



HIDROGEODÍA

Una experiencia de divulgación de las aguas subterráneas en España y otros países

Año 2024



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

ISSN 2952-0569
Título clave: Hidrogeodía

ÍNDICE

Introducción	1
Guías explicativas – Carteles	5
Albacete - Agua dulce – Agua salada. Reserva Natural Laguna Salada de Pétrola <i>David Sanz, Nicolás Valiente, Iordanka Dountcheva, Yolanda Espín, Beatriz Toledo, Gustavo Martínez, Silvia Rodríguez, Manuel Martín, Ana Teresa Moreno, Juan José Gómez-Alday</i>	5
Alicante - Aguas subterráneas y termalismo en el Cabeço D'Or (Aigües) <i>José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez, Víctor Sala Sala, otros (monitores)</i>	14
Asturias - Hidrogeodía del entorno de Peña Rueda: Manantial de Cortes <i>Nerea Díez Vázquez, Tomás Esolá Muñiz, Beatriz González Fernández, Montserrat Jiménez Sánchez, Mónica Leonor Meléndez Asensio</i>	30
Ávila - La Ribera del Adaja <i>Esther Rodríguez Jiménez</i>	44
Barcelona - Las aguas subterráneas de Barcelona: usos históricos hasta la transformación de los ejes y espacios verdes de la ciudad <i>Enriq Vázquez-Suñé</i>	46
Burgos - Aguas subterráneas, ecología y medio ambiente en los acuíferos en la provincia de Burgos <i>Luis Antonio Marcos Naveira</i>	48
Cáceres - Los Aljibes, reservas de agua del Cáceres medieval <i>Juan José Tejado Ramos, Eduardo Rebollada Casado, Santos Martín Sánchez, Ana María Trinidad Núñez, Fernando Alfonso Cervel, Francisco Fernández de la Llave</i>	50
Castellón - Los manantiales de Navajas. El Salto de la Novia <i>Jose Antonio Domínguez Sánchez, Arianna Renau Pruñonosa, Belén Sánchez, Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez, José Oriol Navarro Odriozola</i>	58
Cuenca - Una mirada simpática al agua subterránea. Reserva Natural complejo Lagunar de Ballesteros <i>Marc Martínez, David Sanz, Julio Martín, Irene Prieto, Marta Fernández, Alba Calleja</i>	92
Guadalajara - El sistema kárstico de la sima de Alcorón y el río Tajo: formas sorprendentes creadas por el agua <i>José A. Martínez, Enrique Díaz Martínez</i>	101

Huelva-Sevilla - Un paseo hidrogeológico por el Parque Nacional de Doñana: Las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana	113
<i>Claus Kohfahl, Miguel Rodríguez Rodríguez, Jose Luis Yanes, Conde Rodríguez, Maria Dolores Basallote Sánchez</i>	
Huesca - La presa de Santa Ana, su central hidroeléctrica y la hidrogeología del entorno	121
<i>Jorge Franco Balaguer, Josep Maria Màsich Polo, Estrella Carrero Carralero, Sebastián Agudo Blanco</i>	
Jaén - Hidrogeología del Río Cuadros de Bedmar (Sierra Mágina)	164
<i>Rosario Jiménez Espinosa</i>	
León - Las Zayas de La Valduerna: soluciones ancestrales a los problemas actuales	177
<i>Almudena de la Losa Román, Nuria Naranjo, Sergio Martos Rosillo Carlos Marín Lechado, Antonio González Ramón, José María Ruiz Hernández, José Ángel Ventura, Carlos Venturini</i>	
Lleida - Manantiales de los acuíferos carbonatados de los Pirineos entre el río Segre y la ribera salada (Lleida)	195
<i>Josep Maria Màsich, Manel Pascual, Carles Balasch, Josep Maria Mata-Perelló, Alfred Monserrat</i>	
Madrid - Ciempozuelos: agua, sales y humedales	229
<i>Carlos Baquedano Estévez, Elisabeth Díaz Losada, Juan José Durán Valseo, Javier Heredia Díaz, Fabián Luis López Olmedo, Almudena de la Losa Román, Raquel Morales García, Luis Moreno Merino, Amalia Romero Prados</i>	
Málaga - Sierra Almajara: Fábrica de agua, fábrica de luz	260
<i>José María Ávila Marín, Juan Antonio Barberá Fornell, Javier Buera Cuerva, Beatriz de la Torre Martínez, Antonio Fermín Castro, María del Rosario García Cuadra, José Manuel Gil Márquez, Marta Llamas Dios, Ana Isabel Marín Guerrero, Pedro Marín Troya, José Francisco Martín Rodríguez, Alejandro Millán Madrid, Matías Mudarra Martínez, Adrián Palomino Gómez, Juan José Rovira Medina, Damián Sánchez García, Tarragona, Pilar Barrero Justes</i>	
Murcia - Los manantiales de Caravaca de la Cruz: acuíferos, ciencia, leyendas e historia	272
<i>Virginia María Robles Arenas, Javier Buera Cuerva, José Luis García Aróstegui, Marisol Manzano Arellano, Jorge Hornero Díaz, Carlos Díaz Bermejo, Luis Arrufat Milán</i>	
Pontevedra – El agua subterránea en Ponte Caldelas	289
<i>Acacia Naves, Eva Álvarez, Rafael Carrera</i>	
Segovia - Fuente del Pájaro - Lugar de confluencias	296
<i>Andrés Díez Herrero (coord.), Juana Vegas Salamanca, Nuria Sacristán Arroyo, Fuencisla Vicente Rodado, Gonzalo Lozano Otero, Alberto Díez Herrero, Jesús del Pozo Tejado, Suset Barroso-Solares, Álvaro Pinela Herranz</i>	
Tarragona - Un paseo hidrogeológico por el Valle Bajo del Ebro, entre Tortosa y el Delta	319
<i>Pilar Barrera Justes</i>	

Tenerife - Un paseo hidrogeológico por la galería de Los Catalanes (Anaga): abastecimiento de Santa Cruz de Tenerife por aguas subterráneas	338
<i>Juan Carlos Santamarta Cerezal</i>	
Zaragoza - El desconocido Barranco de la muerte en Zaragoza	340
<i>Eduardo A. Garrido Schneider, Jesús Mateo Lázaro, Rafael Martínez Cebolla, Cristina Pérez Bielsa, José Ángel Sánchez Navarro, Miguel Ángel Marazuela Calvo</i>	
Andorra - Aqüífers kàrstics i fissurats dels cortals d'encamp	372
<i>Valentí Turú i Michels</i>	
Botswana - Water in Our Arid Environments “Our Water, Our Peace”	374
<i>Tshenolo L Chaba, Phatsimo Obuseng</i>	
Brasil (Bauru) - Hidrogeodía Brasil 2024	376
<i>Alexandra Suhogusoff (coord.), Claudia Varnier, Daniela Barbatí, Elizabeth Naranjo, Fernanda Barreto, Fernando Schuh, Leonardo Capeleto, Vinícius Rogel</i>	
Brasil (Ouro Preto) - Serra de ouro preto e águas subterráneas	381
<i>Adivane Terezinha Costa, Rodson de Abreu Marques, Luís de Almeida Prado Bacellar, Ludymilla Agnes Ferreira, Bárbara Maria de Paula Botaro, Helena Alves Bosze, Bruno Henrique Borges, Vitória Rodrigues França</i>	
Ecuador - Agua y Sociedad: resiliencia comunitaria y gestión sostenible	396
<i>Cecilia Paredes Verduga, Adriana Santos, Gina Andrade García, Paúl Carrión Mero, Gricelda Herrera, Fernando Morante, Joselyne Solórzano, María Fernanda Jaya, Emily Sánchez, Jenifer Malavé, Humberto Salinas Neira, Francisco Ortega Rodríguez, Marlene De la Rosa Rodríguez, Robert De la Cruz Reyes, Klinger Villón Suárez, Máximo Tomalá Murillo, Edison Gonzabay Villón, José Quirumbay Bacilio, Octavio Yagual Reyes, Narcisa Láinez De la Cruz, Juan Baque Baque, Kathy Rocafuerte</i>	

¿Qué es el Hidrogeodía?

El Hidrogeodía es una jornada dedicada a la divulgación de la hidrogeología, la ciencia que estudia las aguas subterráneas, y se celebra en torno al Día Mundial del Agua (22 de marzo). Esta iniciativa es promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación, Universidades y otras entidades vinculadas a la gestión de aguas subterráneas. Iniciada en 2017, ofrece actividades gratuitas, guiadas por hidrogeólogos, abiertas a todo el público, sin requerir conocimientos previos sobre los temas tratados.

El propósito de las actividades del Hidrogeodía es sensibilizar a la población sobre la importancia de los recursos hídricos subterráneos, además de destacar el valor de los sitios histórico-culturales y elementos patrimoniales relacionados con estos recursos.

Los equipos que organizan las actividades del Hidrogeodía son interdisciplinarios, abordando no solo aspectos hidrogeológicos, sino también temas históricos, culturales y otros relacionados con las aguas subterráneas, con el fin de brindar una experiencia enriquecedora y diversa.

Así, el Hidrogeodía busca satisfacer la curiosidad del público sobre las aguas subterráneas, al tiempo que fomenta la conciencia y sensibilización hacia la preservación de este recurso natural.

¿En qué consisten las actividades?

Las actividades del Hidrogeodía consisten en recorridos a pie, generalmente cortos y de baja dificultad, aunque en algunos casos se utilizan autobuses para facilitar el acceso a las paradas programadas. En otras ocasiones, los participantes han empleado vehículos particulares o incluso transporte público (autobús o metro) para llegar a los puntos de encuentro.

Las explicaciones son ofrecidas por guías cualificados, quienes acompañan a los participantes y utilizan mapas, esquemas, paneles explicativos o charlas interactivas, en las que se invita a los asistentes a participar y expresar sus opiniones. El formato de las explicaciones varía según el número de participantes. Si los grupos son pequeños, el guía acompaña al grupo durante todo el recorrido, haciendo paradas y ofreciendo explicaciones en diferentes puntos clave. En grupos más grandes, los guías se ubican en puntos fijos, y grupos de entre 10 y 20 personas se desplazan entre los diferentes puntos de información, lo que hace el proceso más ágil y dinámico.

Por lo general, las explicaciones son teóricas y se apoyan en paneles o folletos elaborados por los propios guías. Sin embargo, cuando es posible, se realizan demostraciones prácticas, permitiendo a los asistentes manejar equipos de campo y realizar mediciones "in situ", lo que ofrece una experiencia directa de las labores de un hidrogeólogo. Esto añade una dimensión más interactiva y participativa a la actividad.

Dado que los recorridos suelen ser cortos, la mayoría de las personas pueden participar sin dificultad. En cualquier caso, se informa a los asistentes sobre posibles condiciones específicas para garantizar el buen desarrollo de la actividad.

Planificación de las actividades

En primer lugar, los organizadores de cada provincia seleccionan el área de la excursión y elaboran un cartel informativo en el que se detallan los aspectos más importantes del evento: fecha, hora, punto de encuentro, y los detalles organizativos y temáticos del itinerario. Los itinerarios varían en cada edición, ofreciendo experiencias distintas. Además, preparan material didáctico que se utilizará durante la excursión, así como una guía que recoge toda la información del evento. Esta guía incluye material gráfico, como imágenes y mapas del recorrido, y textos explicativos sobre las distintas paradas, con un enfoque divulgativo. En cada itinerario, la información abarca aspectos hidrogeológicos, geológicos, históricos, culturales y ambientales, integrando de manera completa los diversos temas del recorrido.

El Hidrogeodía se anuncia con varios meses de antelación a través de campañas de difusión en diversas plataformas, como blogs y redes sociales. El Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) cuenta con una página web (<http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia/>), donde se publican carteles, guías y todo el material didáctico relacionado con la actividad en cada provincia, disponible para su descarga gratuita. Para fomentar la participación, en algunas ediciones se han organizado concursos de fotografía abiertos a todos los públicos, con temática hidrogeológica.

Hidrogeodía 2024

En 2024 el Hidrogeodía se ha celebrado en 23 provincias españolas, y en otros 4 países (Andorra, Brasil, Ecuador y Botswana) (Figura 1).



Figura 1. Provincias españolas y emplazamientos fuera de España donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2024.

La actividad específica que se ha celebrado en cada Hidrogeodía se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Actividades realizadas en cada emplazamiento donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2024.

PROVINCIA (ESPAÑA)	TÍTULO
Albacete	Agua dulce – Agua salada. Reserva Natural Laguna Salada de Pétrola
Alicante	Aguas subterráneas y termalismo en el Cabeço D'Or (Aigües)
Asturias	Hidrogeología del entorno de Peña Rueda: Manantial de Cortes
Ávila	La Ribera del Adaja
Barcelona	Las aguas subterráneas de Barcelona: usos históricos hasta la transformación de los ejes y espacios verdes de la ciudad
Burgos	Aguas subterráneas, ecología y medio ambiente en los acuíferos en la provincia de Burgos
Cáceres	Los Aljibes, reservas de agua del Cáceres medieval
Castellón	Los manantiales de Navajas. El Salto de la Novia
Cuenca	Una mirada simpática al agua subterránea. Reserva Natural complejo Lagunar de Ballesteros
Guadalajara	El sistema kárstico de la sima de Alcorón y el río Tajo: formas sorprendentes creadas por el agua
Huelva-Sevilla	Un paseo hidrogeológico por el Parque Nacional de Doñana: Las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana
Huesca	La presa de Santa Ana, su central hidroeléctrica y la hidrogeología del entorno
Jaén	Hidrogeología del Río Cuadros de Bedmar (Sierra Mágina)
León	Las Zayas de La Valduerna: soluciones ancestrales a los problemas actuales
Lleida	Manantiales de los acuíferos carbonatados de los Pirineos entre el río Segre y la ribera salada (Lleida)
Madrid	Ciempozuelos: agua, sales y humedales
Málaga	Sierra Almijara: Fábrica de agua, fábrica de luz
Murcia	Los manantiales de Caravaca de la Cruz: acuíferos, ciencia, leyendas e historia
Pontevedra	Ponte Caldelas
Segovia	Fuente del Pájaro - Lugar de confluencias
Tarragona	Un paseo hidrogeológico por el Valle Bajo del Ebro, entre Tortosa y el Delta
Tenerife	Un paseo hidrogeológico por la galería de Los Catalanes (Anaga): abastecimiento de Santa Cruz de Tenerife por aguas subterráneas
Zaragoza	El desconocido Barranco de la muerte en Zaragoza
PAÍS	TÍTULO
Andorra	Aqüífers kàrstics i fissurats dels cortals d'encamp
Brasil (Bauru)	Hidrogeodía Brasil 2024
Brasil (Ouro Preto)	Serra de ouro preto e águas subterráneas

Ecuador	Agua y Sociedad: resiliencia comunitaria y gestión sostenible
Botswana	Water in Our Arid Environments “Our Water, Our Peace.”

En su edición de 2024, el Hidrogeodía ha contado con 1936 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 (49%). Las encuestas realizadas a los participantes en la actividad confirman que, el desarrollo de la actividad ha sido excelente (62%), con una organización y atención también excelentes (60% y 63%, 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 2024.



Albacete

ALBACETE

HIDROGEO DÍA

2024

AGUA DULCE – AGUA SALADA (Laguna de Pétrola)

Domingo 7 de abril de 10.00 A 14.00

Jornada de divulgación gratuita para todos los públicos sobre la hidrogeología



Zona de encuentro: Mirador de Pétrola

							
---	---	---	---	--	---	---	---

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**. 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**.

En Albacete, el **Hidrogeodía 2024** se celebra el día 7 de abril en el entorno de la laguna hipersalina de Pétrola. Para ello se cuenta con la colaboración del Departamento de Geología del Instituto de Estudios Albacetenses “Don Juan Manuel”, el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Castilla – La Mancha (UCLM), el Departamento de Ingeniería Geológica y Minera (UCLM) y otros colaboradores.

