais - Brasil, está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero – Cráton de São Francisco.

Com relação a tectônica, Chemale Jr. et al. 1991, destaca dois importantes eventos de deformação que determinam a estruturação do QFe: um de natureza extensional e o outro de características compressivas, de idades Proterozóicas. O primeiro, mais antigo - do Proterozóico Inferior - gerou megassinclinais interconectados, e foi o agente causador pelos soerguimentos dos complexos granito-gnáissicos de Santa Rita, Bonfim, do Bação, de Belo Horizonte e Caeté. O segundo evento, de caráter compressional, ocorrido durante o Proterozóico Superior, está relacionado ao fechamento, principalmente na porção leste do QFe, do proto-oceano Brasiliano / Africano, desenvolvendo estruturas como o Anticlinal de Mariana, objeto deste estudo.



**Figura 5 -** Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero.  
 Fonte - (Endo et al. 2019a)



De acordo com Endo et al. 2019, o Quadrilátero Ferrífero tem sua estratigrafia composta por unidades litodêmicas e litoestratigráficas das eras Arqueano, Paleo-Mesoproterozóico e Cenozóico e sendo a coluna estratigráfica do QFe, da base para o topo: Complexos Metamórficos; Supergrupo Rio das Velhas; Supergrupo Minas; Supergrupo Estrada Real; Grupo Barbacena; Supergrupo Espinhaço; Unidades sedimentares (Figura 6). A estratigrafia detalhada do QFe, de acordo com Castro, P.T.A; Gandini, A. L; Endo, I, é dada por:

- **Complexos metamórficos:** compostos por ortognaisses bandados, ortognaisses com finas laminações, migmatitos, granitoides leucocráticos intrusivos, veios e diques máficos.
- **Supergrupo Rio das Velhas:** dividido em Grupo Nova Lima na base e Grupo Maquiné no topo, essa sobreposição é feita por um contato gradacional e discordante. O grupo Nova Lima é composto por rochas de origem sedimentares e vulcânicas intercaladas que por ação de deformação cisalhante e processos hidrotermais foram metamorfizadas para xistos e filitos.

O grupo Maquiné é constituído pelas formações Palmital (base) e Casa Forte (topo). A Formação Palmital é composta de xistos e filitos, já a formação Casa Forte é composta por quartzitos, metaonglomerados e metadiamicititos.

- **Supergrupo Minas:** composto pelos grupos Tamanduá (base) , Caraça, Itabira e Piracicaba (topo) . O Grupo Tamanduá é composto por quartzitos, ortoquartzitos, quartzitos com lâminas ferruginosas, xistos quartzosos e argilosos da Formação Cambotas e de xistos filíticos e quartzosos, xistos ferruginosos e formação ferrífera dolomítica da Formação Morro Grande.

O Grupo Caraça possui quartzitos, filitos e metaconglomerados da Formação Moeda e filitos, formações ferríferas bandadas, mármore dolomíticos e metacherts da Formação Batatal.

O Grupo Itabira possui rochas metassedimentares de origem marinha, com itabiritos, filitos, quartzitos e mármore da Formação Cauê e filitos dolomíticos, mármore dolomíticos, itabiritos da Formação Gandarela.

O Grupo Piracicaba possui quartzitos ferruginosos, dolomitos, xistos e metaconglomerados da Formação Cercadinho; metassiltitos, dolomitos argilosos e quartzosos da Formação Fecho do Funil; ortoquartzitos da Formação Taboões e filitos e xistos da Formação Barreiro.

- **Supergrupo Estrada Real:** composto pelos grupos Sabará e Itacolomi.

O Grupo Sabará contém as formações, da base para o topo, Saramenha, Córrego do Germano e Catarina Mendes. A Formação Saramenha é composta por xistos, quartzitos, formações ferríferas bandadas e metagrauvacas intercaladas em mica xistos. Na Formação Córrego do Germano encontra-se formação ferrífera bandada e quartzitos ferruginosos. Já na Formação Catarina Mendes, encontram-se quartzitos, filitos e biotita-quartzo xistos.

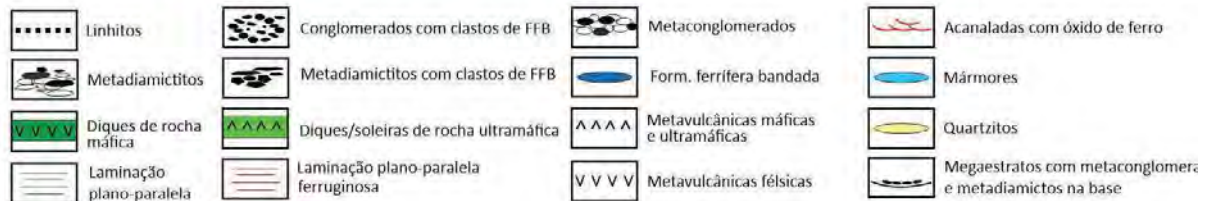
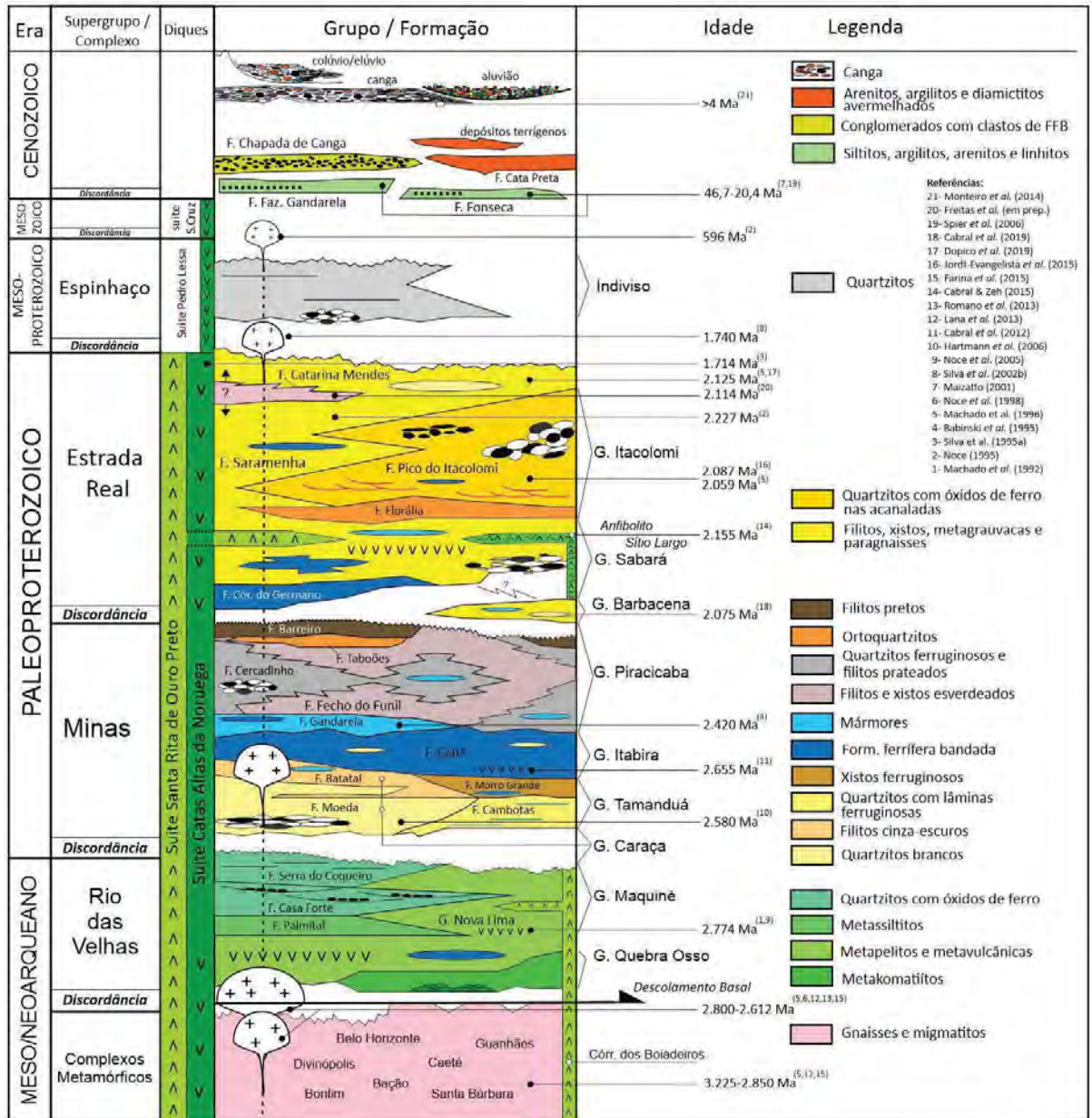
O Grupo Itacolomi possui as formações, base para o topo, Florália e Pico do Itacolomi. Na Formação Florália são encontrados ortoquartzitos e na Formação Pico do Itacolomi é possível encontrar quartzitos com estratificação cruzada acanalada com trilhas de óxido de ferro, metaconglomerados, quartzitos, itabiritos, filitos e granitos.