Es una zona de gran interés hidrogeológico donde en 2016 ya se realizó un **Geolodía** de Albacete (https://serpi43.dipualba.es/archivo_alcaraz/PDF/Geolodia16.pdf). En efecto, el agua subterránea juega un papel fundamental en el mantenimiento de los niveles de agua en los lagos y humedales durante los meses de estiaje. Además, en el caso de la laguna hipersalina de Pétrola la salmuera del humedal se sitúa por encima, de la relativamente, agua dulce del acuífero, lo cual produce una inestabilidad gravitacional que puede generar células de convección y modificar la calidad de sus aguas. El objetivo principal de esta excursión es que los participantes comprendan y observen desde el punto de vista hidrogeológico la relación entre las aguas subterráneas y los ecosistemas superficiales asociados como la laguna de Pétrola. Este trabajo forma parte de las actividades de divulgación de los proyectos: “Atenuación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en medios de elevada salinidad. Traslación biotecnológica”-JCCM/FEDER (SBPLY/21/I80501/000055) y “Advances on atrazine attenuation processes in high salinity media for the development of remediation strategies” PID2022-139911OB-C44. MCIN/AEI/FEDER,

PARA SABER MÁS:

Gómez-Alday, J. J., Castaño, S., & Sanz, D. (2008). Contribución al estudio de la salinización en las aguas subterráneas de la cuenca endorreica de la laguna de Pétrola (Pétrola, Albacete). *Sabuco: Revista de estudios albacetenses*, (6), 9-31.

Valiente N (2018) A multidisciplinary approach for assessing natural attenuation of pollutants in a highly saline lake-aquifer system: the case of Pétrola lake, Spain. PhD Thesis, Universidad de Castilla-La Mancha, Spain.

Sanz, D., Valiente, N., Dountcheva, I., Muñoz-Martín, A., Cassiraga, E., & Gómez-Alday, J. J. (2022). Geometry of the modelled freshwater/salt-water interface under variable-density-driven flow (Pétrola Lake, SE Spain). *Hydrogeology Journal*, 30(3), 975-988.

RESERVA NATURAL LAGUNA SALADA DE PÉTROLA

El entorno de la Laguna de Pétrola fue declarado Reserva Natural debido a sus valores naturales en septiembre de 2005 (Decreto 102/2005). Entre estos valores destaca porque mantiene una importante comunidad de aves acuáticas, como por ejemplo los flamencos. La Reserva Natural se encuentra situada a unos 35 km al sureste de la ciudad de Albacete en las proximidades de la localidad de Pétrola. La laguna de Pétrola es uno de los ejemplos más representativos de humedales hipersalinos del sur de Europa. Este rico ecosistema y la importancia ambiental del humedal están estrechamente asociados con el funcionamiento hidrogeológico del sistema. Para entender su funcionamiento se debe estudiar toda la cuenca endorreica de la Laguna de Pétrola, de unos 43 km² de extensión (Fig.1). La singularidad geológica que permite la existencia de hábitats extremos en esta laguna se debe, entre otros factores, a la salinidad de sus aguas subterráneas, cuya concentración en sulfato puede superar los 900 mg/l (Sales de Epsom). En ocasiones las aguas de la laguna pueden llegar a tener concentraciones de 50 g/L de sólidos disueltos totales (TDS). Para hacerse una idea el agua del mar Mediterráneo tiene una salinidad de unos 35 g/L de TDS.

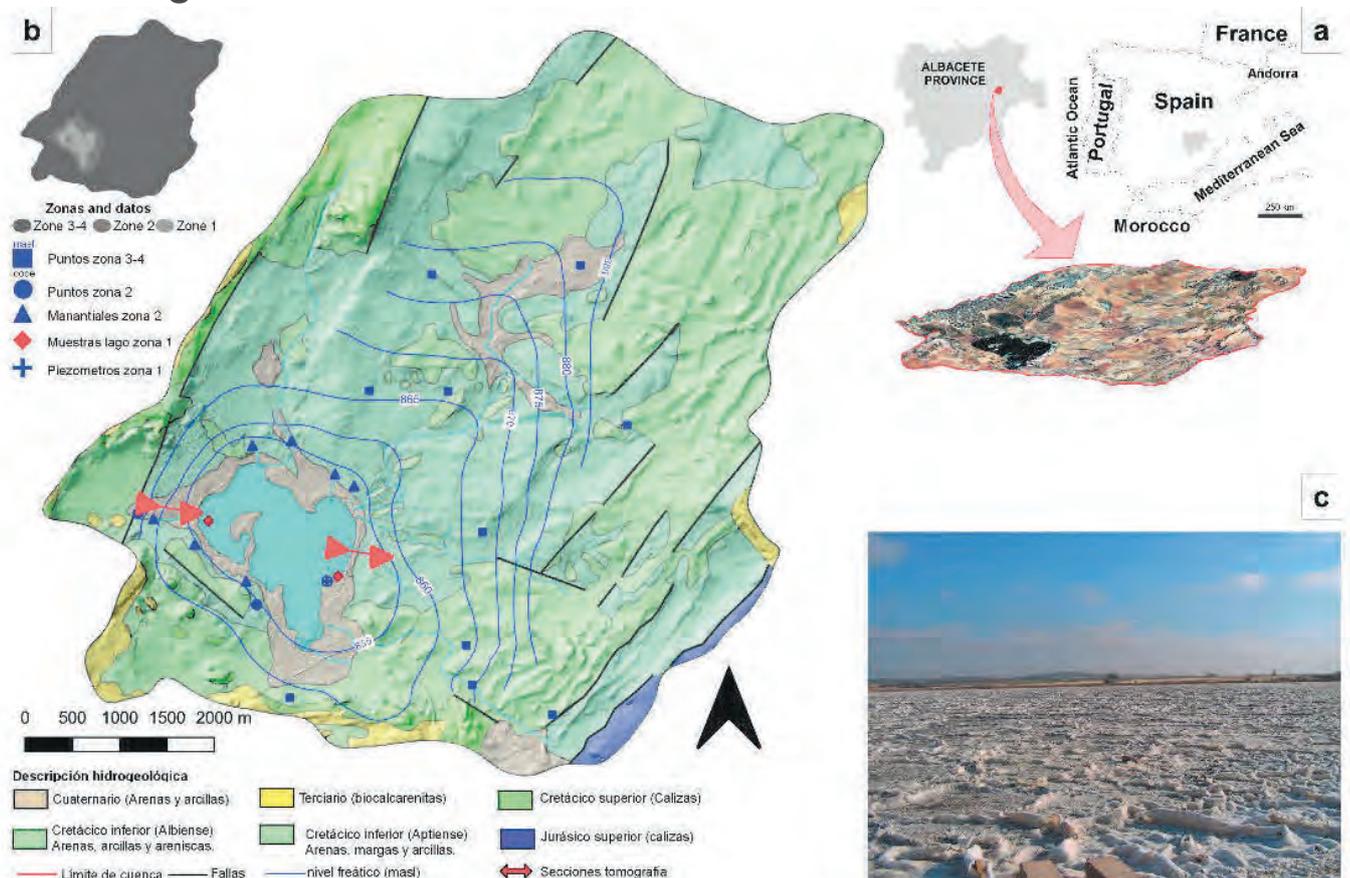


Figura 1. Mapa geológico simplificado sombreado a partir del MDT. Las líneas azules muestran las isolíneas del flujo subterráneo. a: Ubicación del área de estudio. b: zonación hidroquímica. c: fotografía del proceso de concentración de sal debido a la evaporación. Modificado de Sanz et al., (2022).

DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

Salida: Comenzaremos nuestra excursión en el mirador del Calvario (Pétrola). Desde esta panorámica deduciremos perfectamente que es una cuenca endorreica e intentaremos entender el ciclo del agua en dicha cuenca. Para ello, lo primero que tenemos que pensar es que las aguas superficiales y las aguas subterráneas son dos manifestaciones de un solo recurso integrado. Parte del agua que llega a la superficie de la cuenca endorreica procede de la precipitación (**R**) y los retornos de riego. El agua es contenida en la zona más superficial del suelo y puede ser devuelta a la atmósfera mediante el proceso denominado evapotranspiración (**ETR**). Otra parte del agua 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 (**I**). 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 (**Q_{sup}**). Gran parte del agua que circula por los arroyos o aparece por los manantiales y humedales procede de las aportaciones subterráneas del acuífero cuando el nivel freático intersecta la topografía del terreno (**Q_{sub}**). Todos estos flujos se dirigen hacia la laguna donde también recibe los aportes de precipitación directa (**P_d**) y de las aguas residuales después del filtro verde (**Q_{res}**). Las únicas salidas del sistema se producen por los bombeos de agua subterránea (**P_s**) y por la evaporación directa desde la laguna (**E**). Todo ello tiene que cumplir la ecuación de la continuidad donde las Entradas – Salidas = Variación de almacenamiento (**AV**).

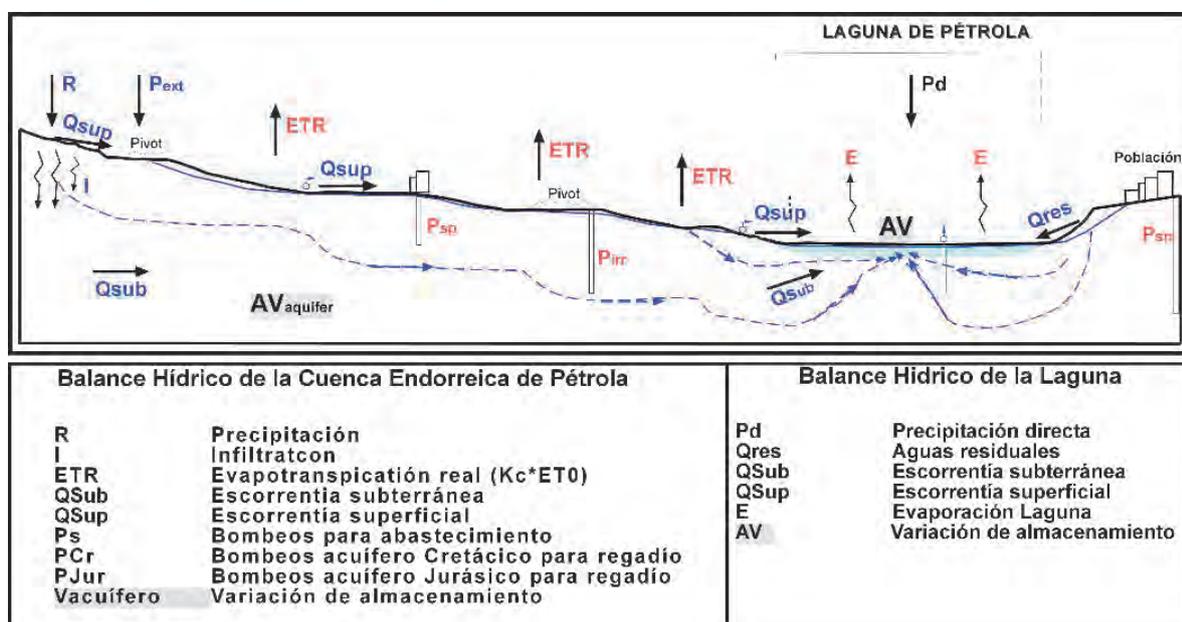


Figura 2. Esquema simplificado del ciclo del agua en la cuenca endorreica de Pétrola.

DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

Parada 1: ¡Ay que agua más salada! La molécula de agua está formada por 2 átomos de H y un átomo de O unidos mediante enlaces covalentes polares formando un ángulo de 105°. Esto genera una desigualdad de cargas eléctricas en la misma molécula. Esta propiedad se relaciona con otras propiedades físico-químicas pero sobre todo con una; la solubilidad. El agua es el disolvente universal de los compuestos iónicos (la mayoría de las rocas) que al entrar en contacto con los materiales geológicos de la superficie del terreno y del acuífero va adquiriendo un determinado quimismo.

Hidroquímicamente, la cuenca endorreica se dividió en cuatro zonas diferentes (Valiente, 2018). La Zona I corresponde a las aguas de la laguna con una hidrofacies que se puede clasificar como Mg-Na-SO₄-Cl. Las aguas superficiales del lago tienen valores Conductividad Eléctrica (CE) que pueden oscilar entre 59.300 μs/cm y 123.000 μs/cm (TDS 50g/L), y un pH entre 8,6-9,4. La concentración de nitrato en las aguas de la laguna están por debajo del límite de detección (<0,3 mg/L). Las zonas (2, 3 y 4 alrededor de la laguna) tienen valores de pH de 7,3 a 8,8. Los valores de CE y TDS oscilaron entre 975 y 2820 μS/cm y entre 0,5 y 1,5 g/l TDS, respectivamente. Las concentraciones de nitrato variaron desde debajo del límite de detección hasta 99,2 mg/L. El tipo de agua subterránea en el área circundante varió entre Mg-Ca-SO₄-HCO₃ y Na-Ca-HCO₃-Cl, como se muestra en la Fig. 3.

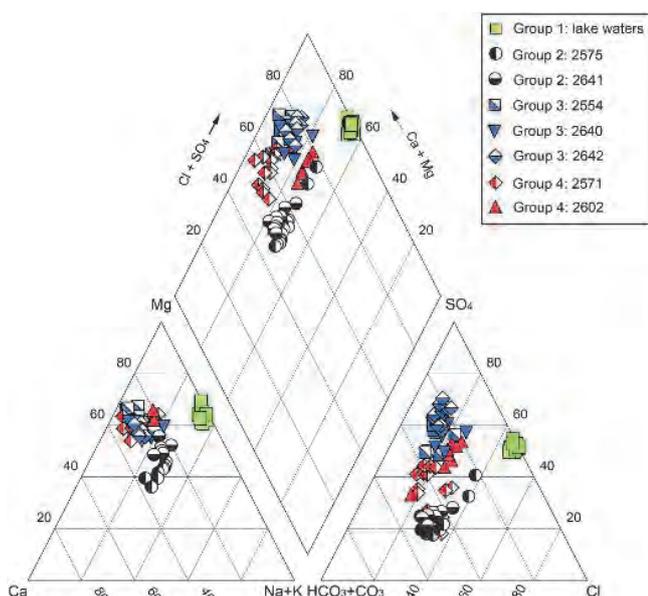


Figura 3. Diagrama de Piper mostrando las facies hidroquímicas de las aguas presentes en la cuenca endorreica de la laguna de Pétrola. Tomado de Valiente (2018).

Parámetro	Valor
Bacterias Coliformes	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	
Potencial redox (mV)	
Temperatura (°C)	
pH	
Nitratos (mg/L)	
Turbidez (UTJ)	
Conductividad eléctrica (μS/cm)	

Tabla I. Parámetros físico-químicos analizados en la excursión.

Parada 2: Bacterias aliadas en la descontaminación de las aguas.

La presencia de altas concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas de la cuenca endorreica podría provocar la eutrofización de las aguas de la laguna e incluso ser perjudicial para la salud humana si se consumen para abastecimiento. Sin embargo, aunque existen nitratos en las aguas del acuífero, prácticamente no existen en la laguna. ¿Cómo puede ser? Como respuesta natural a la entrada de contaminantes en la laguna de Pétrola, ésta responde tratando de restablecer el equilibrio biogeoquímico promoviendo procesos de atenuación de contaminantes. La singularidad del entorno y las condiciones de salinidad de sus aguas dan lugar a la existencia de un ambiente extremo propicio a desarrollar y albergar microorganismos extremófilos. Estos microorganismos tienen adaptaciones metabólicas que les confiere la capacidad de mediar ciertos procesos redox que participan en el reciclado de nutrientes (nitrógeno y azufre, principalmente) y en la atenuación de procesos de biorremediación.

Por lo tanto, la evaluación de la diversidad bacteriana del agua y sedimento de la laguna de Pétrola presenta un gran interés por la posibilidad de encontrar bacterias que participen en procesos de atenuación de contaminantes y biorremediación de áreas contaminadas.

Se han realizado estudios sobre las comunidades bacterianas de la Laguna de Pétrola para la búsqueda de bacterias nativas implicadas en la degradación de la contaminación. Los resultados ofrecen cultivos puros y la identificación de bacterias procedentes del agua superficial, sedimento y agua subterránea con capacidad metabólica para la degradación del nitrato e incluso de la atrazina.



Figura 4. Algas de las bacterias aisladas en la Laguna de Pétrola.

Parada 3: Aguas con diferente densidad.