- **Grupo Barbacena:** contém queluzitos, metacherts, grafita xistos, quartzitos feldspáticos, mica xistos, filitos intercalados de anfibólios.
- **Supergrupo Espinhaço:** composto por metarenitos e metaconglomerados.
- **Unidades Sedimentares:** constituídas por sedimentos terrígenos.



Figura 6 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero

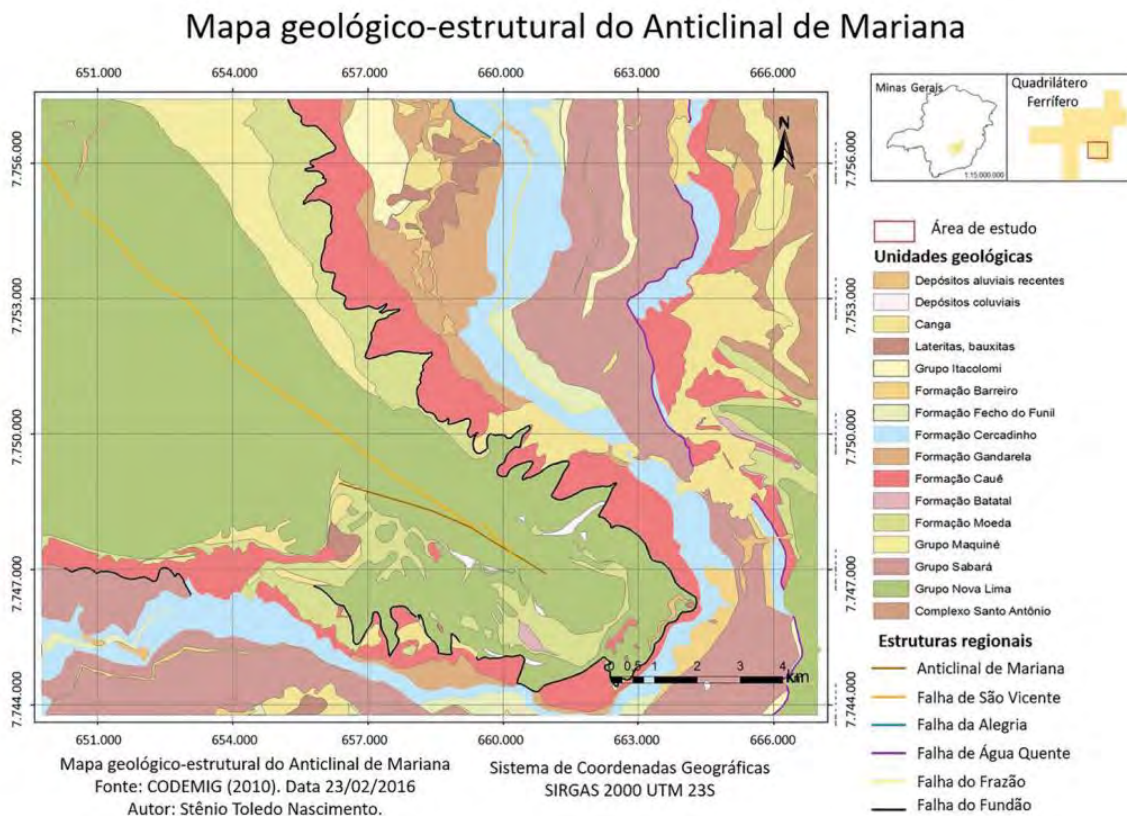
Fonte - (Endo et al. 2019b)



No extremo sudeste do Quadrilátero Ferrífero ocorre o Anticlinal de Mariana, cujo flanco sul compõe a serra de Ouro Preto. Segundo Nascimento & Castro 2018, ao longo dessa estrutura regional encontra-se o Superggrupo Rio das Velhas sendo representado pelo grupo Nova Lima e os grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará como representantes do Superggrupo Minas. Além do anticlinal, é possível observar outras estruturas regionais, como as Falhas de São Vicente, Alegria, Faizão, Fundão e Água Quente (Figura 7).

**Figura 7** - Mapa geológico-estrutural no qual estão definidas as estruturas regionais presentes na área de estudo.

Fonte - (Nascimento & Castro 2018)



### 3.2. Hidrogeologia do Quadrilátero Ferrífero

A estratigrafia do QFe reúne unidades geológicas de características hidrogeológicas semelhantes, formando um sistema de aquíferos, em geral, limitados por camadas de baixa permeabilidade. Em escala regional três estruturas controlam as dinâmicas de fluxo de água nos aquíferos subterrâneos do QFe, sendo: Homoclinal Serra do Curral (rochas metassedimentares do Supergrupo Minas); Sinclinal da Moeda (envolve todas as unidades metassedimentares presentes na região); e Faixa Transpressiva Tamanduá-Mutuca (flanco leste do sinclinal moeda). Mourão (2007) discorre sobre sete unidades hidrogeológicas que compõem o Quadrilátero Ferrífero, sendo: aquíferos inconsolidados, aquíferos quartzíticos, aquífero carbonático, aquíferos em formações ferríferas, aquíferos em xistos, aquíferos em rochas granito-gnáissicas e unidades confinantes. Na Serra de Ouro Preto, onde se fará o roteiro proposto, ocorrem o aquífero poroso e fraturado na formação Cauê envolvendo a mina do Jeje e vários pontos do trajeto da Serra e o aquífero fraturado associado a quartzitos do grupo Caraça que ocorre no Parque Natural Municipal das Andorinhas.

Entende-se como aquífero o conjunto de unidades geológicas que permitem a penetração e percolação da água em seu interior, a movimentação e armazenamento da água pode ocorrer através de poros formados entre os grãos, fraturas e cavidades (aquíferos



cársticos). De forma simplificada, podemos classificar aquíferos como livres, suspensos e confinados (Figura 8). Aquíferos livres, também chamados de aquíferos freáticos, têm no topo uma camada permeável, sendo limitado na base por outra camada também permeável ou semipermeável, geralmente estão próximos à superfície. Já os aquíferos suspensos têm em sua base uma camada impermeável e no topo uma camada permeável. Por fim, os aquíferos confinados têm como topo e base camadas impermeáveis que aprisionam a água que entra na rocha por uma zona de recarga; é comum que ao perfurar esse tipo de aquífero a água jorre na superfície, uma vez que, a pressão confinante é maior que a pressão atmosférica. Geralmente, rochas ígneas e metamórficas tem baixa porosidade e permeabilidade, sua capacidade de acumular e transmitir água está relacionada à fraturas na rocha suas dimensões e intercomunicação, isto é, quanto maior o número de fraturas, maior abertura e quanto mais conectadas as fraturas estão, mais água o sistema acumulará, esse tipo de aquífero é denominado aquífero fraturado.

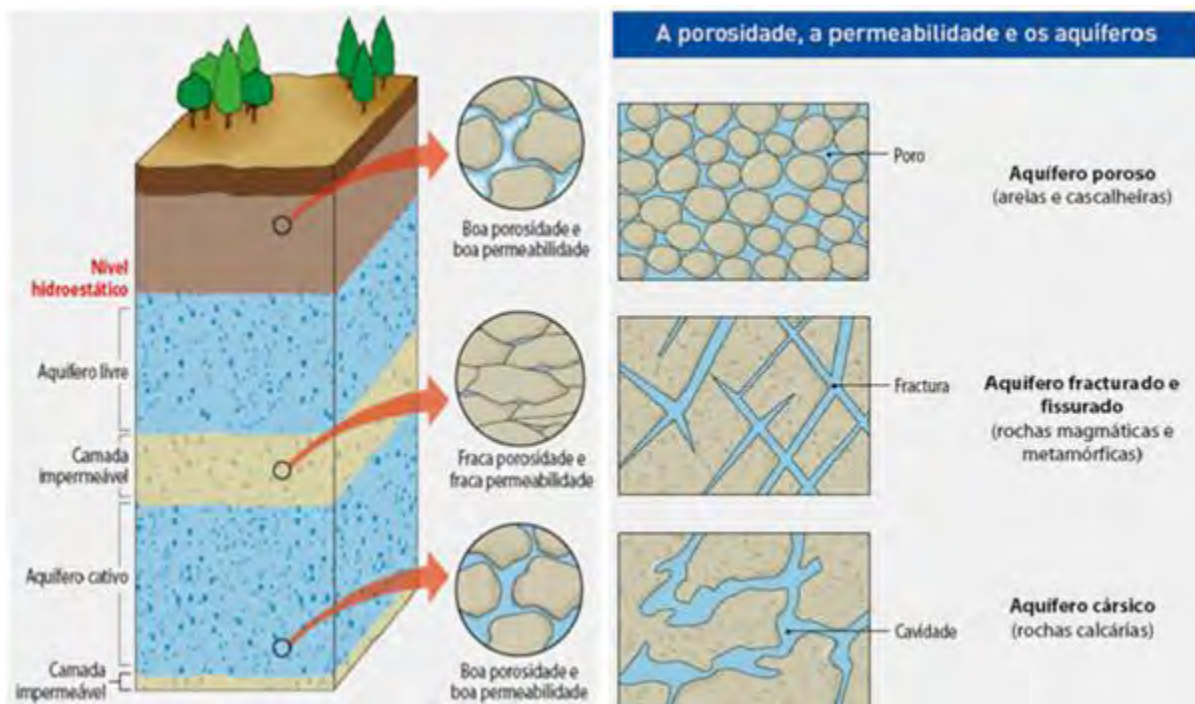
**Figura 8** - Ilustração de aquífero livre, suspenso e confinado.