Tal y como hemos visto, la laguna de Pétrola se alimenta del acuífero subyacente con agua subterránea relativamente dulce (1 g/L TDS). El agua almacenada en la laguna sufre altas tasas de evaporación que promueven un aumento en la concentración de sales a lo largo del tiempo en el agua del lago (en ocasiones superiores a 100 g/L de TDS). La diferencia de densidad entre el agua superficial del lago y el agua subterránea regional puede alcanzar hasta $0,25 \text{ g/cm}^3$. Por tanto, se produce un gradiente de concentración entre el agua salada sobre el agua subterránea dulce, lo que provoca células de convección mediante un flujo impulsado por la densidad hacia el acuífero en forma de "dedos" o "lóbulos". (Fig. 5). Para observar este fenómeno los hidrogeólogos utilizamos métodos de prospección geoelectrónica ya que se son capaces de mostrar el contraste entre diferentes resistividades de corriente continua en aguas subterráneas salinas y aguas subterráneas dulces (Fig. 6). Cuando las diferencias de densidad entre las dos aguas son lo suficientemente altas, el transporte de solutos es el resultado de un flujo convectivo que desempeña un papel importante en el transporte de especies bio-químicas (incluidas las bacterias del apartado anterior).

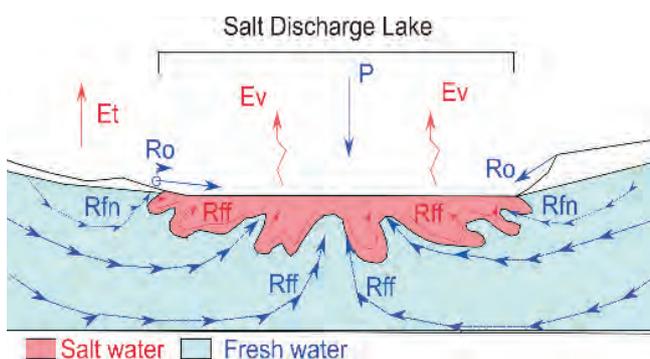
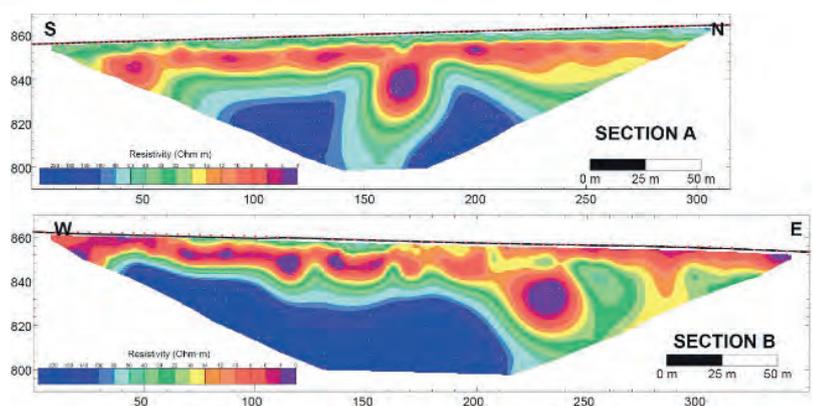


Figura 5. Modelo conceptual de flujo de densidad variable en la laguna de Pétrola. Las entradas de agua al lago provienen de entradas de agua subterránea (superficial (Rfn) y regional (Rff)), escorrentía superficial y manantiales (Ro) y precipitación directa sobre el lago (P). La evaporación (Ev) y la evapotranspiración (Et) hacen que las sales se concentren y precipiten en la superficie del lago.

Figura 6. Modelo inverso de distribuciones de resistividad para perfiles de tomografía eléctrica en 2D. La baja resistividad (magenta-rojo) representa alta conductividad eléctrica (EC de 80 a $>160 \text{ mS/cm}$), mientras que la alta resistividad (azul-verde) muestra áreas con baja EC ($<1-20 \text{ mS/cm}$). Naranja-amarillo indica la zona de transición (interfase) con EC de 20 a 80 mS/cm . Modificado de Sanz et al., (2022).



ALBACETE

HIDROGEODÍA

2024

AGUA DULCE – AGUA SALADA (Laguna de Pétrola)

Domingo 7 de abril de 10.00 A 14.00

Jornada de divulgación gratuita para todos los públicos sobre la hidrogeología

Organizadores y monitores del Hidrogeodía Albacete 2024: David Sanz, Nivolas Valiente, Iordanka Dountcheva, Yolanda Espin, Beatriz Toledo, Gustavo Martínez, Silvia Rodríguez, Manuel Martín, Ana Teresa Moreno, Juan José Gómez-Alday.



Ayto. Pétrola





Alicante

HIDROGEODÍA 2024: AGUAS SUBTERRÁNEAS Y TERMALISMO EN EL CABEÇÓ D'OR (AIGÜES)

Guía de la excursión

Aguas subterráneas y termalismo en la
Provincia de Alicante. El Cabeçó d'Or (Aigües)

Guía de la excursión

Edita: Diputación de Alicante, UA, UMH
Imprime: Imprenta Diputación de Alicante
© AIH-GE

MONITORES HIDROGEODÍA ALICANTE 2024

Coords. José Miguel Andreu Rodes (UA)
Miguel Fernández Mejuto (DPA/UA)
Ernesto García Sánchez (UMH)
Víctor Sala Sala (UMH)

Pedro Alfaro García (UA)
Josefa Antón Botella (UA)
Victoria Arcenegui Baldó (UMH)
María Candela Ruiz (UA)
Miryam Carrillo Bautista (UA)
Sara Gil Oncina (UA)
Héctor Fernández Rodríguez (DPA)
Valentín Gangloff (UA)
Noé García Martínez (UA)
Juan Antonio Hernández Bravo (DPA)
Diego Maciá Domene (DPA)
Ana Martín Guillén (UA)
Iván Medina Cascales (UA)
Constantino Molina Motos (DPA)
José Miguel Narros Soria (UA)
Conchi Pla Bru (UA)
Juanjo Rodes Martínez (DPA)
Iván Rojas Martín (UA)
Naimés Alexander Miño Puente (UA)
Rebeca Palencia Rocamora (DPA)
Fernando Pérez Calvo (DPA)
Julio Ramón Pascual (IES Carrús)
Francisco José Royuela Amorós (MUDIC)
Sergio Rosa Cintas (UA)
Rodrigo Sánchez Martínez (UA)
Fernando Santos Sánchez (UA)
Francisco Sansano López (IES Mutxamel)
Eva Santamaría Pérez (UA)
Ana María Serna Candela (DPA)
Javier Valdés Abellán (UA)
Alicia Vela Mayorga (IES Cabo de la Huerta)

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las instituciones y entidades que han apoyado y/o patrocinado Hidrogeodía 2024: 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 de Elche), Vicerrectorado de Cultura, Deportes y Lenguas (UA), Facultad de Ciencias (UA), Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales (UA), Cátedra del Agua (DPA-UA), Servicio de Comunicación (UMH), proyecto Interreg NBS4Local, proyectos Metacircle e Hydromed, Hidraqua y Ajuntament d'Aigües.

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 2024** se celebra en **Aigües**, el 23 de marzo. Este año se ha elegido un itinerario en el entorno del antiguo balneario de Aguas de Busot. A lo largo de dicho recorrido 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: Vista panorámica del acuífero del Cabeçó d'Or.

¿CÓMO LLEGAR?

El presente itinerario hidrogeológico se realiza en el entorno de la localidad de Aigües. Esta es una pequeña población, de casi 1100 habitantes, situada en la comarca del Alacantí, a aproximadamente 27 km de la ciudad de Alicante. El acceso a Aigües se puede realizar tomando la carretera CV-775 (Figura 1). Desde el sur, se puede tomar esta carretera desde la AP-7 o desde N-332, en las proximidades de El Campello.

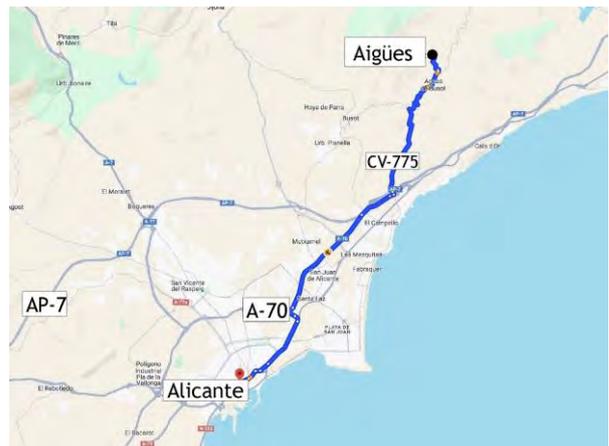


Figura 1: Mapa de acceso desde la ciudad de Alicante a la localidad de Aigües, donde tiene lugar el itinerario.

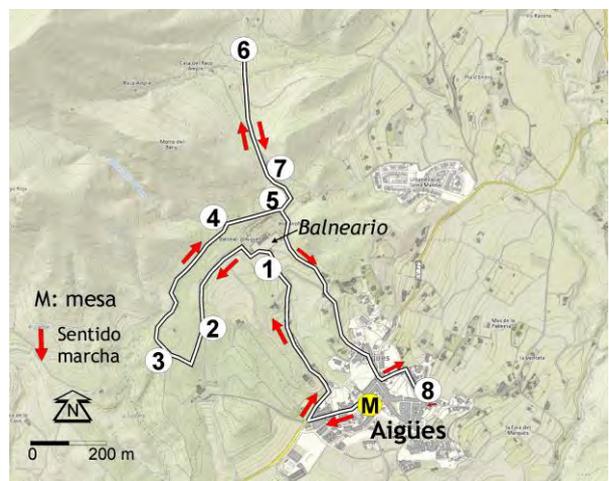


Figura 2: Situación de la mesa y las paradas del itinerario.

¿QUÉ VEREMOS?

Los aspectos más relevantes de este itinerario son:

1. La caracterización geológica e hidrogeológica de la sierra del Cabeçó d'Or.
2. El acuífero del Cabeçó d'Or y su funcionamiento hidrogeológico.
3. La singularidad de las aguas de los diferentes manantiales asociados a este acuífero kárstico.
4. El aprovechamiento histórico de las aguas termales del Cabeçó d'Or.
5. La gestión y utilización del agua de este acuífero para abastecimiento de la población.

¿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 itinerario discurre por las inmediaciones de la población de Aigües (Figura 2). A lo largo del mismo se verán los principales rasgos hidrogeológicos del acuífero del Cabeçó d'Or y se abordarán aspectos relacionados con su gestión.

El acuífero del Cabeçó d'Or se encuadra dentro de la Masa de Agua Subterránea 080-183A Orxeta-Relleu, según el Plan Hidrológico del Júcar, período 2022-2027, (Figura 3). Abarca una banda más o menos paralela a la línea de costa entre las localidades de Altea y Alicante. El acuífero del Cabeçó d'Or se encuentra en el límite occidental de dicha masa de agua.

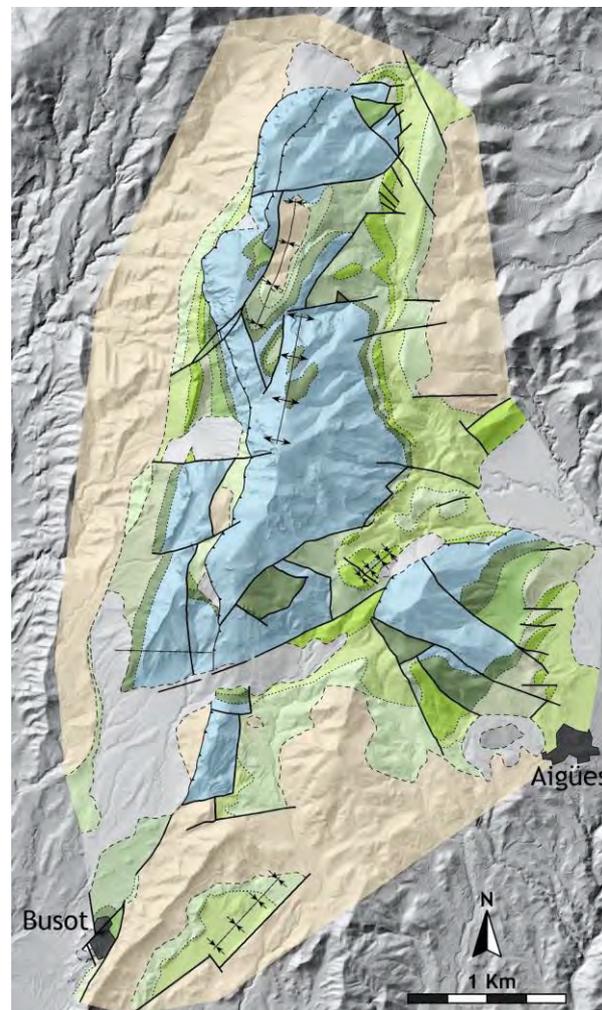


Figura 3: Localización del acuífero del Cabeçó d'Or dentro de la Masa de Agua Subterránea 080-183A Orxeta-Relleu.

El acuífero del Cabeçó d'Or es un pequeño acuífero kárstico, de 15 km² aproximadamente, formado por más de 500 metros de materiales carbonatados jurásico-cretácicos.

El acuífero coincide en gran medida con la sierra de la que toma su nombre. Este relieve forma un pliegue anticlinal asimétrico con dirección aproximada N-S. En su núcleo se encuentran las calizas jurásicas, y en ambos flancos se sitúa una potente serie de materiales cretácicos (Figura 4). La estructura se encuentra afectada por diversas fallas, particularmente en la parte sureste del relieve, donde

los materiales jurásicos de Peña Roja se superponen sobre materiales más modernos.



LEYENDA

	Travertinos. Cuaternario
	Coluvial. Cuaternario
	Margas y calizas bioclásticas. Terciario
	Calizas blancas. C-6
	Margocalizas con erizos. C-5
	Calizas arrecifales. C-4
	Margas y calcarenitas. C-2-3
	Calcarenitas con orbitolinas. C-3
	Margas con amonites. C-2
	Calcarenitas y arenas. C-1
	Calizas. Jurásico

Figura 4: Esquema geológico de la sierra del Cabeçó d'Or.

Del conjunto de los materiales presentes en este relieve, tienen un comportamiento acuífero las calizas y areniscas del Jurásico-Cretácico inferior, constituyendo ambos el acuífero del Cabeçó d'Or. La estructuración de las rocas carbonatadas jurásico-cretácicas y la del resto de las formaciones margosas cretácicas permite que este sistema hidrogeológico se encuentre totalmente aislado. Si bien el acuífero carbonatado se prolonga bajo materiales más modernos hacia el S, aflorando únicamente dicha prolongación en el Cerro de Salmitre y en la localidad de Busot. El impermeable de base se atribuye a un tramo margoso del Jurásico superior.

Su recarga procede de la infiltración directa de las precipitaciones caídas sobre las rocas permeables que afloran en las cumbres más altas. El agua infiltrada adquiere un flujo de dirección N-S, y sus principales puntos de descarga se encuentran en el entorno de Aigües, aunque también hay manantiales en otros puntos como Busot.

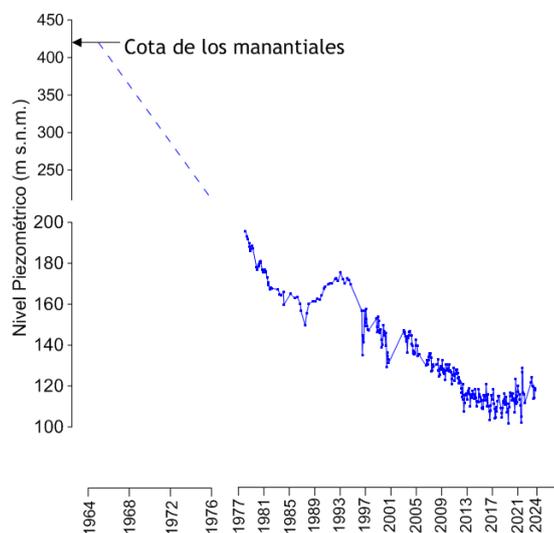


Figura 5: Evolución del nivel del agua en el acuífero del Cabeçó d'Or.

El acuífero comenzó a explotarse de forma intensiva en la década de los años sesenta, provocando la bajada de los niveles y la desaparición de sus manantiales. Estos permanecen secos desde entonces. Aunque los elevados bombeos cesaron hace años, y el nivel

se ha estabilizado (Figura 5), este se mantiene a más de 250 m de profundidad en los sondeos de Aigües.

En la actualidad, las principales salidas del acuífero se realizan mediante sondeos de explotación, cuyas aguas se destinan al regadío y al abastecimiento público de los municipios de Aigües y Busot. La explotación por bombeo es de aproximadamente 1 hm³/año.

No obstante, un rasgo diferenciador que caracteriza a este acuífero respecto a otros sistemas provinciales es la existencia de termalismo. Las temperaturas a las que se está bombeando el agua están entre 27 y 38°C, encontrándose las más calientes en el entorno de la población de Aigües.