Fonte - Site: Mundo Educação



**Figura 9:** Ilustração dos aquíferos porosos e fraturados.

Fonte - Oliveira R. 2013



### 3.3. Aquífero Cauê

Neste trabalho traremos maior foco para o aquífero Cauê, que é considerado o principal da região pelo seu vasto número de nascentes, bem como, elevado potencial hidrogeológico, responsável pelo abastecimento de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais. Situa-se na Formação Cauê, unidade geológica constituída por formações ferríferas bandadas, comportando a maior parte dos corpos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Segundo Mourão (2007), o aquífero Cauê apresenta porosidade fissural as vezes intergranular sendo, em sua maioria, um aquífero livre, contudo, em situações locais de sobreposição por rochas de menor permeabilidade provocam seu confinamento ou semiconfinamento.

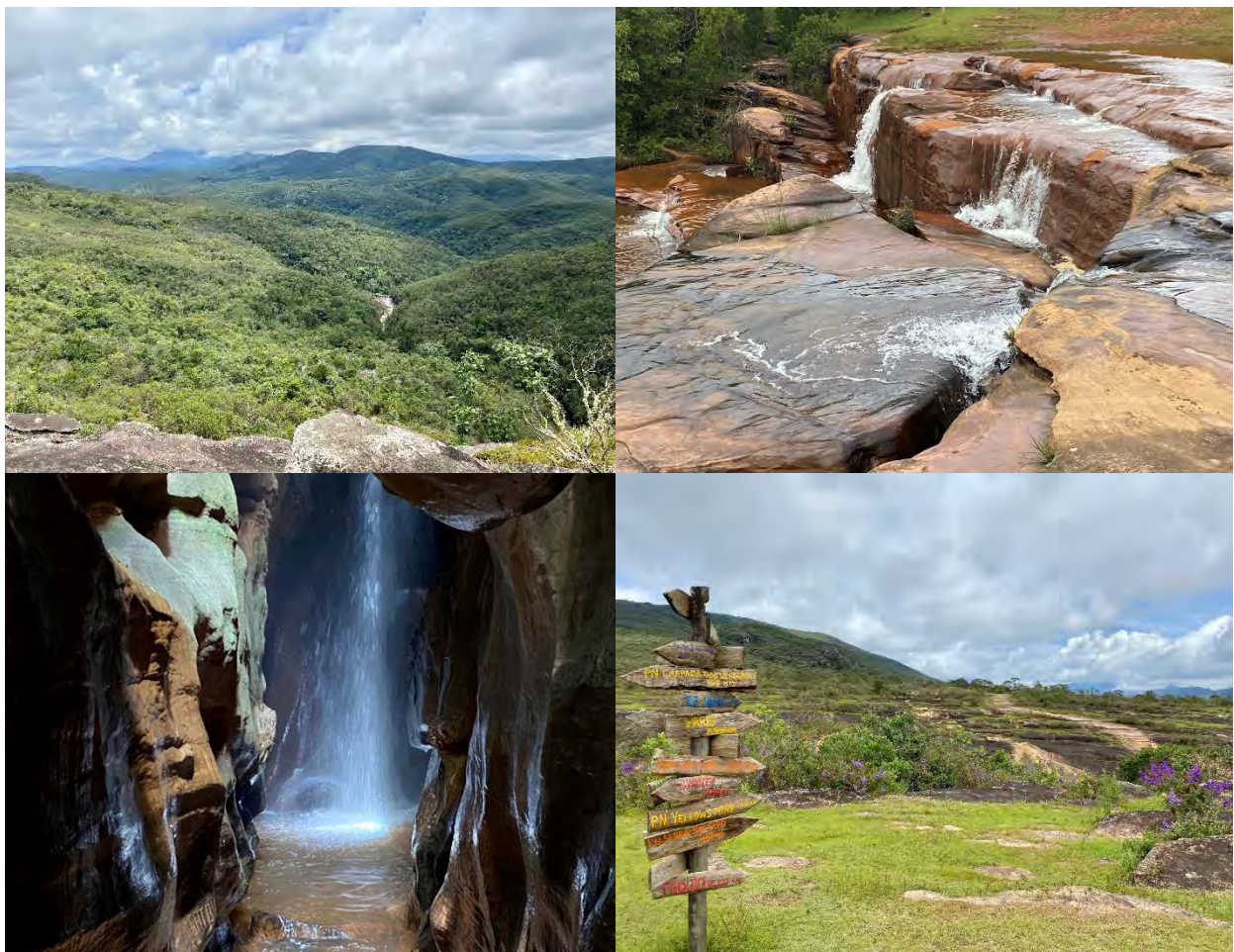
As Formações Batatal e Gandarela marcam os limites do aquífero Cauê, na base a formação Batatal apresenta unidades de baixa permeabilidade, sendo composta, majoritariamente, por filitos sericíticos e, em menor proporção, por filitos dolomíticos ou grafitosos e camadas com lentes de arenito de fração granulométrica areia grossa. No flanco sul do Anticlinal de Mariana. Sobrepondo o aquífero Cauê, encontram-se os filitos da formação batatal e xistos do Grupo Nova Lima. No flanco Norte do Anticlinal de Mariana o aquífero Cauê é sobreposto pela Formação Gandarela, que comporta um aquífero fraturado ou cársico em conexão hidráulica com o aquífero Cauê.

#### 4. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA SERRA DE OURO PRETO

A Serra de Ouro Preto é considerada um importante divisor de águas no contexto do estado de Minas Gerais e do Brasil, uma vez que ali se encontram as nascentes do Rio das Velhas e do Rio Doce. O Parque Natural Municipal das Andorinhas (Figura 10), se posiciona no núcleo do Anticlinal de Mariana, onde se encontram as nascentes do Rio das Velhas.

**Figura 10:** Parque Natural Municipal das Andorinhas na Cidade de Ouro Preto - Minas Gerais, Brasil.

*Fonte – Os autores (2023)*





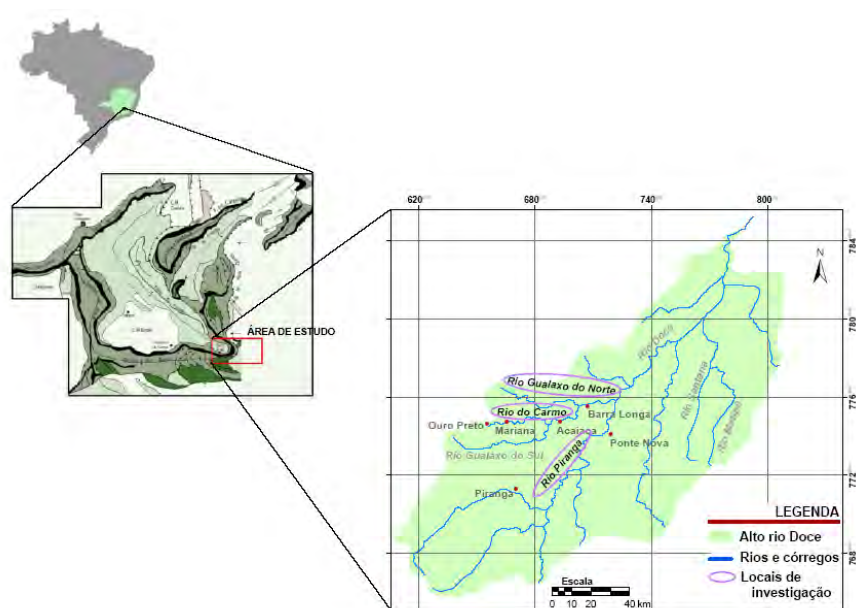
A água que abastece os reservatórios de Ouro Preto é aquela que, após a chuva, infiltra ou penetra pelo solo ou rocha, constituindo os diversos aquíferos dessa região.

A área Ouro Preto e adjacências é bastante peculiar, pois é reconhecida pelas importantes características geológicas, marcada por muitas nascentes e mananciais. Nas altas serras da região, que atingem até 1.400 metros acima do nível do mar, duas importantes bacias hidrográficas se destacam: a Bacia do Rio das Velhas e a Bacia do Rio de Carmo, que desembocam, respectivamente em dois importantes rios brasileiros: o Rio São Francisco (em direção à região Nordeste) e o Rio Doce (em direção ao estado do Espírito Santo) (Figuras 11, 12 e 13). Tais bacias são responsáveis pela alimentação de rios perenes e efêmeros que despejam a maior parte dos vultosos volumes de águas no mar. No entanto, uma porção dessa quantidade de água evapora durante o processo de transporte ou é aprisionada pelos aquíferos, de onde emergem as nascentes, que são captadas para as atividades minerárias, industriais e para o consumo dos habitantes. (Costa e Lucon, 2015 p. 94)

Dessa forma, Ouro Preto está inserido num importante contexto hidrogeológico e geomorfológico, já que grande parte dos rios que nascem nas meias encostas de suas serras, servem de contribuintes para outras bacias que percorrem grande extensão territorial de importância nacional, portanto a importância de conservação de suas nascentes para manutenção dos fluxos hídricos é imprescindível para o desenvolvimento social e econômico do Quadrilátero Ferrífero, de Minas Gerais e do Brasil.