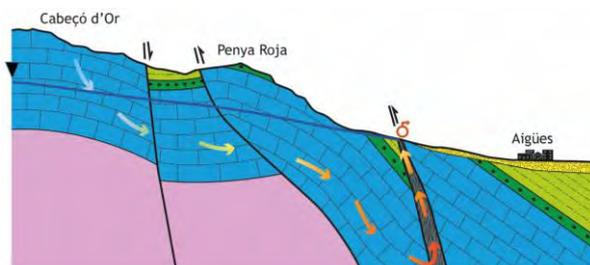


Figura 6: Modelo conceptual de la circulación del agua subterránea que explica la adquisición de termalismo de sus aguas.

Estudios realizados en la provincia de Alicante han puesto de manifiesto que la zona donde se encuentra el acuífero del Cabeçó d'Or presenta gradientes de 5,7°C/100 m. Es decir que la temperatura de las rocas aumenta 5,7°C por cada 100 metros de profundidad, valor que supera al gradiente geotérmico natural (3°C/100 m), y explica la manifestación del termalismo en este entorno. Se trata, por tanto, de uno de los 3 sectores, conjuntamente con la zona de Alcoi y del Bajo Segura, en los que se presenta esta anomalía geotérmica en la provincia de Alicante.

Aunque todavía se encuentra en discusión, todo indica que el origen del termalismo se puede asociar a la presencia de fracturas profundas (Figura 6). Así, el agua meteórica infiltrada en las partes elevadas del Cabeçó

d'Or se adentra en el acuífero aumentando su temperatura para terminar ascendiendo, ya a alta temperatura, por las fracturas que afectan a la Penya Roja en las inmediaciones de Aigües.

Parada 1. El Balneario

Aunque el acuífero del Cabeçó d'Or es de naturaleza carbonatada, sus aguas difieren notablemente de otros acuíferos similares de la provincia. Por un lado, tienen una composición química sulfatada cálcica, en la que algunos puntos alcanzan concentraciones de más de 1 g/L de sulfato; y, por otro y más significativo, sus aguas son termales, con temperaturas próximas a 40°C. Este carácter termal ha hecho que hayan sido aprovechadas con fines curativos y medicinales desde la antigüedad.

Uno de los vestigios de este aprovechamiento del termalismo es el Balneario de Aguas de Busot, el cual forma parte de un "complejo turístico" construido a principios del siglo XIX (Foto 2). El edificio fue concebido como un hotel, al que se le dio el nombre de "Hotel Miramar". Junto a él se realizaron otras edificaciones e infraestructuras en el entorno de la población de Aigües, incluyendo una piscina.



Foto 2: Vista panorámica del antiguo balneario de Aguas de Busot en las proximidades de Aigües.

El hotel se cerró en 1920, pero la fama de sus baños hizo que en 1936 fuera habilitado como Preventorio Infantil de Tuberculosos del Estado. Estas instalaciones se mantuvieron con fines sanitarios hasta su clausura en el año

1967. A pesar de que desde entonces ha habido diversos intentos para rehabilitar estas instalaciones y darles un uso terapéutico y como balneario, estos han sido infructuosos, permaneciendo en un estado de abandono y deterioro.

Parada 2. Los manantiales del Cabeçó d'Or y sus depósitos asociados

La descarga del acuífero del Cabeçó d'Or, antes de su aprovechamiento por medio de pozos, tenía lugar de forma natural principalmente por los manantiales de su parte meridional. La mayor concentración de surgencias se encontraba en las inmediaciones de Aigües (Cogolla, Los Baños, Balsa Nueva, Colladet...), aunque también las había algo más al S, como el manantial de Busot. Se desconoce el número exacto de manantiales existentes en el entorno de Aigües pero debieron ser numerosos, ya que Madoz (1842-50) relata *“los manantiales son tantos, tan abundantes y siguen tan diversas direcciones, que es imposible hacer de ellos una enumeración exacta, porque brotan en más de una leg. de circunferencia, pero siempre presentan en su nacimiento el carácter minero termal, que van perdiendo según la dist. que corren.”*

Aunque actualmente todos estos manantiales están secos, sí se pueden observar los **depósitos travertínicos** asociados a la descarga de sus aguas (Foto 3). Los depósitos de travertinos son precipitados de carbonatos que se producen cuando las aguas del acuífero salen a la superficie, y experimentan una descompresión y enfriamiento. Esto conlleva una pérdida del gas carbónico disuelto, una variación del pH y un desequilibrio del estado de saturación de la calcita. En definitiva, el agua se vuelve incrustante y libera parte de las sales que lleva en disolución formando precipitados de carbonato cálcico. Cuando este proceso tiene lugar sobre vegetación, los precipitados envuelven los tallos y ramas de las plantas

fosilizándolas. Con el tiempo, la materia orgánica de los vegetales se descompone dejando una roca muy porosa característica ampliamente utilizada en construcción. En los muros del paraje del Colladet se pueden observar estas rocas.



Foto 3: Edificio travertínico asociado al punto de descarga donde se encontraba el manantial termal de Busot. Al fondo a la izquierda se observa el Cabeçó d'Or.

Parada 3. La biomasa de las aguas del Cabeçó d'Or

La cantidad de microorganismos que alberga nuestro planeta es muy elevada. Se estima que hay unos 2×10^{30} microorganismos (2 quintillones). Estos se encuentran distribuidos en prácticamente todos los ambientes y rincones. Se han detectado microorganismos incluso en los sitios más extremos y remotos, como en aguas termales de alta entalpía (con temperaturas de hasta 120°C).

La gran mayoría de los microorganismos son inocuos para el ser humano y esenciales para el funcionamiento de la Tierra, 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...

En los acuíferos el conocimiento que tenemos sobre sus microorganismos es bastante vago y en especial, en aquellos de nuestro entorno próximo. En Aigües el agua emana a unos 38°C y, por tanto, es termal. Aunque algunos sistemas hidrotermales han recibido gran atención, la composición de la comunidad microbiana del agua del Cabeçó d'Or es totalmente desconocida. Tal como se muestra en la foto 4, la abundancia de microorganismos es muy baja, del orden de 10000 bacterias y virus por mililitro. Esta cantidad es mucho menor de la que, por ejemplo, hay en el agua de mar costera, que alberga alrededor de un millón de bacterias por mililitro. Estos virus y bacterias no son patógenos (de hecho, los virus de este tipo de sistemas infectan normalmente a las bacterias con las que comparten hábitat). Generalmente, la diversidad de virus y bacterias de las aguas hidrotermales estudiadas hasta la fecha depende del pH y la temperatura. Se sabe también que utilizan fuentes de energía inorgánicas (como hidrógeno o compuestos de azufre, por ejemplo) y que no se encuentran habitualmente en otros ambientes más "normales".

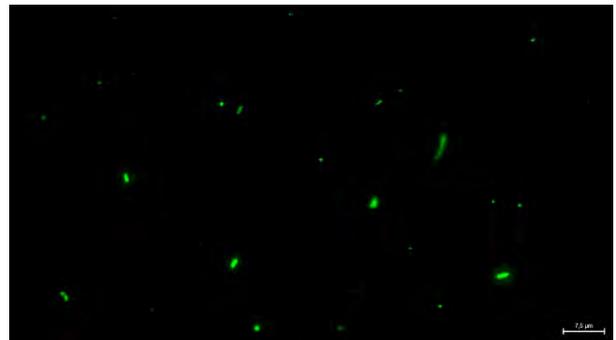


Foto 4. Muestra del agua subterránea del Cabeçó d'Or. La fotografía se ha tomado con un microscopio de fluorescencia a 1000 aumentos, tras teñir las células y los virus con un colorante que se une al ADN.

Esta microbiota de las aguas subterráneas forma parte de lo que podríamos denominar "microbioma del subsuelo". 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. 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 4. El cierre de las captaciones: sondeo Balneario

El sondeo Balneario fue una de las captaciones utilizadas para el abastecimiento de la localidad de Aigües. Se trata de un sondeo de 400 m de profundidad que se realizó en la década de los años 80. Este sondeo estuvo varias décadas funcionando aunque ahora se encuentra **inactivo**, es decir, ha dejado de explotarse temporalmente. Tanto los sondeos inactivos como los **abandonados**, aquellos que por diversos motivos dejan de utilizarse y no tienen uso (según el art. 66 del Texto Refundido de la Ley de Aguas aquellas que lleven más de 3 años sin uso) deben ser convenientemente sellados y clausurados. Este sellado persigue evitar los posibles accidentes de

personas y/o animales e impedir que estas perforaciones constituyan una vía preferencial de entrada de contaminantes en el acuífero.

En los sondeos inactivos, como es el caso del sondeo Balneario, durante el periodo de inactividad, deberán disponer de un correcto cierre sanitario y es recomendable extraer la bomba y el equipo electromecánico.

Si el sondeo es abandonado definitivamente, además habría que tratar de restaurar el terreno de la forma más aproximada posible a sus condiciones hidrogeológicas e hidráulicas previas a su construcción. Para ello convendría dejar la perforación lo más limpia posible y extraer todos los elementos instalados como tuberías o rejillas. El correcto sellado requiere de un buen conocimiento del sondeo y acuífero (p. ej. entubación, profundidad, litología atravesada, nivel piezométrico, si es acuífero multicapa, etc.). En caso de no disponer de ese conocimiento, lo preferible sería inyectar una lechada de cemento y/o bentonita (Figura 7).

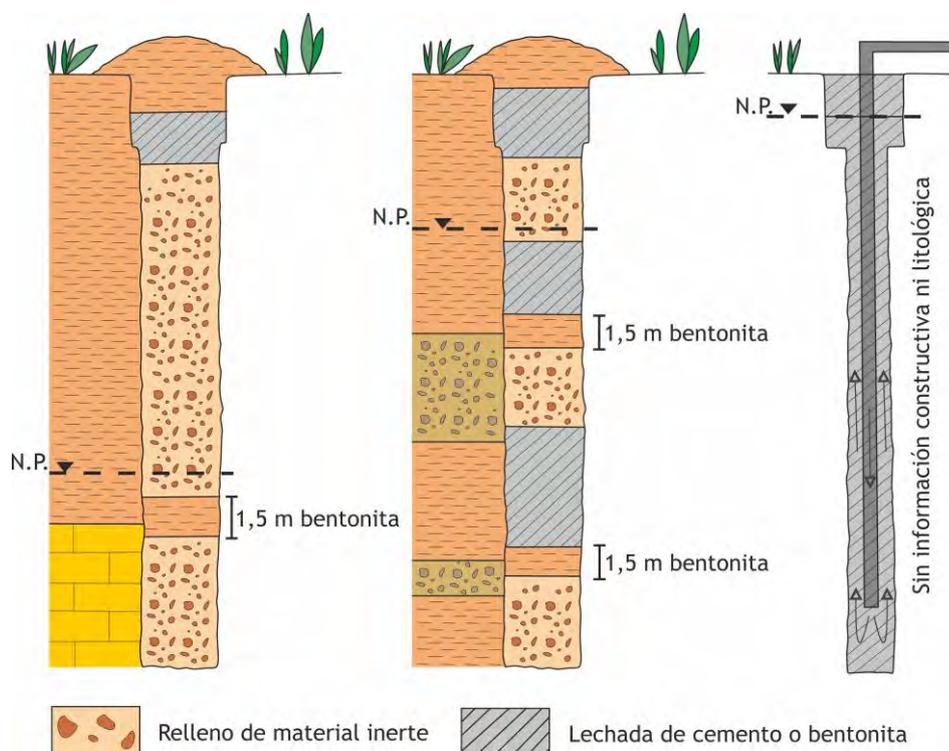


Figura 7. Alternativas de sellado de un sondeo: a) acuífero único; b) acuífero multicapa; c) acuífero sin información (modificado de Guía de Buenas Prácticas para el diseño, construcción, sellado y clausura de pozos de captación de aguas subterráneas, AIH-GE, 2022)

Parada 5. Las mineralizaciones en el entorno de Aigües

La denominación de este relieve como Cabeçó d'Or, o Cabezón del Oro en su forma castellana, ha estado asociada a creencias y leyendas populares que lo relacionaban con la presencia de oro. Sin embargo, parece que jamás se ha encontrado oro en el Cabeçó d'Or, a pesar de las numerosas excavaciones y minas que existen en esta sierra. Por ello, es de suponer, tal y como expone el filólogo Román del Cerro, que el topónimo d'Or es transformación del vocablo ibérico "Ur" que significaba agua, manantial, y que con el tiempo derivó hasta "Or". Esto induce a pensar que el nombre de este relieve era "Cabezón del Agua", lo cual parece plausible teniendo en cuenta la riqueza de manantiales de aguas termales que se situaban en el entorno de Aigües.

No obstante, a pesar de esa carencia de oro, la sierra del Cabeçó d'Or presenta numerosos vestigios mineros. Uno de los lugares donde tuvo lugar esta actividad de forma más intensa es en el entorno del balneario. A lo largo de las laderas de la Penya Roja y Racó Ample todavía se pueden reconocer numerosas escombreras de tonos rojos y ocre. Estas escombreras están asociadas a pequeñas excavaciones realizadas con el propósito de extraer las mineralizaciones de hierro que se encontraban en la franja más superficial de la roca (Foto 5). Aprovechaban las cavidades e irregularidades desarrolladas en las calizas mesozoicas de un antiguo karst (paleokarst) (Figura 8).

Los minerales extraídos fueron fundamentalmente óxidos e hidróxidos de hierro, con una ley muy pobre y, por tanto, con un escaso interés económico. El periodo de mayor actividad minera en este sector tuvo lugar entre finales del siglo XIX y principios del XX.



Foto 5. Detalle de una antigua excavación para la extracción de minerales en la Penya Roja.

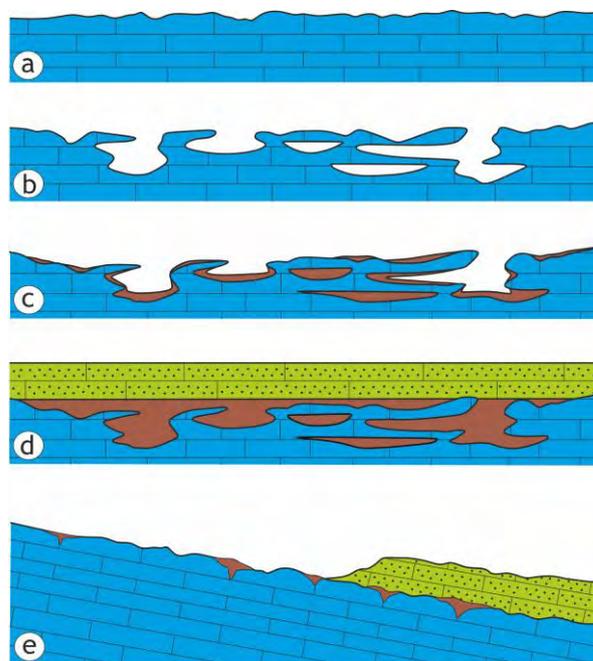


Figura 8. Esquema de la formación de las mineralizaciones en la Penya Roja. a) Descenso del nivel del mar, exposición de la roca e inicio de la karstificación; b) desarrollo de la karstificación; c) colmatación de la karstificación con sedimentos y minerales; d) ascenso del nivel del mar y reinicio de la sedimentación; e) situación actual.

Además de las mineralizaciones ferruginosas, como goethita y limonita, en las minas de este paraje y en otros lugares del Cabeçó d'Or, también se han encontrado otros minerales como la calcita, fluorita, azufre, pirita, estroncianita o celestina.

Parada 6. El sondeo Cabezón un punto de la red de control hidrológico

El sondeo Cabezón, también denominado Racó Ample, fue construido en 1993 con el objeto de disponer de un segundo punto de bombeo destinado al abastecimiento de la localidad de Aigües. Mediante una electrobomba sumergida a 430 m de profundidad, el agua del acuífero es impulsada a través de una tubería hasta las instalaciones de la potabilizadora de Aigües.

Esta captación constituye uno de los puntos de control hidrogeológico del acuífero del Cabeçó d'Or. Además, está integrada en el Sistema de Información Hidrológica que la Diputación Provincial de Alicante tiene implementado en la provincia. Este sistema está formado por una red de puntos de adquisición de datos de carácter hidrológico, meteorológico, hidrogeológico, así como de diferentes infraestructuras hidráulicas (depósitos, tuberías, etc.).