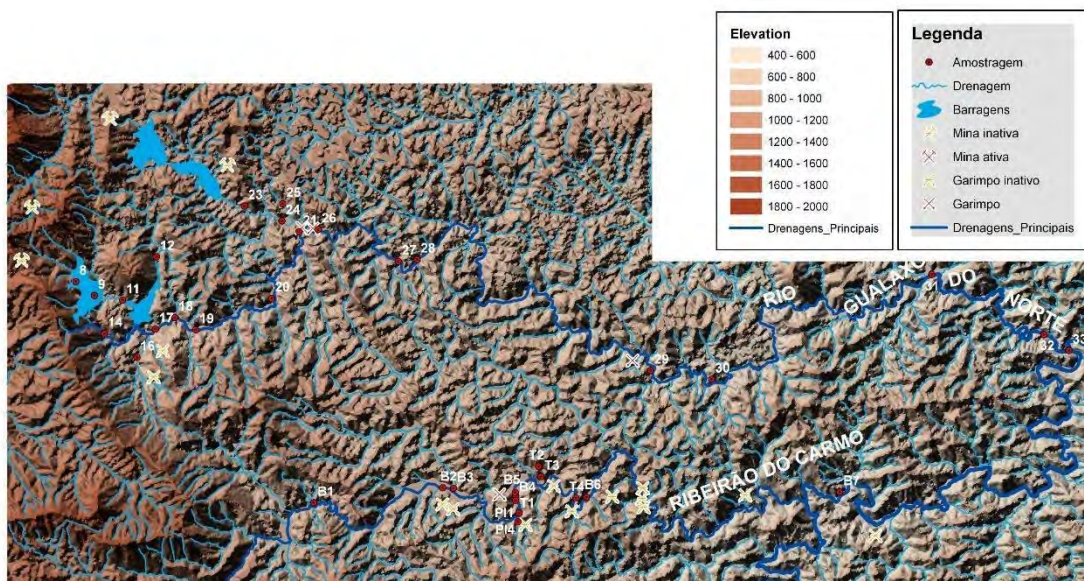
**Figura 11:** Mapa de localização do alto Rio Doce, no contexto do Quadrilátero Ferrífero – MG com a localização de Ouro Preto.

Fonte - *Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.. 103)*



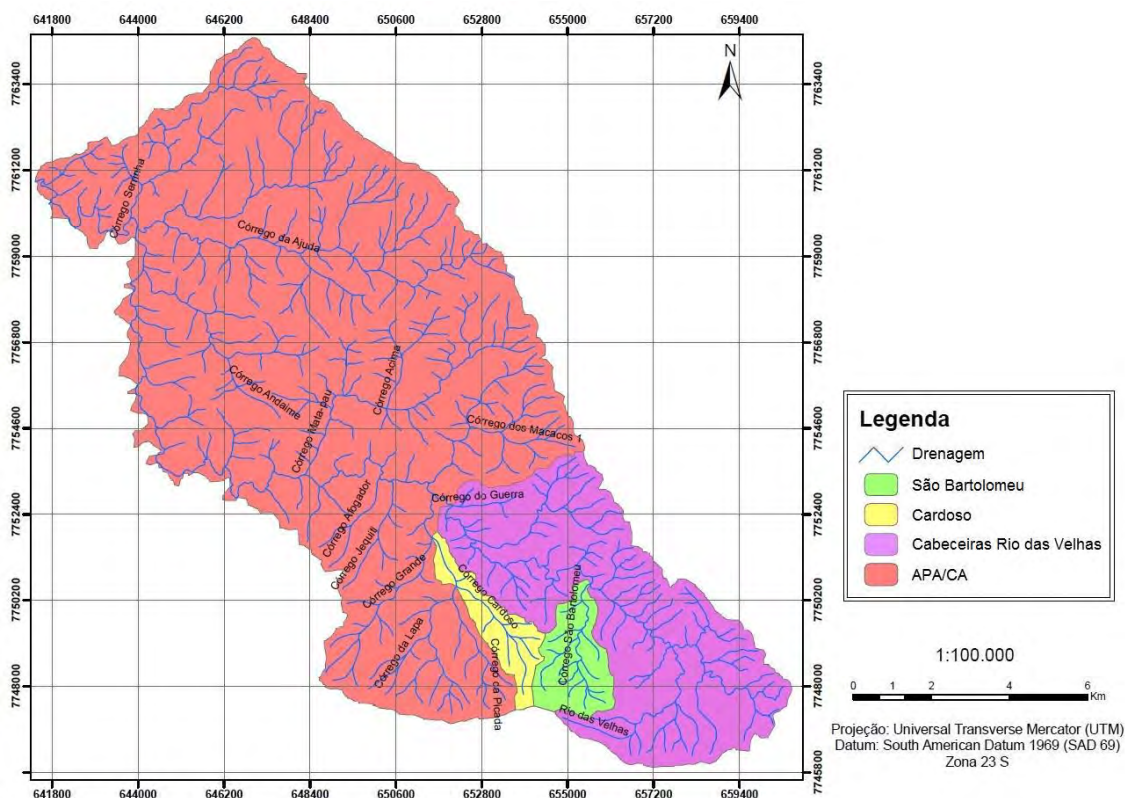
**Figura 12:** Modelo Digital de terreno mostrando o divisor de bacias à oeste, com a elevada serra de Ouro Preto a sul com nascentes do curso do Ribeirão do Carmo fluindo para leste (Alto Rio Doce) e as nascentes do alto rio das Velhas fluindo para noroeste.

Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.104.)



**Figura 13:** Mapa das bacias hidrográficas do alto Rio das Velhas.

Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.126.)



## **5. QUALIDADE DAS ÁGUAS E SOCIEDADE**

As características químicas naturais dos aquíferos e, conseqüentemente, das nascentes refletem os meios por onde passam. Ou seja, a qualidade da água que se consome depende não só do tipo de rocha do aquífero, mas também das atividades humanas realizadas próximas ao trajeto da água, desde a nascente até o reservatório.

Em Ouro Preto, enfrenta-se dois tipos principais de contaminação das águas: aquele relacionado às características naturais das rochas como a contaminação por arsênio que ocorre nas águas subterrâneas das antigas minas de ouro da Serra de Ouro Preto, a exemplo da mina do Jeje; e outro relacionado à contaminação causada por atividades humanas, como a contaminação por coliformes fecais como ocorre em toda área investigada.

### **5.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS DA MINA DO JEJE E DE ANTIGAS MINAS DA SERRA DE OURO PRETO**

A mina do Jeje (Figura 14) localiza-se no aquífero Cauê, constituído por itabiritos. Essas rochas foram utilizadas para exploração aurífera no ciclo do ouro do século XVIII. Nesta mina foram encontrados resquícios do símbolo da coroa portuguesa e das ferramentas utilizadas por garimpeiros. Atualmente diversas galerias de minas subterrâneas de ouro do século XVIII vem sendo utilizadas para fins turísticos na Serra de Ouro Preto. Elas estão localizadas, principalmente, nos bairros Veloso, Piedade, Padre Faria e Antônio Dias.



**Figura 14:**Entrada da galeria da mina do Jeje.  
*Fonte – Acervo do PET Engenharia Geológica*



**Figura 15:** Coleta de água da mina, que é utilizada para consumo da população.

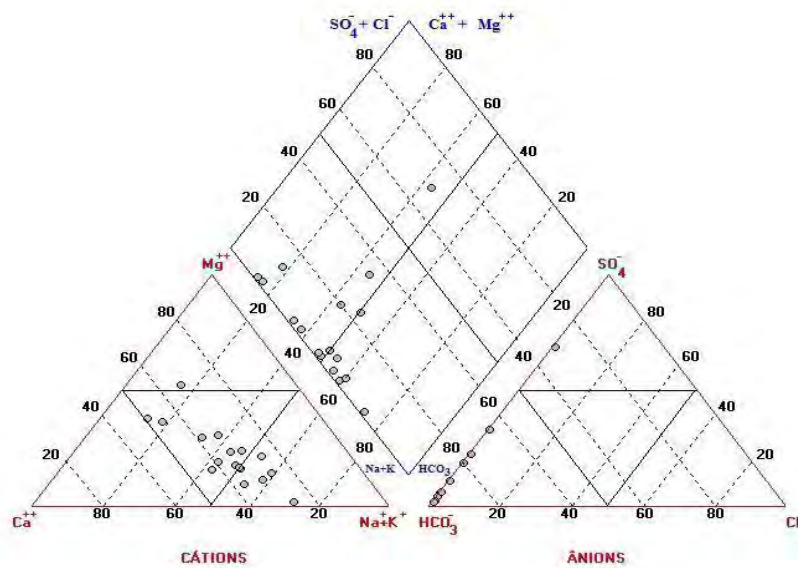
*Fonte – Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.9.)*



A antiga mina de ouro do Jeje, além de ser utilizada atualmente para exploração do turismo, é utilizada também para captação de águas de consumo (Figura 15) por apresentarem águas subterrâneas provenientes do aquífero da formação Cauê. As águas subterrâneas que ocorrem na mina do Jeje, assim como outras águas de outras minas da área, são classificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas e cálcicas como mostra o diagrama abaixo (Figura 16).

**Figura 16:** Diagrama de Piper mostrando a classificação das águas das antigas minas de Ouro Preto

Fonte – Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.64.



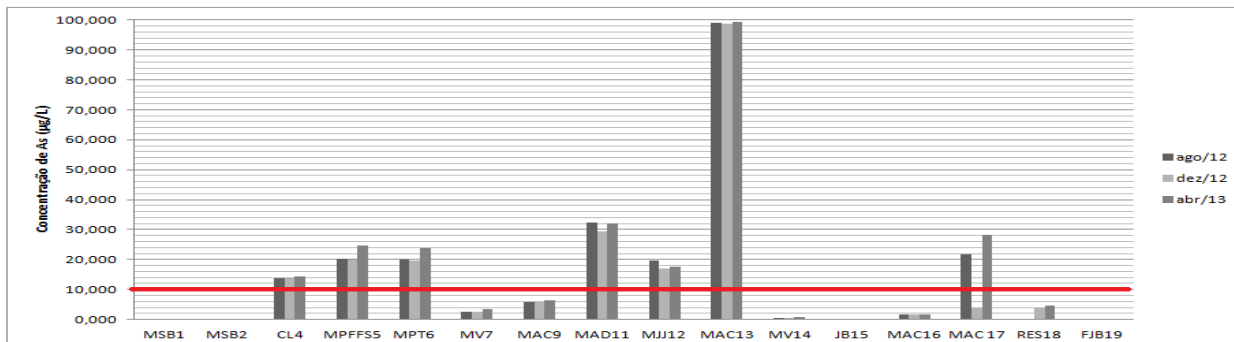
As águas das antigas minas de ouro parecem puras porque são aparentemente limpas, transparentes, não têm cheiro e são agradáveis visualmente. Há um dito popular que diz: “a água silenciosa é a mais perigosa”, portanto é muito importante conhecer a qualidade das águas que se utilizam nas nossas casas.

Essas águas das antigas minas apresentam altas concentrações de elementos potencialmente tóxicos, como o arsênio, que estão diretamente ligadas à geologia das mineralizações de ouro. A partir da oxidação de minerais sulfetados, como arsenopirita, formam-se uma camada superficial de minerais secundários de arsênio nas paredes das galerias das minas, que são liberados e lixiviados para as águas principalmente durante a estação chuvosa. Essas águas com concentrações de arsênio acima de 10 µg/L (volume máximo permitido pelo Ministério da Saúde, Portaria nº 888 de 2021) podem causar inúmeras doenças nas pessoas que as consomem diariamente.

Abaixo são mostradas algumas análises de arsênio nas águas de minas de Ouro Preto, que mostram concentrações máximas de arsênio de 280 µg/L. A mina do Jeje apresentou concentração máxima de 20 µg/L como a maioria das águas estudadas, 2 vezes acima do valor permitido pela legislação nacional (Figuras 17 e 18).

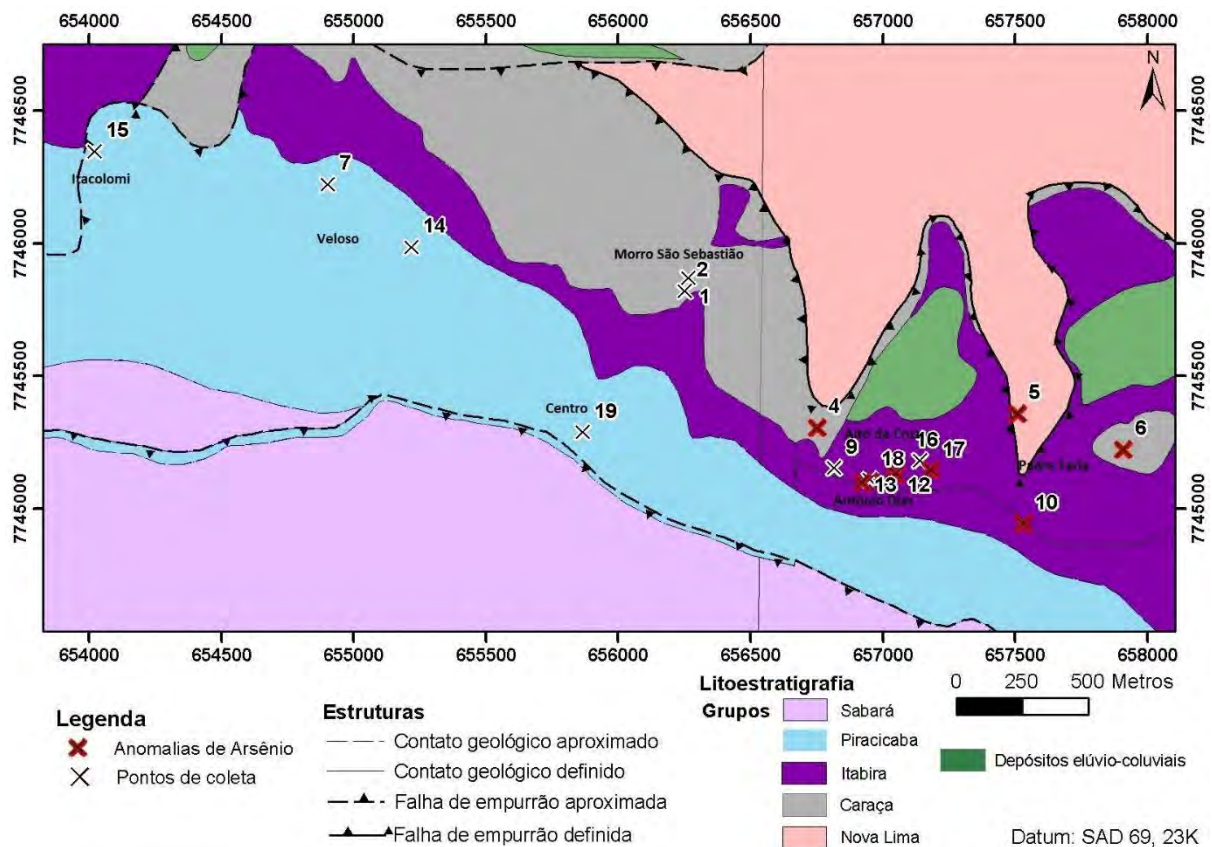
**Figura 17:** Concentrações de arsênio das águas subterrâneas das antigas minas de ouro de Ouro Preto.

Fonte - Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.72)



**Figura 18:** Localização das águas subterrâneas contaminadas por arsênio das antigas minas de ouro de Ouro Preto.

Fonte – Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.74)





O arsênio pode atingir águas subterrâneas e superficiais, solos e bioacumular em plantas, animais e homens, causando problemas ambientais e problemas de saúde na população. Quando as águas contaminadas por arsênio são consumidas por longo prazo podem desencadear doenças como câncer de pele e pulmão, próstata, bexiga, rim e fígado, efeitos hematológicos (anemia e leucopenia), efeitos hepáticos, efeitos renais (falência renal) e efeitos respiratórios (rinites, laringites, traqueobronquites e asma) além de hipertensão arterial, cardiopatia e diabetes.

**Figura 19:** Câncer de pele em pessoas de Bangladesh causado pelo consumo de águas subterrâneas contaminadas com arsênio.

*Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.26.)*



*Arsenic patients in Bangladesh and West Bengal. (Photos by Prof. Richard Wilson of Harvard University)*

## 5.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS DO PARQUE MUNICIPAL DAS ANDORINHAS

Toda a bacia hidrográfica do Rio das Velhas está localizada dentro do estado de Minas Gerais, em sua região central, e este é o maior afluente em extensão da Bacia do São Francisco. Nasce no município de Ouro Preto, dentro do Parque Municipal das Andorinhas, e deságua no Velho Chico no distrito de Barra do Guaicuy, município de Várzea da Palma.

As fontes d'água do Parque Municipal das Andorinhas estão sobre em uma Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual Cachoeira das Andorinhas, do qual seu nome faz referência a uma espécie de ave denominada popularmente de Andorinhão-de-coleira (*Streptoprocne zonaris*) que utiliza as fendas das rochas quartzíticas deste local para abrigo e reprodução.