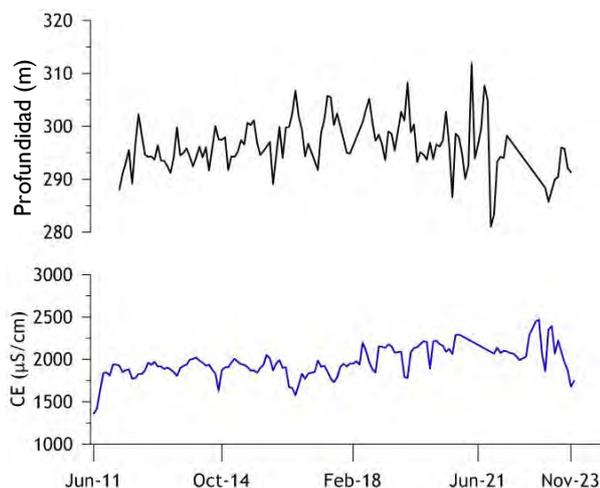


Figura 9. Registro del nivel piezométrico y de la conductividad eléctrica del agua en el sondeo Cabezón durante el periodo 2011-2023.

En el caso concreto del sondeo Cabezón, además de medir el caudal de bombeo, se registra el nivel piezométrico y la conductividad eléctrica del agua (Figura 9). También en este punto se dispone de un pluviómetro que registra la precipitación y un termómetro

que mide la temperatura ambiental. Toda la información hidrogeológica y meteorológica que se va registrando es transmitida en tiempo real a las instalaciones de Ciclo Hídrico de la Diputación, en donde se almacena en una base de datos para su posterior análisis que permita disponer de un conocimiento lo más preciso posible del comportamiento del acuífero. La figura 9 muestra la evolución del nivel en este punto durante los últimos 12 años.

Parada 7. El abastecimiento de Aigües

A pesar de que el agua del Cabeçó d'Or supera los límites de algunos de los parámetros químicos que marca la normativa actual (sulfatos y magnesio), esta se utiliza para el abastecimiento de la localidad de Aigües, a la que se suministra con baja mineralización (conductividad eléctrica CE < 300 µS/cm). Ello es posible gracias a la potabilización del agua realizada mediante un proceso de ósmosis inversa.

El agua captada desde el acuífero (CE en torno a 2000 µS/cm) se bombea a un depósito de almacenamiento. Desde este depósito pasa a la planta de tratamiento, donde se le retiran las sales y se adecúa para consumo humano. El agua, ya potabilizada, se almacena en otro depósito, desde donde pasa a la red de abastecimiento a la población (Figura 10).

La potabilización del agua se realiza mediante la técnica de ósmosis inversa. Esta metodología se inicia con una etapa de pretratamiento en la que se realiza una doble filtración para evitar la colmatación y obturación de las membranas de ósmosis. Esta filtración física se realiza en primer lugar con arena silíceo y posteriormente con unos microfiltros denominados filtros bolsa.

Una vez filtrada, se le adiciona un producto antiincrustante para evitar la precipitación durante el proceso de ósmosis inversa. Este se realiza mediante bombas de alta presión y dos

etapas de ósmosis inversa. El agua pasa por unas membranas semipermeables de poliamida, capaces de retener las sales, obteniendo un agua de baja mineralización.

Finalmente, el agua tratada se mezcla con una pequeña cantidad de agua bruta del acuífero hasta conseguir la mineralización adecuada para consumo humano. La potabilización definitiva se consigue añadiendo un desinfectante, como en cualquier agua para abastecimiento urbano, que en este caso es hipoclorito sódico.

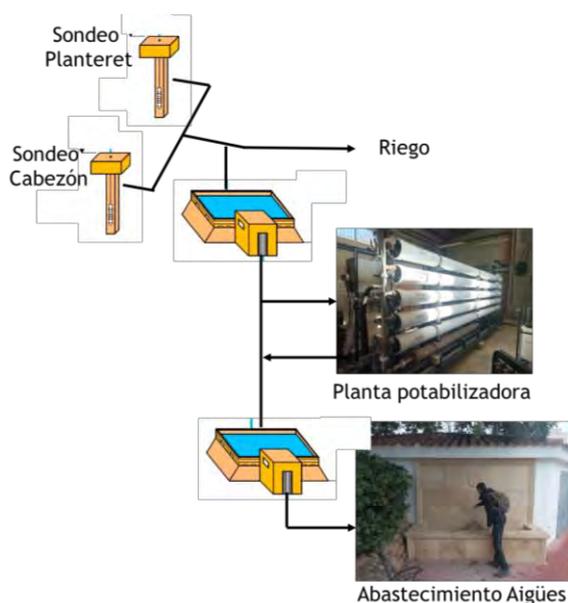


Figura 10. Esquema del aprovechamiento del agua del Cabeçó d'Or en el municipio de Aigües.

Parada 8. La Font del Gasparet

La Font del Gasparet es un pequeño manantial que se encuentra dentro de la localidad de Aigües (Foto 6). Esta surgencia natural drena los terrenos detríticos recientes (gravas, arenas y limos) que desde el pie de Peña Roja discurren hacia Aigües. El agua de lluvia infiltrada en estos materiales, dispuestos sobre las formaciones cretácicas y terciarias impermeables, satura el terreno y circula en sentido SE.



Foto 6. Detalle de la Font de Gasparet, situada en el casco urbano de Aigües. En la actualidad no mana agua debido a la intensa sequía que padece la región.

La Font del Gasparet se puede considerar un manantial de tipo drenante o colgado, ya que la cota de descarga está por debajo del nivel medio de saturación del acuífero, es decir, actúa a modo de desagüe de fondo (Figura 11). Se trata de un pequeño acuífero que estaría situado sobre el acuífero del Cabeçó d'Or y parcialmente conectado al mismo.

Como la circulación del agua subterránea es muy lenta, la salida del agua por el manantial se mantiene continua con caudales inferiores a 0,5 L/s, aunque en momentos de sequía prolongada, como el actual, llega a secarse. Existen referencias que indican que este manantial llegó a tener caudales de hasta 5 L/s y cierta anomalía térmica, si bien, cuando el acuífero del Cabeçó d'Or entró en sobreexplotación se produjo una significativa pérdida de caudal y temperatura de sus aguas. Este hecho es el que permite inferir cierta conexión hidráulica entre el acuífero carbonatado del Cabeçó d'Or y el acuífero detrítico.

A pesar de la reducida entidad de los terrenos acuíferos y, por consiguiente, la escasa distancia de circulación subterránea, sus aguas son altamente mineralizadas (CE en torno a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La composición química es sulfatada cálcica, semejante a las aguas del Cabeçó d'Or, con contenidos de sulfatos por encima de 1,5 g/L.

PARA SABER MÁS

Todo indica que el origen de los sulfatos son de materiales evaporíticos del Triásico (facies Keuper). A pesar de que estos terrenos no afloran en el entorno de Aigües, ni del Cabeçó d'Or, sus características de plasticidad hacen que suelen estar asociadas a fracturas o fallas, por las que se inyectan. Las numerosas fallas existentes en el entorno de Aigües podrían explicar la presencia de estos terrenos triásicos en profundidad, de forma que el agua en contacto con estas rocas disolvería los yesos del Trías enriqueciéndose en sulfatos.

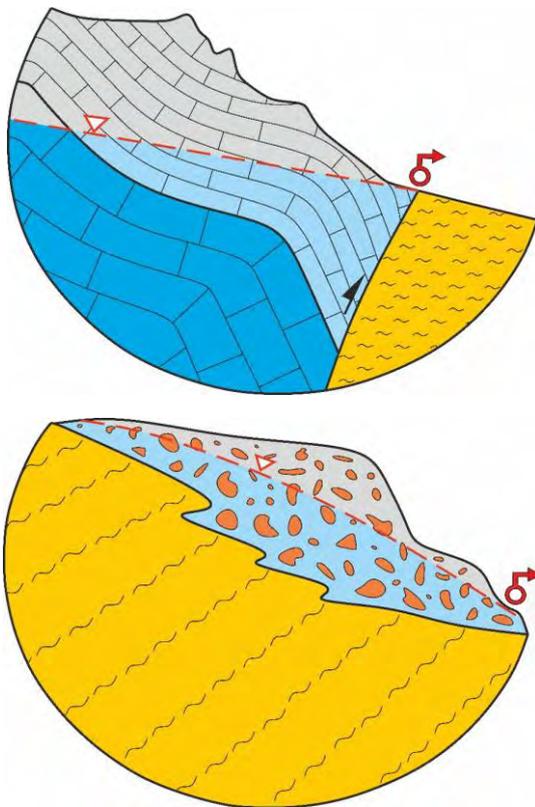


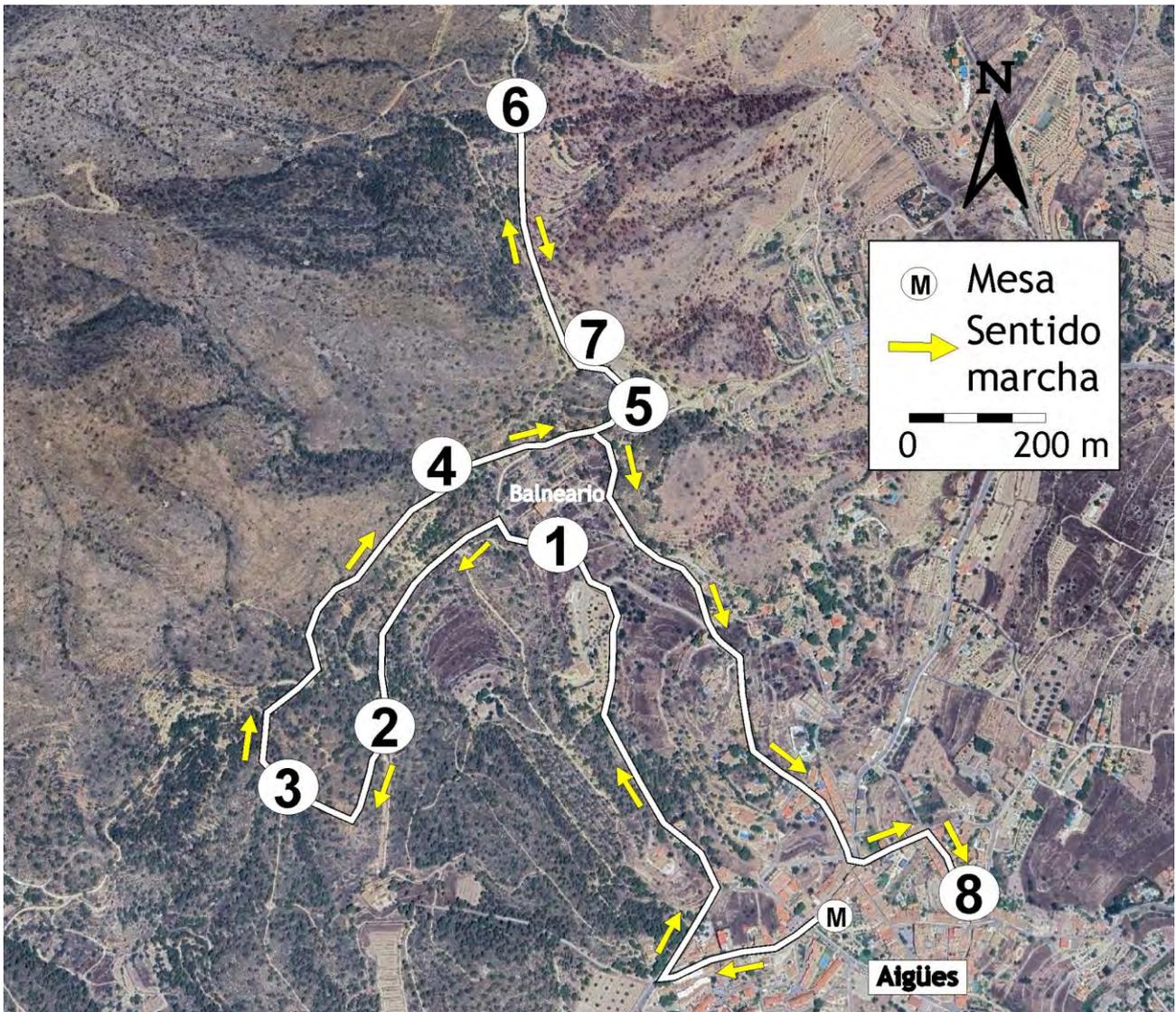
Figura 11. Tipos de manantiales en función de su situación. Bloque superior: manantial emergente, cuando se seca el acuífero dispone de reservas de agua. Bloque inferior manantial drenante o colgado, su agotamiento conlleva la desaturación del acuífero.

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

IGME-DPA (2015). *El potencial geotérmico de la provincia de Alicante*. Serv. Publ. Diputación de Alicante, 80 p.




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


DIPUTACIÓN DE ALICANTE
 CICLO HÍDRICO


Dpto. Agroquímica y Medio Ambiente
Miguel Hernández


AYUNTAMIENTO DE AIGÜES


HIDRAQUA


Universitat d'Alacant
 Universidad de Alicante
Vicerektorat de Cultura, Esports i Política Lingüística
Vicerrectorado de Cultura, Deportes y Política Lingüística


UNIVERSITAT D'ALACANT
Facultat de Ciències
Facultad de Ciencias


IACA
INSTITUTO UNIVERSITARIO DEL AGUA Y DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES


Cátedra del Agua
DIPUTACIÓN DE ALICANTE
UNIVERSIDAD DE ALICANTE


Interreg Europe

 Co-funded by the European Union
NBS4LOCAL





Asturias

23 de marzo de 2024 Hidrogeología del entorno de Peña Rueda: Manantial de Cortes

PUNTO DE ENCUENTRO:

Edificio Administrativo de Servicios Múltiples del Principado de Asturias (EASMU): c/Trece Rosas, 2

HORA DE SALIDA del AUTOBÚS:
9:45

HORA ESTIMADA DE LLEGADA:
18:00

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA
e-mail de contacto:
oviedo@igme.es

EXCURSIÓN GUIADA Y GRATUITA:

- máximo 22 plazas

RECORRIDO: Entorno del pueblo de Cortes (Quirós)

Se **RECOMIENDA** llevar:

- Ropa y calzado de senderismo
- Agua y comida

Peña Rueda

Información detallada y folleto de la excursión en:
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>

Manantial de Cortes

Organizan:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Hidrogeología del entorno de Peña Rueda: Manantial de Cortes



Peña Rueda



Manantial de Cortes

González Fernández, B.; Meléndez Asensio, M.; Jiménez Sánchez, M. (2024). *Hidrogeología del entorno de Peña Rueda: Manantial de Cortes*. Guía de Hidrogeodía 2024 Asturias. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español, Instituto Geológico y Minero de España – Unidad de Oviedo, Universidad de Oviedo (Escuela Politécnica de Mieres y Facultad de Geología). Oviedo, 12 pp.

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 humana), que se celebra con motivo del Día Mundial del Agua (22 de marzo). 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 a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia y guiadas por profesionales de la hidrogeología.

En Asturias, el **Hidrogeodía 2024** se celebrará en el pueblo de **Cortes**, concejo de **Quirós**, donde se visitarán dos manantiales, el de Cortes y el de Fuentes Calientes. De estos manantiales parte el Canal del Aramo que forma parte del abastecimiento a Oviedo y que en una edición anterior del **Hidrogeodía**, la del **2019**, fue visitado en su tramo más cercano a Oviedo, el que pasa por el concejo de Riosa desde los manantiales de Llamo y Code. Más información sobre el Canal del Aramo y sobre algunos conceptos geológicos e hidrogeológicos se pueden consultar en la guía de dicho año (<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2019/>).

Ambos manantiales se ubican al pie del extremo norte de la gran masa calcárea que forma el cordal de Peña Rueda, que con 2152 metros de altitud constituye una de las cumbres más emblemáticas del macizo de Ubiña (Figura 1).

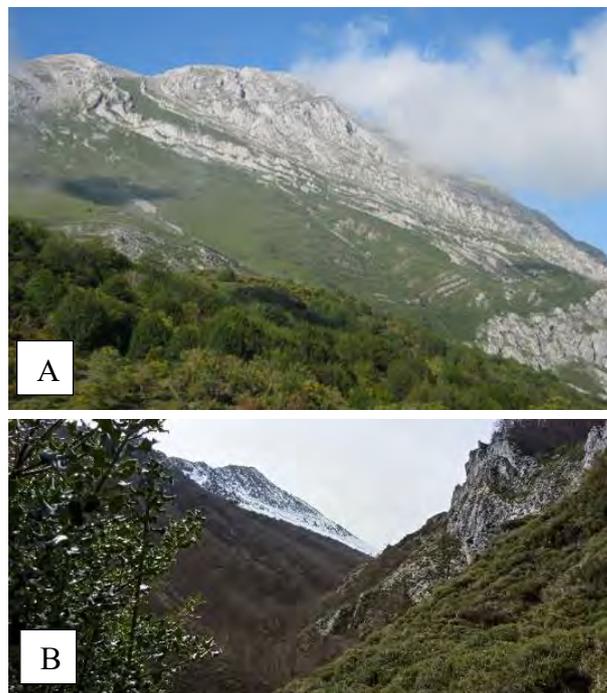


Figura 1: Vista de Peña Rueda. A) desde la majada de La Cardosina (suroeste). B) desde el valle del arroyo Buseca (norte)

ITINERARIO

El punto de partida del autobús está ubicado frente al Edificio Administrativo de Servicios Múltiples del Principado de Asturias (calle. Trece Rosas, 2). Desde aquí saldremos hacia el oeste, recorriendo unos 3,5 km por la carretera N-634 hasta Piedramuelle donde se toma la autopista A-63 hasta Trubia. En esta localidad se abandona la autopista para tomar dirección sur por la AS-228 hasta Caranga de Abajo desde donde continuamos en sentido sur y sureste por la AS-229 hasta llegar a Bárzana, capital del concejo de Quirós. En Bárzana se continúa hacia el sureste por la AS-230 hasta Santa Marina, pueblo ubicado en un cruce de carreteras en el que tomaremos la comarcal QU-4 que nos llevará hasta el destino final, el pueblo de Cortes (Figura 2).

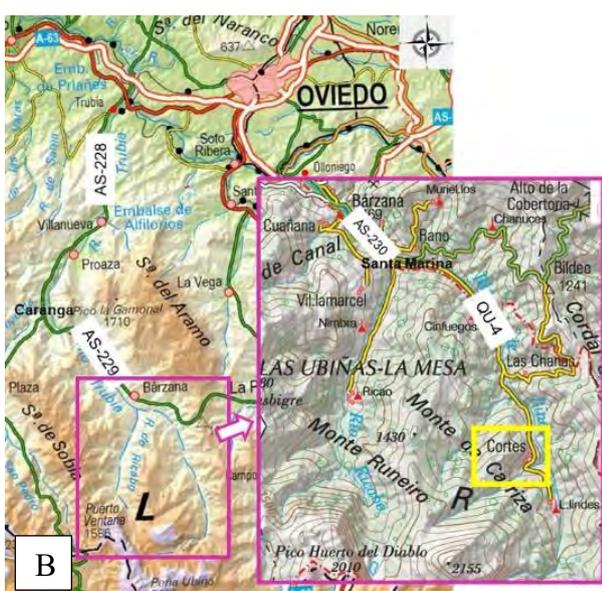


Figura 2: Situación geográfica de la zona. A) Límites del Parque Natural de Las Ubiñas – La Mesa (en color naranja). El punto rojo indica la ubicación del pueblo de Cortes. B) Detalle del itinerario hasta el pueblo de Cortes.

El manantial de Fuentes Calientes se localiza en el pueblo de Fresnedo de Cortes y el de Cortes a la salida del pueblo del mismo nombre en dirección sur.

2. Pueblo de Cortes. Pequeño pueblo de montaña situado a 840 m s.n.m. sobre el valle del río Lindes, en la parroquia de Santo Tomás de Lindes en el concejo de Quirós. Cortes y todo su entorno se encuentran dentro de los límites del Parque Natural de Las Ubiñas – La Mesa que también es Reserva de la Biosfera (ver Figura 2).

Elementos destacables de esta aldea, además de su ubicación en un entorno natural privilegiado, son la Casa Natal y la Iglesia Santuario de San Melchor, el único santo asturiano, así como la Escuela y el Lavadero. También cuenta con un área recreativa con vistas a la Sierra del Aramo.

CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

¿QUÉ VEREMOS?

I. Manantiales de Fuentes Calientes y Cortes. Son dos drenajes del acuífero que forma la gran masa de caliza de Peña Rueda. Se trata de surgencias kársticas de las que parte el Canal del Aramo, infraestructura que transporta agua desde estos manantiales hasta Oviedo, incorporando a lo largo de sus 63 km de trayecto las aguas de otros manantiales, como los de Llamo y Code, de la Sierra del Aramo.

Las rocas

Una primera caracterización geológica de la zona que se visitará hace referencia a que está comprendida dentro de la denominada Región de Pliegues y Mantos (Julivert, 1967) y más concretamente, en el extremo sur de la Unidad del Aramo y en su límite occidental con la Unidad de la Sobia (Pérez Estaún et al., 1988) (Figura 3).

Las rocas que se pueden observar en este sector del parque tienen edades comprendidas entre 318 y 307 millones de años, correspondientes al periodo

Carbonífero. Se trata de calizas, pizarras, limolitas y areniscas con capas de carbón agrupadas en tres formaciones, Barcaliente, Valdeteja y San Emiliano. Las dos primeras, que en esta zona son difícilmente diferenciables, también son conocidas con el nombre genérico de Caliza de Montaña y están compuestas por calizas de tonalidades grises oscuras a grises claras y pueden alcanzar espesores del orden de 700 m; la Formación

San Emiliano, cuyo espesor puede llegar a los 1800 m, está subdividida en dos miembros, el inferior o más antiguo es el Miembro La Majúa constituido por pizarras, limolitas y areniscas con intercalaciones de calizas fosilíferas, y el superior, más moderno, es el Miembro Candemuela que consta de pizarras, limolitas y areniscas con abundantes intercalaciones de capas de carbón.

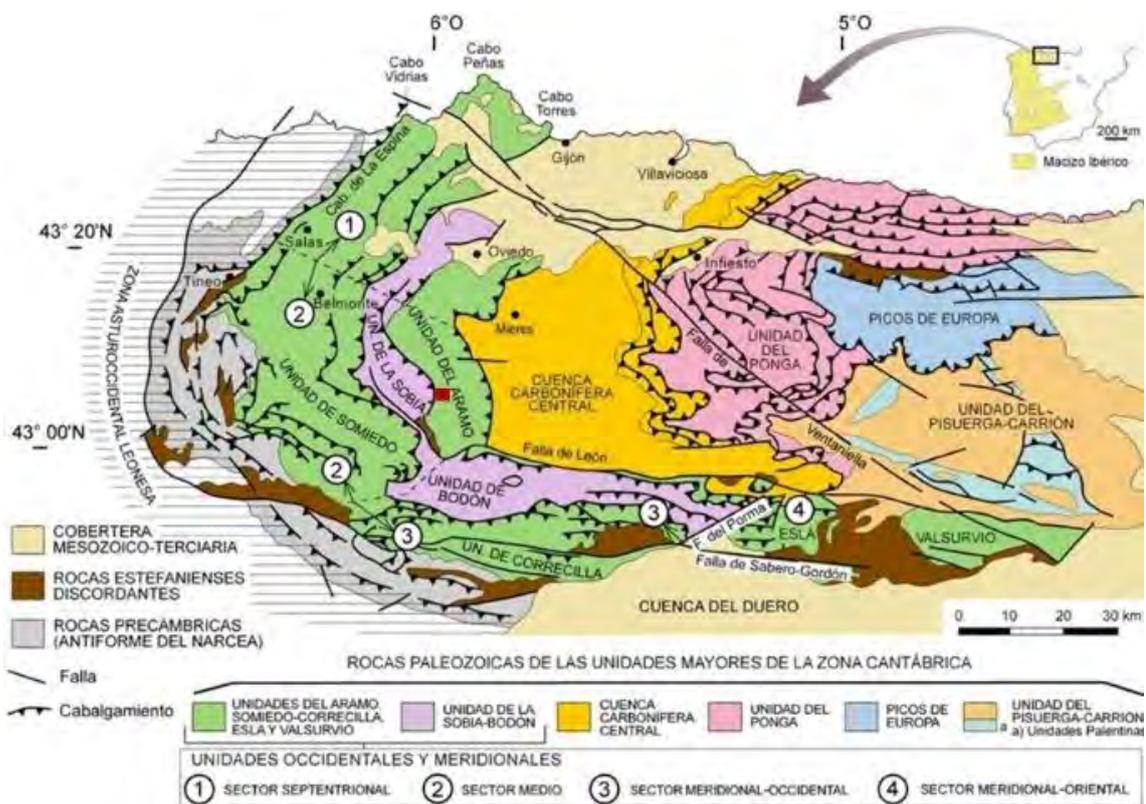


Figura 3: Unidades en que está dividida la Zona Cantábrica. El recuadro rojo muestra la situación de la zona visitada (Bastida, F. (coord.), 2004)

Estas rocas están dispuestas en estratos con fuertes inclinaciones, plegadas y fracturadas (Figura 4) como consecuencia de dos acontecimientos geológicos de gran relevancia: las orogénias Hercínicas o Varisca, y la Alpina. La primera fue la responsable de la deformación más intensa de las rocas mientras

que la segunda dio lugar al relieve actual, que fue modelado posteriormente por procesos erosivos más recientes.

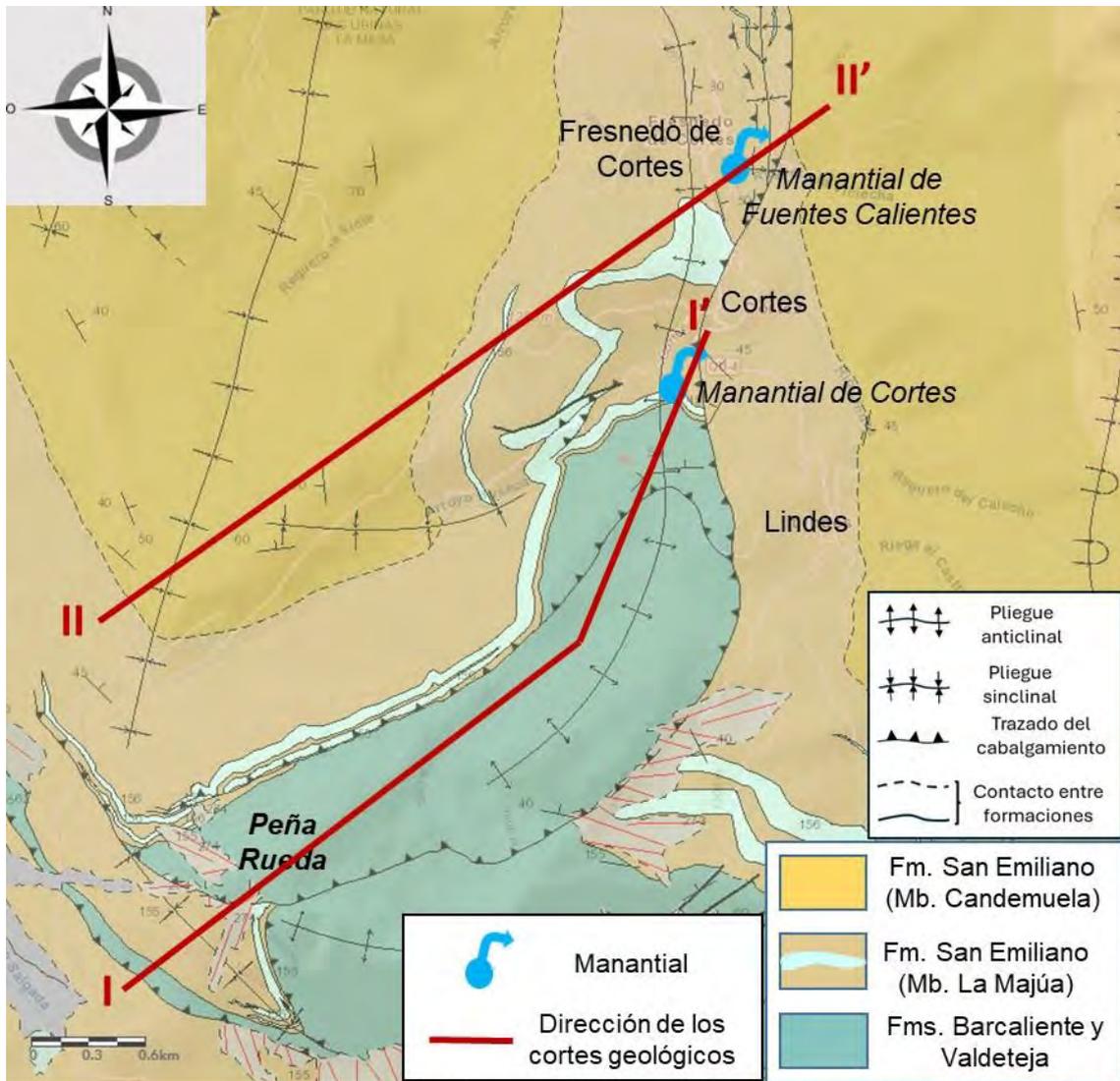


Figura 4: Mapa Geológico de la zona
<https://ligme.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=44df600f5c6241b59edb596f54388ae4>

Las rocas y el paisaje

El valle del río Lindes (donde se sitúa el manantial de Fuentes Calientes) y el de su afluente el arroyo Buseca (donde se sitúa el manantial de Cortes) presentan un modelado de tipo fluvial, con laderas que llegan a alcanzar desniveles de más de 500 m y pendientes de valores variables en función del tipo de roca del sustrato. Así, donde afloran las calizas (rocas muy resistentes) las pendientes llegan a ser casi verticales; por ejemplo en el Pico El Cangón, de 1222 m de altitud, en la ladera izquierda del Arroyo Buseca, al oeste de Cortes. Sin embargo, en las zonas donde el sustrato rocoso está formado por las lutitas, rocas de menor resistencia a la erosión, las pendientes disminuyen, llegando a alcanzar valores de unos 15° o menos. Ambos cursos fluviales presentan un trazado poco sinuoso, como corresponde a las zonas de cabecera, aunque en el caso del río Lindes se ha llegado a desarrollar una pequeña llanura aluvial (zona de vega) por la que actualmente discurre el río. Por tanto, la hidrogeología de la zona y las características geomorfológicas del paisaje están muy relacionadas: las calizas, los principales acuíferos, generan crestones y escarpes, mientras que las lutitas, rocas prácticamente impermeables, dan lugar a pendientes más suaves uniformes. Este contraste de comportamiento es uno de los aspectos más llamativos del paisaje de la zona.

Además de la acción fluvial del río Lindes y del arroyo Busaca, en la zona ha sido importante también la actuación de procesos de gravedad. En los escarpes calcáreos se generan movimientos del terreno como desprendimientos rocosos y avalanchas, mientras que, en las laderas de pendientes más suaves, asociadas a las formaciones detríticas (limolitas, areniscas y pizarras), se producen

fenómenos de reptación del suelo y diferentes tipos de argayos. Algunos de estos fenómenos afectan a las zonas de pradería y a algunas estructuras como muros.

Comportamiento hidrogeológico de las rocas

Desde el punto de vista hidrogeológico, de las rocas descritas anteriormente, las de mayor interés son las que pertenecen a las formaciones Barcaliente y Valdeteja (Figura 5) pues constituyen un acuífero kárstico de gran importancia en Asturias, el acuífero de la Caliza de Montaña.

La Formación San Emiliano, al presentar una diversidad de litologías que a su vez presentan diferentes características hidrogeológicas, muestra un comportamiento hidrogeológico heterogéneo. Así, las pizarras son materiales prácticamente impermeables (acuícludos) por lo que no aportan agua, las limolitas pueden proporcionar pequeños caudales (acuitardos), mientras que las capas de calizas y areniscas que aparecen intercaladas son las que pueden constituir acuíferos colgados y de poco espesor.

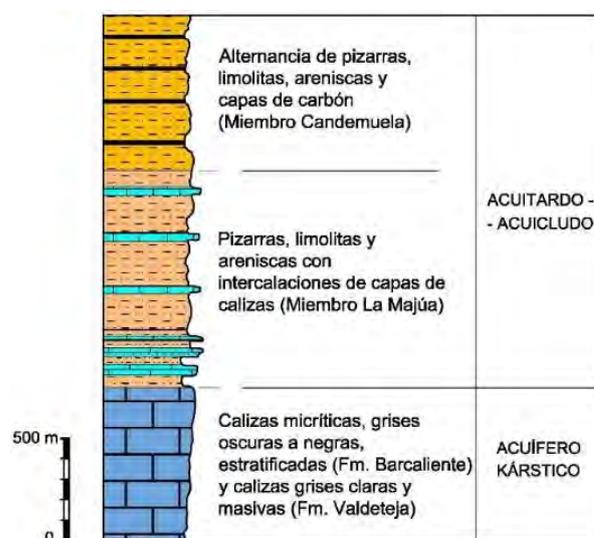


Figura 5: Columna hidroestratigráfica de la zona

El funcionamiento del acuífero de la Caliza de Montaña se puede sintetizar como sigue.