As fendas ou fraturas nos quartzitos constituem excelentes aquíferos fissurais que determinam a importância da região como um dos mais importantes mananciais hídricos do alto Rio das Velhas. As nascentes são provenientes dessas fraturas que ora somem em sumidouros, ora ressurgem encachoeiradas tanto dentro das cavidades quartzíticas, (Foto A) como fora formando por exemplo cachoeiras como a cachoeira Véu das Noivas (Foto B)

A vegetação local é constituída entre os domínios de Mata Atlântica e Cerrado (Foto C). Nos vales e revestindo parte das serras e morros encontra-se a floresta estacional semidecidual montana. Em grande extensão do parque há vegetação campestre e com o aumento da altitude e o surgimento de afloramentos rochosos (Foto A), onde encontram-se os campos rupestres quartzíticos e o ferruginosos.

**Figura 20:** Imagens do Parque da Cachoeira das Andorinhas

Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.131.)



Nas áreas de recarga, à montante das nascentes do Parque Municipal das Andorinhas, estão inseridos dois bairros, São Sebastião e Santana, e ambos apresentam influência tanto na

bacia do Alto rio das Velhas quanto na do rio do Carmo, uma vez que a área é um divisor dessas duas bacias.

O bairro São Sebastião, inserido sob a vertente da bacia do Alto rio das Velhas, devido a pretéritas atividades minerárias de extração de quartzito que não foram adequadamente finalizadas na região, apresenta processos de assoreamento em suas nascentes. Vale salientar que estas áreas atualmente são legalmente protegidas, e estão naturalmente em processo de regeneração. Infelizmente o assoreamento afeta a qualidade das águas em um parque que apresenta intensa visitação (Figura 21)

**Figura 21:** Vista da intensa visitação no Parque Natural Municipal das Andorinhas

*Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.132.)*



Ainda nesta vertente, devido a ineficiência da canalização de esgoto e das fossas sépticas, verifica-se que em alguns períodos como em 2015, os córregos foram contaminados com coliformes fecais e *Escherichia coli*, carreando para as águas do Parque Municipal das Andorinhas (Figura 22), área de intensa visitação de turistas para lazer, e importante área de recarga da bacia do rio das Velhas. A maior parte das águas analisadas (Figura 22) apresenta padrão satisfatório ou imprópria em 2015. Porém. Recentemente, em 2022, foi feita uma pesquisa sobre a balneabilidade das águas do Parque e os resultados foram bem promissores,

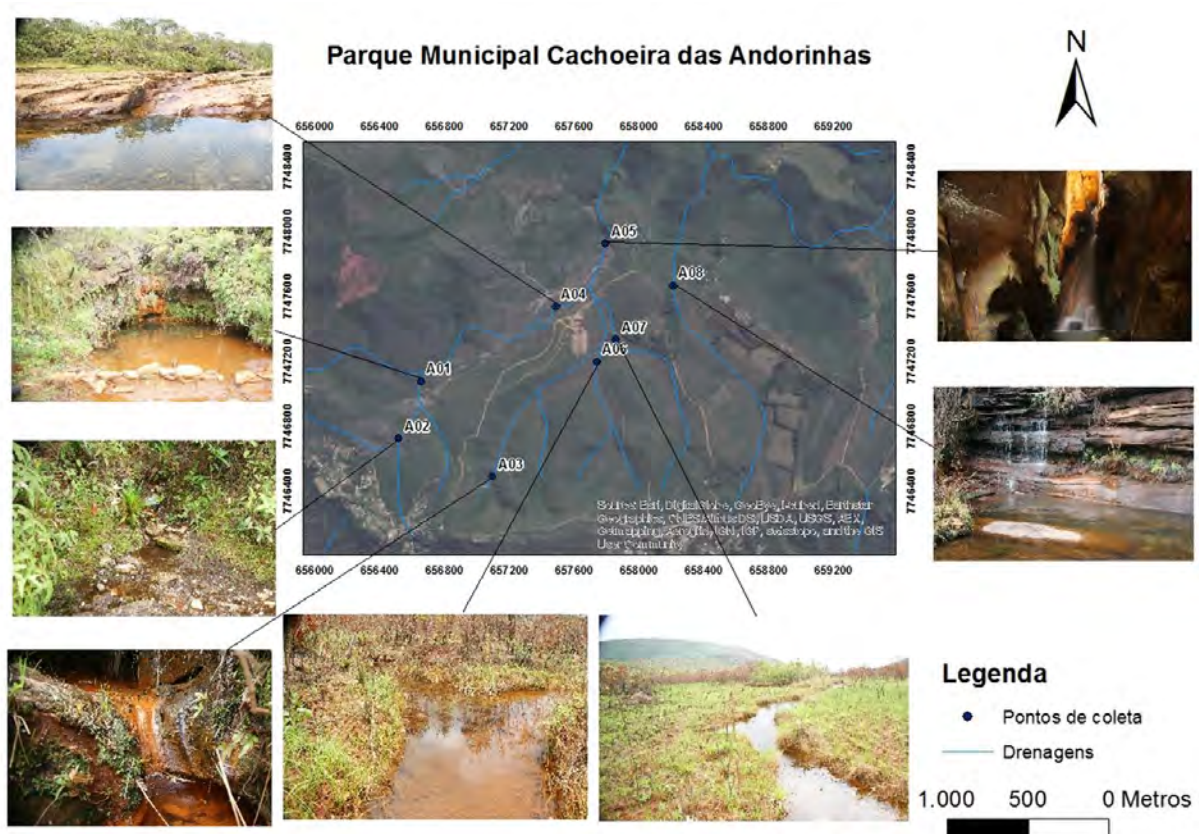


pois todas as amostras analisadas apresentaram padrão entre satisfatório e excelente de acordo com a resolução CONAMA nº 274/2000.

Sobre esta área, salienta-se a necessidade de fiscalização do uso e ocupação do solo visando preservar importantes áreas de recarga Para a vertente do bairro São Sebastião, inserida na bacia do rio Doce, recomenda-se intensificar a fiscalização para um adequado ordenamento territorial do local devido o mesmo ser considerado uma importante área de recarga.

**Figura 22:** Mapa da Cachoeira das Andorinhas com fotos dos pontos examinados.

*Fonte - Água e cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto, 2015 P.128.)*



O bairro Santana, localiza-se na extremidade oposta ao bairro São Sebastião, e está inserido na mesma serra divisora de bacias hidrográficas (Doce e São Francisco). A maior parte da área deste bairro encontra-se muito impermeabilizada devido à urbanização desordenada, acarretando com isso, a diminuição de infiltração de água e consequente da recarga dos aquíferos, como também a contaminação por coliformes fecais devido à precariedade do sistema de coleta e tratamento de esgoto aliado a uma urbanização totalmente descontrolada e desordenada.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rochas que caracterizam a Serra de Ouro Preto de Ouro Preto são predominantemente fraturadas, por isso comportam importantes aquíferos fissurais, como o aquífero Cauê que abastece parte da população da Serra de Ouro Preto e contribui para a formação das nascentes do Rio das Velhas e Rio Doce. Entretanto, por causa de ações antrópicas desde o século XVIII, da exploração do ouro até a falta de tratamento do esgoto nos dias atuais, alguns dos locais estudados apresentam águas com resultados de potabilidade e balneabilidade desfavorável para consumo e lazer devido a contaminação por arsênio e coliformes fecais.

### REFERÊNCIAS:

Bruzadelli, V. C. Análise de imagem: Lavagem de minério de ouro.

Castro, P.T.A; Gandini, A. L; Endo, I;. Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora, 2020.

Chemale Jr, F., Rosière, C. A., & Endo, I. Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Um Modelo. Pesquisas Em Geociências, 18(2), 104–127. 1991.

Costa, A. T., Lucon, T. Fontes de água de Ouro Preto Água e Cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto/Paulo Lemos (org.). Ouro Preto: Livraria e Editora Graphar, 2015.

Costa, A. T.; Noce, T. Qualidade das águas de antigas minas de Ouro Preto in: Água e Cultura: inventário de fontes de água na região de Ouro Preto/Paulo Lemos (org.). Ouro Preto: Livraria e Editora Graphar, 2015.

Mourão M, A, A. Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero. 2007.

Nascimento, S.T.; Castro, P.T.A. Modelagem da geodiversidade para o anticlinal de Mariana, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geologia USP Série Científica, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 111-127, Março 2019.

Noce, Tatiana Soares. Avaliação da composição geoquímica das águas de antigas minas da Serra de Ouro Preto, do Quadrilátero Ferrífero. Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

Oliveira, Ricardo N. Avaliação da influência do sistema de tratamento de esgoto por sumidouro na qualidade da água de uma comunidade rural de Passo Fundo - RS. Universidade de Passo Fundo, 2013.

Pena, Rodolfo F. A. Aquífero. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/aquifero.htm>. Acesso em: 01/03/2023.

PET, Engenharia Ambiental. Avaliação da balneabilidade de áreas recreativas da região de Ouro Preto- Março a Maio de 2022. Escola de Minas, UFOP.

RUGENDAS, Johann Moritz. Viagem pitoresca através do Brasil. São Paulo: Martins / USP, 1972.