La principal fuente de recarga del acuífero calcáreo es el agua de las precipitaciones. Después de infiltrarse en el terreno circula a través de sus poros, de las fracturas o bien de los espacios que se han formado por la disolución de la roca (conductos, galerías,

cavidades y otros huecos kársticos). La descarga se produce a través de manantiales o por drenaje directo a los ríos. La surgencia de los manantiales está relacionada con la estructura o disposición que presentan las rocas, siendo frecuente que aparezcan en la cota más baja del contacto entre rocas permeables e impermeables, como es el caso del **manantial de Cortes** (Figura 6).

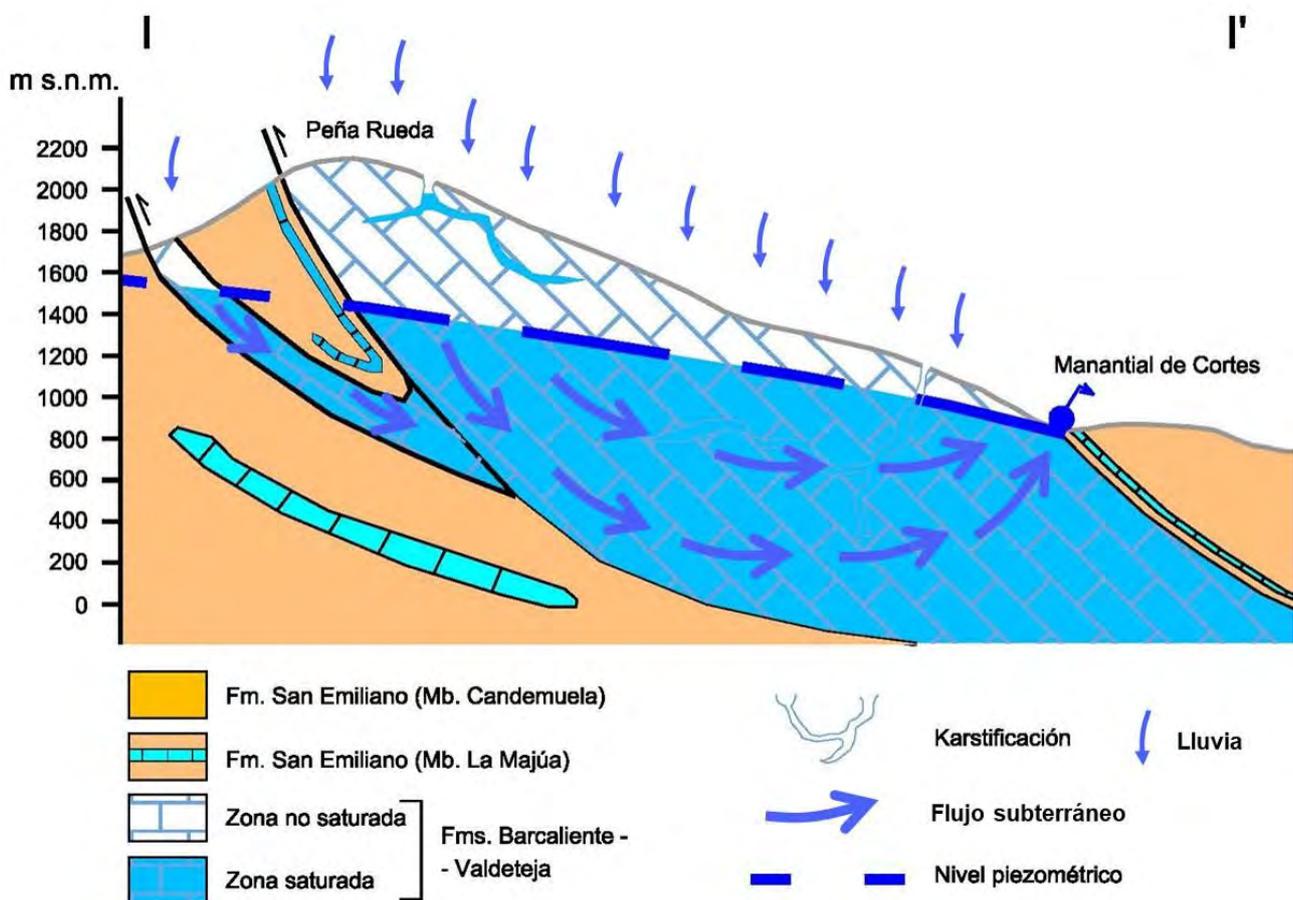


Figura 6: Esquema hidrogeológico explicativo del funcionamiento del manantial de Cortes.

Este manantial drena un caudal que varía mucho en función de la época del año, de tal forma que en estiaje puede llegar a secarse, y en aguas altas llega a manar del orden de los 1000 l/s. En la figura 7 se puede ver el manantial en diferentes momentos.

Cuando la surgencia tiene lugar a través de fracturas el punto de salida del manantial puede estar situado sobre materiales que no corresponden al acuífero del que proceden las aguas, e incluso sobre materiales de muy baja permeabilidad. Este es el caso del **manantial de Fuentes Calientes**.

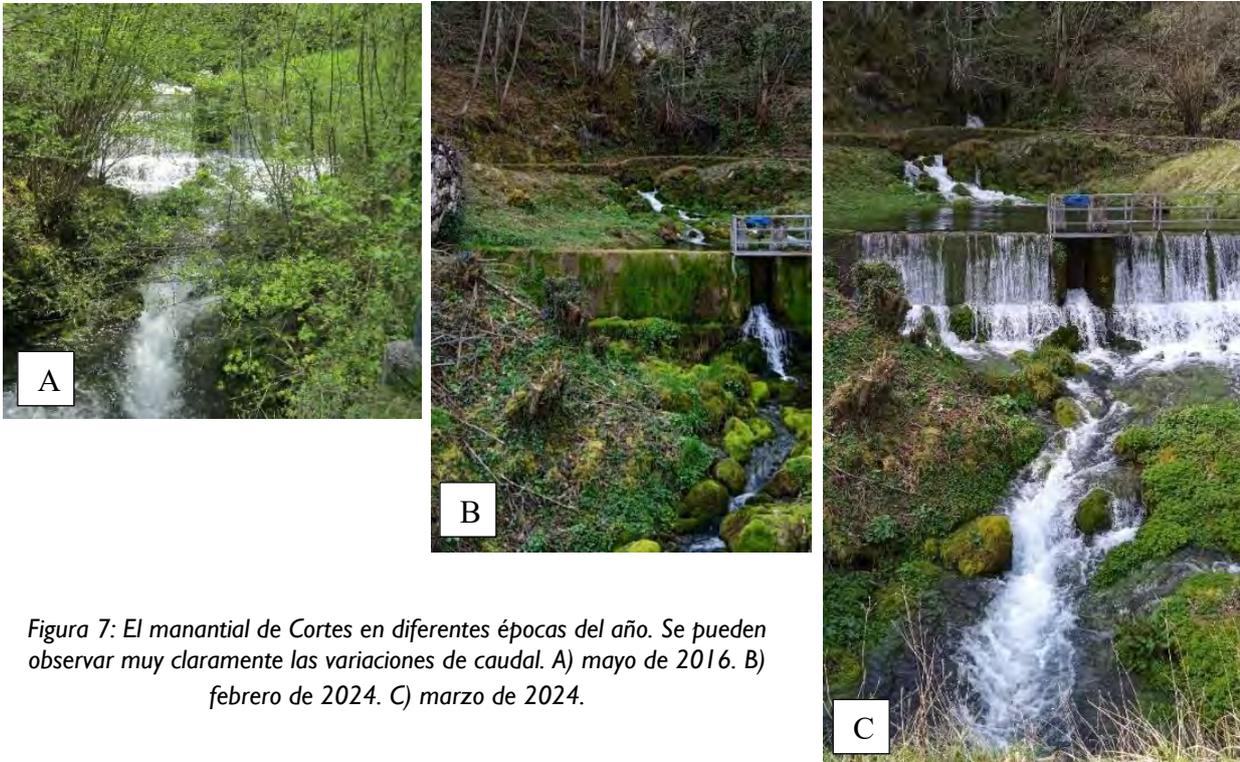


Figura 7: El manantial de Cortes en diferentes épocas del año. Se pueden observar muy claramente las variaciones de caudal. A) mayo de 2016. B) febrero de 2024. C) marzo de 2024.

Como se observa en el mapa de la figura 4, este manantial se localiza sobre la Formación San Emiliano que, si bien contiene algunos niveles acuíferos (capas de areniscas y calizas intercaladas entre las pizarras), éstos no pueden aportar el caudal que mana en este punto, que es muy similar al de Cortes, con la particularidad de que Fuentes Calientes nunca se seca. Entonces ¿por qué surge ahí el manantial con un caudal tan elevado? La explicación está en la presencia de una estructura tectónica denominada cabalgamiento, que 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 8). Al tratarse de una fractura que afecta a las rocas situadas a

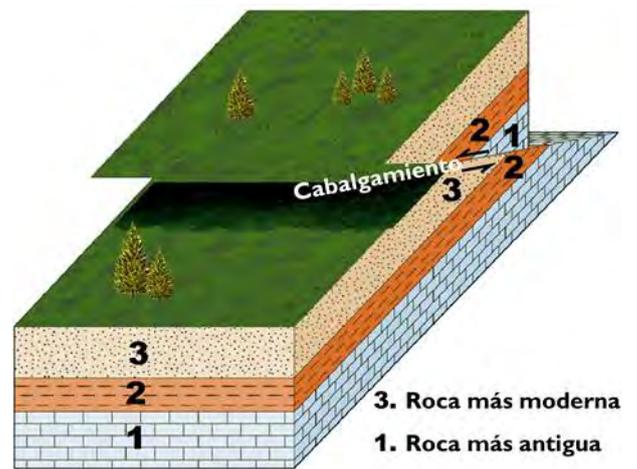


Figura 8: Bloque diagrama explicativo de un cabalgamiento (modificado de Monroe et al., 2006)

grandes profundidades en el subsuelo, el cabalgamiento puede actuar de conducto preferente para el agua almacenada en los acuíferos confinados bajo materiales de baja permeabilidad y que, por tanto, no afloran en superficie. Esto es lo que sucede bajo el

manantial de Fuentes Calientes. El agua de lluvia recarga al acuífero en zonas más alejadas, en las que la caliza aflora en superficie, esta agua se almacena en las zonas profundas y sale a superficie a través del cabalgamiento que

afecta a las formaciones rocosas de la zona (ver figura 5), tal como se indica en la figura 9.

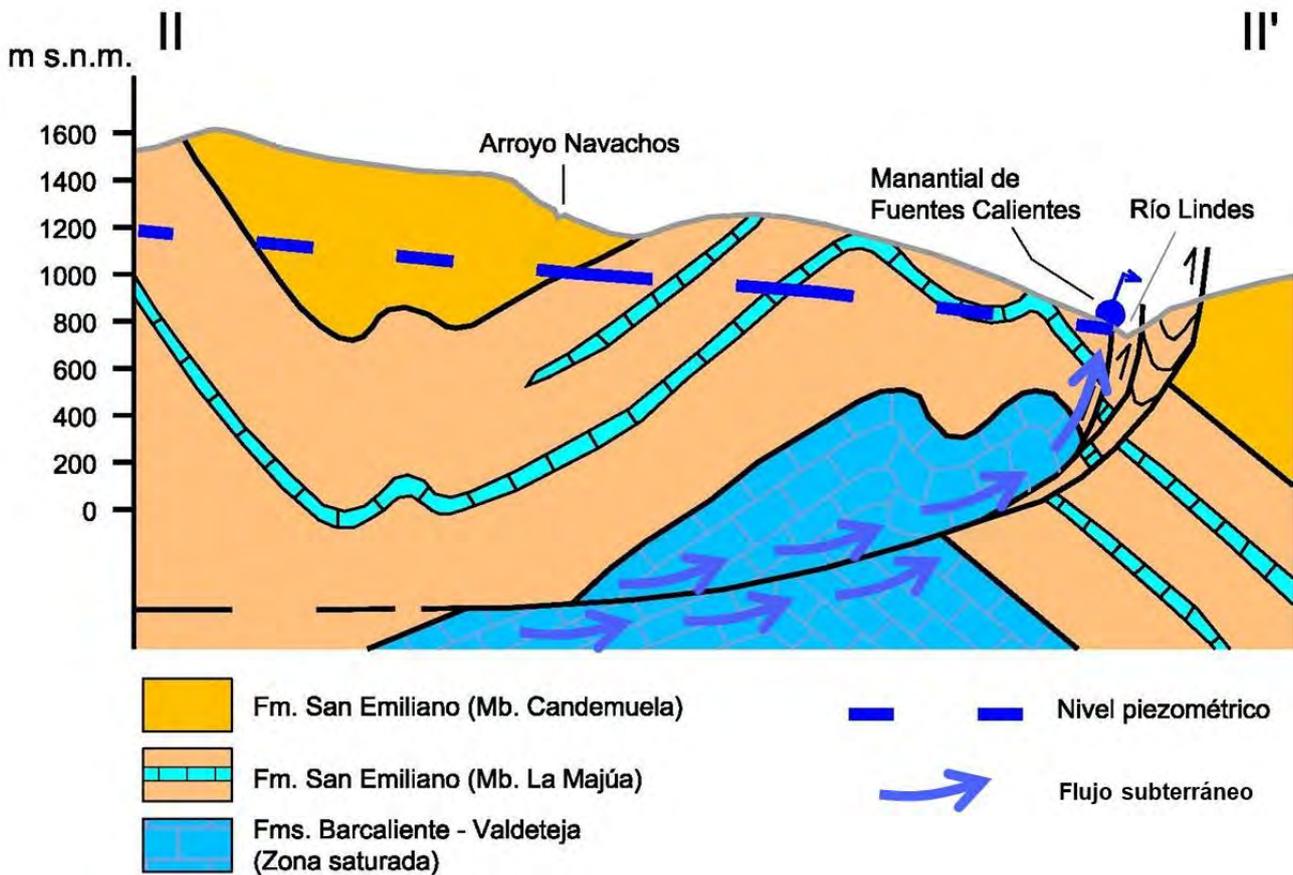


Figura 9: Esquema hidrogeológico explicativo del manantial de Fuentes Calientes.

No obstante, aunque la mayor aportación al caudal procede de la caliza situada en profundidad, el manantial también es alimentado por las calizas del miembro La Majúa de la Formación San Emiliano. Estas calizas se observan en el entorno del manantial

en forma de grandes bloques que son consecuencia de un gran desprendimiento rocoso, posiblemente asociado al cabalgamiento. En la figura 10 se pueden ver estos grandes bloques desprendidos junto a la caseta de captación del manantial.



Figura 10: Caseta de captación del manantial de Fuentes Calientes. A la derecha se observan los bloques deslizados de calizas de la Fm. San Emiliano.

Como se ha comentado previamente, el manantial de Fuentes Calientes drena una caudal similar al de Cortes, en periodos de aguas altas puede llegar a los 1000 l/s y en estiaje del orden de los 30 l/s. Este caudal es captado en su mayor parte, dejando un caudal

mínimo que es desviado a un abrevadero. En la figura 11 se puede ver el interior de la caseta de captación, así como el abrevadero que recoge el caudal sobrante.



Figura 11: Manantial de Fuentes Calientes. A) Interior de la caseta de captación. B) Abrevadero que recoge el caudal sobrante.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ASTURIAS

La ruta transcurre por el entorno del pueblo de Cortes perteneciente a un espacio natural en el que deben respetarse ciertas normas como no arrojar residuos, no hacer excesivo ruido, ni realizar cualquier actividad perjudicial para la flora o la fauna. Además, se deberá respetar a los habitantes de la zona, sus propiedades y sus costumbres.

La organización no se hace responsable de las posibles pérdidas materiales, desperfectos o perjuicios que ocasionen o sufran las personas asistentes a la jornada.