Autores da cartilha:

Discentes

Bruno Henrique Borges

Bárbara Maria de Paula Botaro

Ludymilla Agnes Ferreira

Yasmin Peric Velloso

Docentes

Adivane Terezinha Costa

Rodson de Abreu Marques

Luís de Almeida Prado Bacellar



**HIDROGEO DÍA**  
**2023**

**SERRA DE OURO PRETO E  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS:**

*O que os olhos  
não vêem*

**Ponto de encontro: Centro do Parque  
Natural Municipal das Andorinhas**

**25/03/2023 às 10:00 horas**

Contato:  @pet\_geo\_ufop

**Organização:**

**Apoio:**



ÁGUAS DE OURO PRETO:  
CONCÍLIO SUSTENTÁVEL E  
GEOTURISMO



PROEX  
Pró-Reitoria de  
Extensão e Cultura





**HIDROGEODÍA**  
**2023 Chile**

Exposición técnica

# EL PASADO DEL RÍO MAPOCHO Y UNA MIRADA AL AGUA SUBTERRÁNEA

Felipe Fuentes - Cristóbal Machuca

Nicole Cabrera - Luis López

Sernageomin

Historia del río Mapocho, los  
glaciares de sus cabeceras y  
los acuíferos de la cuenca de  
Santiago

Maquetas del funcionamiento  
de un acuífero y de glaciares  
de roca



Lugar: Parque forestal, frente a la  
entrada del Museo de Bellas Artes,  
Santiago

Miércoles 22 de marzo 10:00 am

Actividad abierta a la comunidad



CONSULTAS:

[felipe.fuentes@sernageomin.cl](mailto:felipe.fuentes@sernageomin.cl)



# Visita Guiada al

## Acuífero costero Manglaralto

Fecha:

**Miércoles 22/03/2023**

Hora de salida: **06h00**

**Punto de encuentro:** Parqueadero CIPAT (Edificio 3A)  
Campus Gustavo Galindo (ESPOL)

**Recomendaciones:** Llevar gorra, ropa y calzado cómodo, agua y comida.

**Cupos limitados:** [emnisanc@espol.edu.ec](mailto:emnisanc@espol.edu.ec)  
[mjaya@espol.edu.ec](mailto:mjaya@espol.edu.ec)



CIPAT - ESPOL



JAAPMAN



UPSE



IAH-AIH



RED CYTED  
SIEMBRA  
Y  
COSECHA  
DEL AGUA



## EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Ecuador, el **Hidrogeodía 2023** se celebra en el acuífero costero de Manglaralto en la zona Sur de la costa del Ecuador, que forma parte de ruta turística “Ruta del Sol” o “Ruta del Spondylus”. Se llevará a cabo una visita guiada por 3 puntos representativos relacionadas con el abastecimiento de aguas subterráneas de la parroquia rural.

- 1) Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN): Promotores comunitarios del aprovechamiento sostenible del agua subterránea, que genera vida, trabajo y desarrollo.
- 2) Tape técnico-artesanal en el geositio “Acuífero costero de Manglaralto”.
- 3) Pozos históricos 01 y 02 de captación de agua subterránea.

## CÓMO LLEGAR

El punto de partida de nuestro recorrido será la Escuela Superior Politécnica del Litoral, campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil-Ecuador (Edificio 3A), en el parqueadero del Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT).

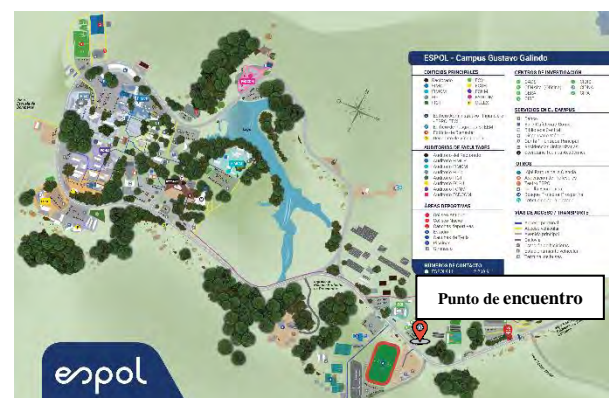


Figura 1: Punto de encuentro: Parqueadero del edificio 3A  
Fuente: <https://www.espol.edu.ec/es/mapa-del-campus>

En el parqueadero del edificio 3A nos esperara un autobús donde emprenderemos el viaje desde Guayaquil a Santa Elena, la distancia aproximada es de 170 km y tiene una duración de 2h30, a lo largo de esta ruta conocida como “Ruta del Spondylus” podremos apreciar la vista de las diferentes geofomas de la costa ecuatoriana, visitaremos la JAAPMAN (Parada 1) ubicado en la parroquia de Manglaralto, donde se realizará el taller con la comunidad “Acuífero costero Manglaralto: proceso de intrusión salina y su gestión comunitaria”. Después del taller, visitaremos el tape técnico-artesanal en el geositio “Acuífero costero de Manglaralto” (Parada 2) que se encuentra próximo al rio estacional del mismo nombre, finalmente con la comunidad visitaremos los pozos históricos 01 y 02 de captación de agua

subterránea (Parada 3), pozos donde el director general del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Yukiya Amano visitó el sitio en julio de 2011 como parte del programa de cooperación técnica entre la OIEA, ESPOL y la comunidad.

## ENTORNO GEOLÓGICO. ACUÍFERO COSTERO MANGLARALTO

El acuífero costero de Manglaralto se encuentra ubicado al suroeste de las estribaciones de la Cordillera de la Costa Chongón Colonche (CCC) (Figura 2a). dentro de la cuenca hidrológica Manglaralto. En esta zona existe un acuífero costero somero en el que se han construido 15 pozos para abastecer de agua a seis comunas Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar.

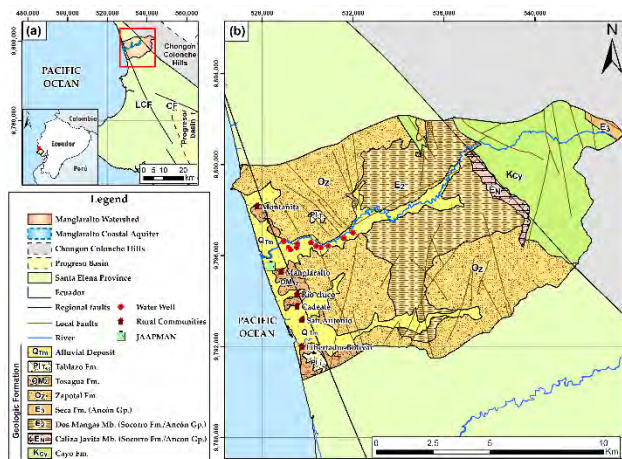


Figura 11: Esquema geológico de las unidades geológicas del acuífero costero de Manglaralto. a) Ubicación de la cuenca, principales estructuras geológicas regionales (Fallas regionales: LCF: falla La Cruz, CF: falla Carrizal) y elementos geomorfológicos (Cerros Chongón Colonche. Cuenca Progreso); (b) Unidades geológicas, fallas regionales y locales en el área de estudio.

La unidad geológica más antigua de la cuenca corresponde a la formación Cayo del Cretácico Superior (Figura 2b). La capa

impermeable que favorece el atrapamiento de agua corresponde a las unidades litológicas del grupo Ancón, y la capa permeable con buenas condiciones de porosidad y permeabilidad son los depósitos aluviales del Cuaternario.

En esta última unidad geológica se han obtenido resultados prometedores en la captación de recursos hídricos a través de pozos, cuyo volumen de agua estimado es de 13,6 Hm<sup>3</sup> (Carrión-Mero, Quiñonez-Barzola, et al., 2021). El bombeo intensivo y las condiciones climáticas han provocado la disminución del nivel freático y como resultado se presente el fenómeno de intrusión de agua de mar en la cuenca (Carrión-Mero, Montalván, et al., 2021).

## ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Históricamente, la comuna de Manglaralto se abastecían de agua dulce por medio del río estacional del mismo nombre, tanqueros y construyeron una serie de pozos, que en muchos casos no tuvieron éxito debido a la falta de conocimiento sobre la geometría del acuífero. Los pozos eran construcciones de carácter somero, excavados empleando la mano de obra de la comunidad a pico y pala. En respuesta a este hecho, el 29 de marzo de 1979 se creó la Junta de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN) por el arzobispo Othmar Stahelli, organización comunitaria que adquiere el rol de Juntas Administradoras de Agua Potable y tienen el objetivo de suministrar el servicio público de agua potable. Adicionalmente, la comuna aplica históricamente el rescate del conocimiento ancestral y aplica estrategias de recarga artificial del acuífero.

Su proceso se basa en aprovechar la estacionalidad de los ríos y embalsar el agua con las llamadas “tapes” (diques artesanales), reviviendo así los saberes ancestrales de la provincia de Santa Elena. La captación de agua floreció junto con la construcción artesanal de tapes. Sin embargo, sus obras eran basadas en emplear rocas y tierra circundantes que en eventos de lluvias intensas eran destruidas, en respuesta a esta disyuntiva la comunidad con métodos de prueba y error evolucionaron sus obras hidráulicas y con la ayuda del proceso de Investigación-Acción-Participativa (IAP) con la Universidad desde el 2017 sus “tapes” pasaron a ser técnico-artesanal.

La implementación de tapes/diques permitió la desalinización de pozos inhabilitados, la recarga del acuífero y aumentar el volumen para un suministro adecuado de agua para la comunidad.

### **Parada II. Tape técnico-artesanal en el geosítio “Acuífero costero de Manglaralto”.**



### **Parada III. Pozos históricos 01 y 02 de captación de agua subterránea.**



## **PARADAS**

### **Parada I. Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN). Organización comunitaria y su resiliencia de agua.**





## TIPOS DE AGUAS

En el acuífero Manglaralto, se han identificado dos tipos de agua: el primer tipo, en los pozos ubicados dentro de la cuenca con una composición de agua dulce. El segundo tipo corresponde a los pozos cercanos al mar, con composición de calcio y cloro, indicando la presencia de intrusión de agua de mar en la cuenca principalmente en épocas secas, salinizando las aguas subterráneas, agravada por las extracciones de bombeo (Carrión-Mero, Montalván, et al., 2021). En la época lluviosa, en los pozos cercanos al mar, disminuye la concentración de cloruro; por lo tanto, la salinidad disminuye debido a la mezcla de agua dulce del acuífero con agua de mar en el momento de la recarga, como ocurre en muchos acuíferos costeros de todo el mundo.

La actividad antrópica reflejada en los pozos cercanos al mar estaría provocada por las aguas residuales del casco urbano que se infiltran en la cuña de intrusión que penetra en el continente.

Con los conocimientos adquiridos en las investigaciones realizadas en la zona de estudio, se concluye que para el correcto manejo del acuífero se deben tomar acciones para proteger las áreas de recarga en la cuenca (río, terrazas aluviales y zonas altas de la cordillera Chongón-Colonche).

La principal actividad antrópica, según la clasificación de Alcalá y Custodio (Alcalá & Custodio, 2008; Morante et al., 2019), que afecta a los pozos próximos al mar, sería por parte de una explotación ganadera de las inmediaciones, lo que estaría afectando a la calidad del agua del acuífero.

## AGUA Y SOCIEDAD

En la parroquia de Manglaralto, la población depende exclusivamente del acuífero costero de Manglaralto para su abastecimiento de agua. En este sector, el agua subterránea es extraída por pozos, localizados en la terraza aluvial del río Manglaralto (Carrión-Mero et al., 2020).

La Junta Regional Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN) es la encargada de administrar el acuífero costero de Manglaralto desde 1980 y abastece de agua por tubería a los hogares de la cabecera parroquial rural de Manglaralto y otras cinco comunidades rurales: Montañita, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar, a través de 10 pozos de agua (Herrera-Franco et al., 2018).

La participación comunitaria y las prácticas ancestrales han sido mecanismos relevantes para manejar los problemas del agua (escasez de lluvias y agotamiento del recurso subterráneo por la explotación). Ambos elementos han permitido a los habitantes desarrollar y adaptar técnicas para recargar los acuíferos, que son un almacenamiento subterráneo natural (Carrión et al., 2018).

Bajo el rescate del conocimiento ancestral, la JAAPMAN ha construido diques artesanales (tapes) para aprovechar el paso estacional del agua superficial del río Manglaralto, y crear condiciones para la recarga artificial del acuífero (Herrera-Franco, 2020). Y en los últimos años, con ayuda de la comunidad universitaria, la ubicación, diseño y construcción de estos tapes ha evolucionado con la aplicación de conocimientos técnicos, dando lugar a tapes técnico-artesanales de

mayor eficacia (Carrión-Mero, Morante-Carballo, et al., 2021).

Con el abastecimiento de agua por parte de la JAAPMAN, los habitantes de la parroquia han podido obtener agua para el uso doméstico, en comercios, en hoteles e inclusive para la práctica de agricultura y ganadería. Con el embalse del tape técnico-artesanal de Manglaralto, los habitantes han encontrado un nicho para la realización de actividades de pesca y recreación.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Manglaralto y los representantes de la Junta Regional Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN). Se agradece a Ing. Gricelda Herrera, Ph.D. representante en Ecuador de la Red SyCA. Al proyecto de servicio comunitario “Siembra y Cosecha de Agua ante el COVID-19, Manglaralto 2021” con código: PG03-PY21-03, "Proyecto Geoparque Península de Santa Elena" y al Decanato de Vinculación por todo el apoyo de gestión en la ejecución del proyecto. Además, la red CYTED “Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas de Iberoamérica” con código institucional 419RT0577. Pueden visitar los videos de divulgación del proyecto siembra y cosecha en los siguientes links:  
<https://youtu.be/R65MPd5wF7Y>,  
<https://youtu.be/pqJImvXBvt0>,  
<https://youtu.be/Yo6srnDDQEM>

## **CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA MANGLARALTO**

Se recomienda asistir con ropa y calzado cómodo (pantalón largo, camisa, deportivos, botas). Y además llevar chubasquero para protección de la lluvia de ser necesario.

Se recomienda usar protector solar y repelente de insectos.

Se recomienda llevar refrigerios y agua para mantener la energía e hidratación durante el recorrido.

Se prohíbe arrojar residuos en cualquiera de las áreas a visitar. Siempre buscar un tacho contenedor de basura.

## **COLABORADORES HIDROGEODÍA MANGLARALTO 2023**

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)

Decanato de Vinculación

Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT)

Junta Administradora de Agua de Manglaralto (JAAPMAN)

Ing. Cecilia Paredes Verduga, Ph.D.

Adriana Santos, Ph.D.

Gina Andrade García, M.Sc.

Ing. Paúl Carrión Mero, Ph. D.

Ing. Gricelda Herrera, Ph.D.

Ing. Fernando Morante, Ph. D.

Ing. Bethy Merchán, M. Sc.

Ing. Joselyne Solórzano, M. Sc.

Ing. María Fernanda Jaya

Ing. Emily Sánchez

Ing. Jenifer Malavé

Flavio Alberto Villao Borbor

Juan Félix Reyes Ángel

Gloria Azucena Malavé Laínez

Adriano Eduardo Alejandro Tomalá



Zoila Annabel Jara Gonzabay

Kelly María Morla Miraba

## PARA SABER MÁS

Alcalá, F. J., & Custodio, E. (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, 359(1–2), 189–207. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.028>

Carrión-Mero, P., Montalván, F. J., Morante-Carballo, F., Heredia, J., Elorza, F. J., Solórzano, J., & Aguilera, H. (2021). Hydrochemical and Isotopic

Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to Contribute to the Management of the Coastal Aquifer. *Water*, 13(4), 537. <https://doi.org/10.3390/w13040537>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Herrera-Borja, P., Chávez-Moncayo, M., & Arévalo-Ochoa, J. (2021). Design of a Technical-Artisanal Dike for Surface Water Storage and Artificial Recharge of the Manglaralto Coastal Aquifer. Santa Elena Parish, Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3), 515–523. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160312>

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Varas, M., Herrera, G., Malavé, J., Briones, J., Fajardo, I., & Campoverde, J. (2020). Geología Aplicada al Diseño de Diques Artesanales (Tapes) y su Incidencia en la Recarga del Acuífero Costero de Manglaralto, Santa Elena, Ecuador. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:*

*Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Bas, 11. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.307>

Carrión-Mero, P., Quiñonez-Barzola, X., Morante-Carballo, F., Montalván, F. J., Herrera-Franco, G., & Plaza-Úbeda, J. (2021). Geometric Model of a Coastal Aquifer to Promote the Sustainable Use of Water. Manglaralto, Ecuador. *Water*, 13(7), 923. <https://doi.org/10.3390/w13070923>

Carrión, P., Herrera, G., Briones, J., Sánchez, C., & Limón, J. (2018, September 4). Practical adaptations of ancestral knowledge for groundwater artificial recharge management of Manglaralto coastal aquifer, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 375–386. <https://doi.org/10.2495/SDP180341>

Herrera-Franco, G. (2020, January). Aplicación del conocimiento ancestral mediante albarradas y tapes en la gestión del agua en la provincia de Santa Elena, Ecuador. *Boletín Geológico y Minero*, 131(1), 75–88. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.131.1.005>

Herrera-Franco, G., Alvarado-Macancela, N., Gavín-Quinchuela, T., & Carrión-Mero, P. (2018). Participatory socio-ecological system: Manglaralto-Santa Elena, Ecuador. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(4), 303–310. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1481632>

Morante, F., Montalván, F. J., Carrión, P., Herrera, G., Heredia, J., Elorza, F. J., Pilco, D., & Solórzano, J. (2019). *Hydrochemical and Geological Correlation to Establish the Groundwater Salinity of the Coastal Aquifer of the Manglaralto River Basin, Ecuador.*

139–149.

<https://doi.org/10.2495/WRM190141>

## NOTAS



# RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA MANGLARALTO 2023