La asistencia al HIDROGEODÍA es gratuita, se dispone de un autobús para los desplazamientos. Es necesaria una inscripción previa enviando un correo electrónico a oviedo@igme.es antes del 21 de marzo de 2024.

MONITORAS/ES DEL HIDROGEODÍA ASTURIAS 2024

NEREA DÍEZ VÁZQUEZ

Licenciada en Geología.

TOMÁS ESOLÁ MUÑIZ

Ingeniero de Minas

BEATRIZ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ

Doctora en Geología. Hidrogeóloga.

Profesora e Investigadora de la Universidad de Oviedo.

MONTSERRAT JIMÉNEZ SÁNCHEZ

Doctora en Geología.

Catedrática de la Universidad de Oviedo.

MÓNICA LEONOR MELÉNDEZ ASENSIO

Licenciada en Geología. Hidrogeóloga.

Jefa de la Unidad de Oviedo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

PARA SABER MÁS

Guía HIDROGEODÍA ASTURIAS 2019:
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2019/>

Bastida, F. (coord.). 2004. La Zona Cantábrica.
En: Vera, J. A. (Ed.): *Geología de España*.
SGE. MEC. IGME, 2: 25-26.

Julivert, M. 1967. *La ventana del río Monasterio y la terminación meridional del Manto del Ponga*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 1: 59 – 76.

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

Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez-Marrón, J., Marcos, A. y Pulgar, J. A. 1988. *A thin-skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: the Cantabrian Zone*. *Tectonics*, 7: 517 – 538.



Ávila

HIDROGEODÍA

2024

23

marzo sábado

LA RIBERA DEL ADAJA

ARÉVALO | ÁVILA

La importancia de conservar los ecosistemas

10:30 h. ACTIVIDAD

14:00 h. REGRESO

Plazas limitadas

Actividad Gratuita
INSCRIPCIÓN
PREVIA EN →



9:00 h. Salida desde Fonseca Salamanca

Punto de encuentro AUTOBUS



III CONCURSO DE FOTOGRAFÍA
HIDROGEOLÓGICA
AIH-HIDROGEODÍA 2024

PARTICIPA



22 DE MARZO DÍA MUNDIAL DEL AGUA
CONCURSO AGUA SUBTERRÁNEA 2024

¿Porqué las aguas subterráneas son tan importantes?

Asociación Internacional de Hidrogeólogos - GRUPO ESPAÑOL

PARTICIPA



Asociación Internacional de Hidrogeólogos

Grupo Español

45



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

www.lifeduero.eu



LIFE 16 IP/E/ES/019
ESTE PROYECTO ESTÁ
FINANCIADO POR EL PROGRAMA
LIFE DE LA UNIÓN EUROPEA

LIFE-IP
DUERO





Barcelona

HIDROGEODÍA 2024



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE BARCELONA: USOS HISTÓRICOS HASTA LA TRANSFORMACIÓN DE LOS EJES Y ESPACIOS VERDES DE LA CIUDAD

23 de Marzo de 2024

EXCURSIÓN GRATUITA

Visita guiada con 3 paradas:

- Antiga Presó Model
- C/ Consell de Cent
- Antiga Fàbrica Can Bailló

HORA DE ENCUENTRO:

9:00 h; Sábado 23 de Marzo

Lugar:

Antiga Presó Model, C/ Entença

Inscripciones:

mt.hidrogeologia.modelitzacio@ub.edu

ORGANIZA:

MÁSTER EN HIDROGEOLOGÍA Y MODELACIÓN



COLABORAN:



Meta Engineering



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua

¿Hay agua subterránea cerca de ti?

Concurso del Agua Subterránea, 2024



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

¡PARTICIPA!

HIDROGEODÍA
2024



III Concurso de Fotografía
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024





Burgos

SÁBADO 23 DE MARZO

Ruta Hidrogeológica Ambiental

Aguas subterráneas, ecología y medio ambiente en
los ACUÍFEROS EN LA PROVINCIA DE BURGOS

“CUEVA DE JUARROS, JARAMILLO DE LA FUENTE, FUENTENEGRA,
FUENSANZA, POZAIRÓN, FUENTEAZUL, LOS BORBOLLONES”

ACTIVIDAD GRATUITA
(AUTOBÚS INCLUIDO)

SALIDA 8:00 H
REGRESO 20:00 H



INSCRIPCIÓN
ACTIVIDAD



III CONCURSO DE FOTOGRAFÍA
HIDROGEOLÓGICA AIH-
HIDROGEODÍA 2024

PARTICIPA



22 DE MARZO DÍA MUNDIAL DEL AGUA
CONCURSO AGUA SUBTERRÁNEA 2024

¿Porqué las aguas subterráneas son tan importantes?

Asociación Internacional de Hidrogeólogos

GRUPO ESPAÑOL

PARTICIPA

HIDROGEODÍA

2024



Cáceres

¡50 Plazas!
Imprescindible reserva y confirmación:
agextremadura@gmail.com

Los Aljibes, reservas de agua del Cáceres medieval (Recorrido guiado por el casco antiguo de Cáceres)

Sábado, 23 de marzo de 2024
Encuentro: Torre de Buiaco
Horario: de 10,00h a 13,00h.

Información:
www.iah-ge.org/hidrogeodia-2024
www.agex.org

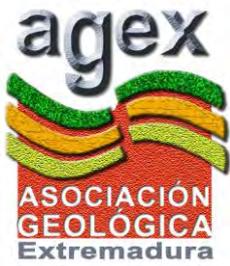
COLABORAN



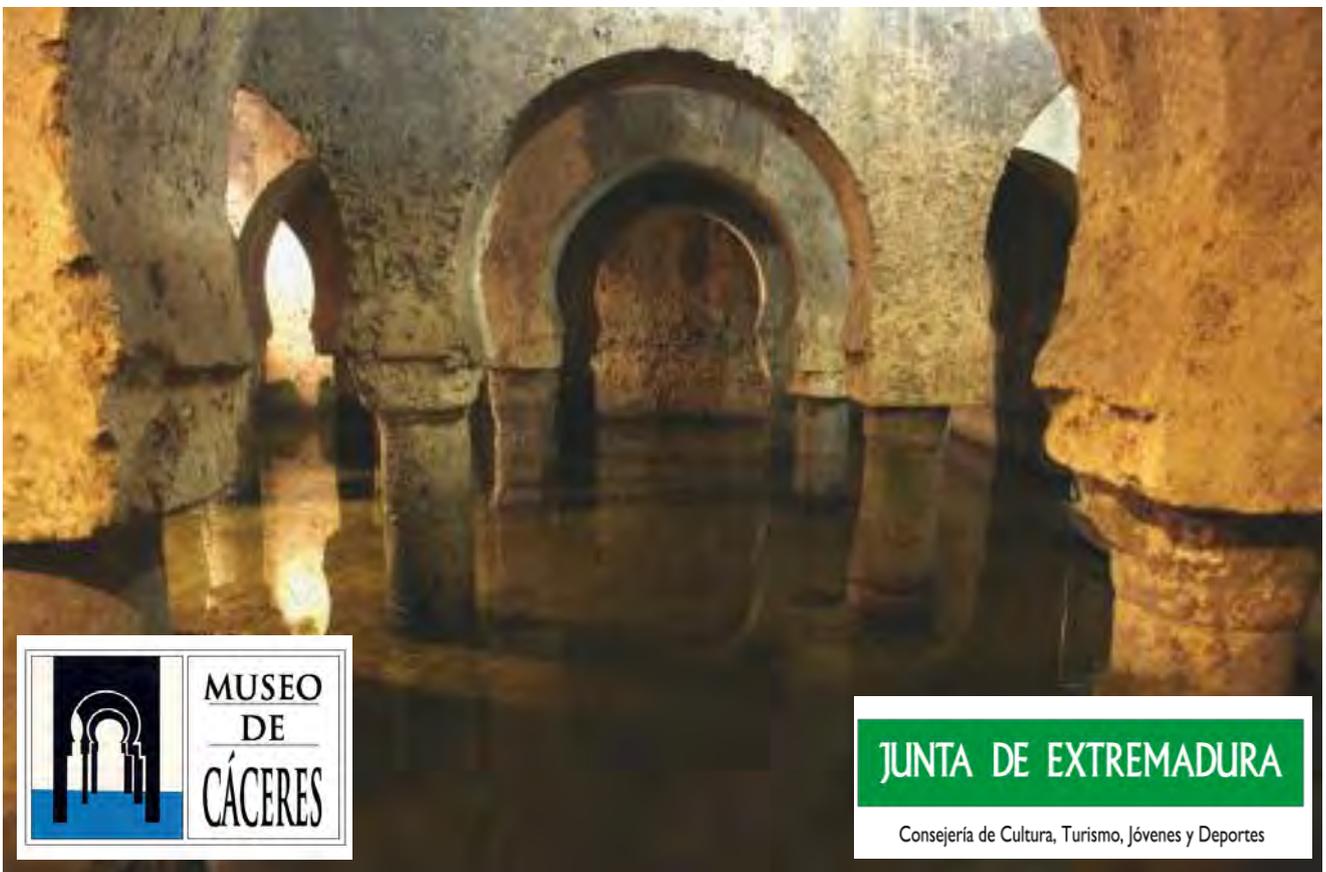
DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024





Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024



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

¡PARTICIPA!

Autores:

E. Rebollada Casado, J. J. Tejado Ramos, F. F. de la Llave, S. Martín Sánchez, A. Trinidad Núñez y F. Alfonso Cervel

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (rama de la geología que estudia las aguas subterráneas, 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) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por hidrogeólogos/as.

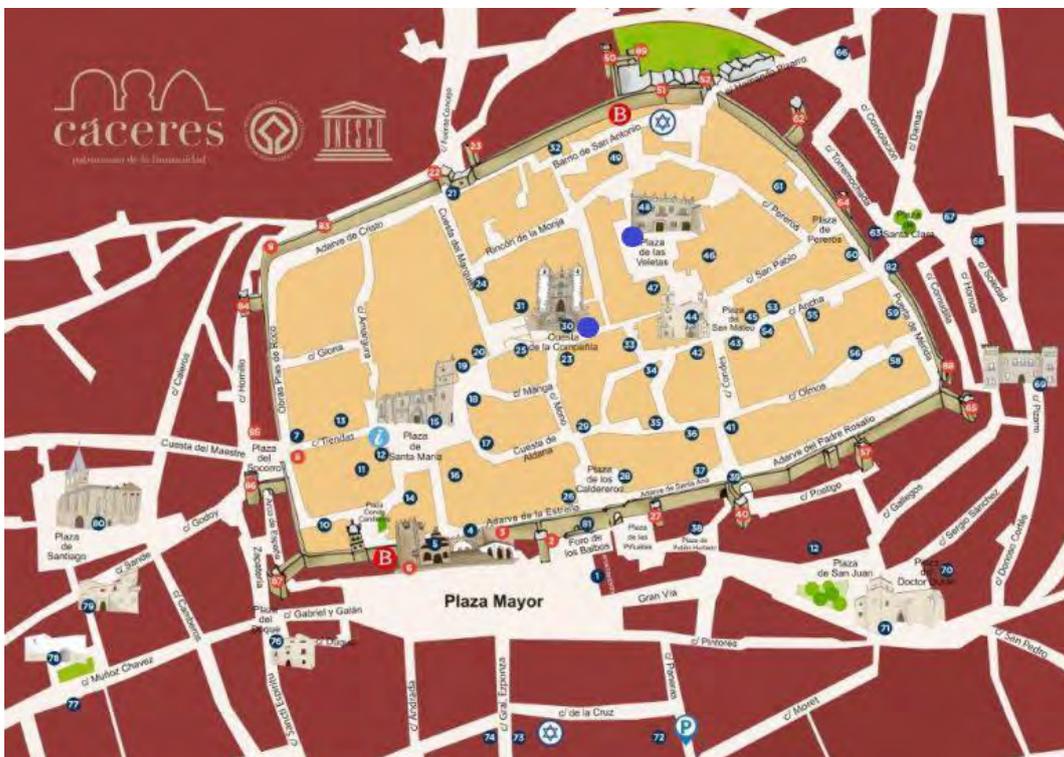


Figura 1. Mapa del Casco Antiguo de Cáceres. Los puntos azules indican la situación de los dos aljibes a visitar.

El agua se localiza en el inicio de la vida y los aljibes han contribuido a la vida humana durante grandes épocas de sequía. Si paseamos por el casco antiguo de Cáceres, donde celebramos este año el Hidrogeodía 2024, disfrutaremos no sólo de las espectaculares construcciones medievales, sino de una red de pozos y

aljibes que fueron el único modo de abastecer de agua a la población en aquella época.

En Cáceres capital fueron comunes los aljibes durante la Edad Media y el Renacimiento. En la actualidad hay censados en la ciudad alrededor de 40 aljibes documentados, ubicados en los

principales edificios singulares, tanto de la Iglesia como de la nobleza.

La necesidad de disponer de aljibes era imperiosa debido al sustrato rocoso en el que se asienta la ciudad monumental. La resistencia a la erosión de las rocas sobre las que se cimienta prácticamente la totalidad de iglesias, palacios y casas-fuertes, facilita la construcción en vertical, permitiendo dominar (y defender) el territorio circundante. Pero también supone un problema durante los asedios, ya que no solía ser fácil el acceso a las aguas de la cercana Ribera del Marco.

Tanto la geología de su subsuelo como su orografía han sido determinantes para la proliferación de aljibes en la ciudad, al ser un tipo constructivo de gran utilidad en sótanos de muchos edificios. La mayoría de estas estructuras recogían las aguas pluviales que se canalizaban a través de sumideros en patios interiores.

HISTORIA DE LOS ALJIBES DE LA CIUDAD DE CÁCERES

Según la R.A.E., se define 'aljibe' como cisterna o depósito subterráneo donde se recoge agua (del árabe hispánico *alǧúbb* y este del árabe clásico *ǧubb*).

El aljibe es un sistema de almacenamiento de agua milenario.

En esta jornada se realizará una visita guiada por los dos aljibes situados en el casco antiguo:

- Aljibe de la iglesia de la Preciosa Sangre.
- Aljibe del Palacio de la Veletas.

El primero de ellos tiene origen árabe, coincidente en el tiempo con la dominación islámica de la ciudad.

El segundo, en cambio, es la reconversión de una estancia soterrada

que tendría otro uso inicial en lo que fue la alcazaba árabe, hoy desaparecida.

Cáceres se ha caracterizado siempre por sus problemas para el abastecimiento de agua: la existencia de numerosos aljibes subterráneos en el casco histórico es una clara muestra de ello.

Los musulmanes, grandes arquitectos del agua, difunden en Occidente, aunque con dimensiones más reducidas, el modelo de las grandes cisternas destinadas a la conservación de agua que existen en Constantinopla. Así, en al-Andalus es corriente la construcción de aljibes en los castillos y fortalezas como elemento necesario para garantizar el suministro de agua ante un eventual asedio militar, las cisternas de los castillos de Medellín, Trujillo y Montánchez son ejemplos claros y cercanos de esta práctica.

Los aljibes continúan en uso tras la conquista cristiana y se convierten, bajo patios y claustros, en un elemento propio del nuevo modelo urbanístico bajomedieval cacereño.

ALJIBE DE LA IGLESIA DE LA PRECIOSA SANGRE (SAN FRANCISCO JAVIER)

La iglesia de San Francisco o de la Preciosa Sangre (nombre este último debido a que desde 1899 es custodiada por los Padres Misioneros de la Preciosa Sangre) fue construida en el siglo XVIII en estilo barroco, como parte de un Colegio de la Compañía de Jesús.

El Convento fue construido por los jesuitas, pero al ser expulsados del Reino de España dicho edificio acabó en manos franciscanas.



Figura 2. Iglesia de San Francisco. Fuente: *El Periódico Extremadura*.

Se accede al aljibe del S. XI desde el Centro de Interpretación de la Semana Santa. El aljibe tiene unos 2000 m³ de capacidad, localizándose por debajo del altar de la iglesia.

ALJIBE DEL PALACIO DE LAS VELETAS (CASA DE LOS ALJIBES)

Según la información suministrada por el propio Museo de Cáceres, la planta del aljibe, ligeramente irregular para adaptarse al nivel geológico, es de unos 14 x 10 m. Presenta una estructura de cinco naves cubiertas con bóveda de cañón, la cual descansa sobre arquerías paralelas formadas por dieciséis arcos de herradura sustentados por doce columnas.



Figura 3. Aljibe del Museo de Cáceres.

La altura de las naves es de unos 6,10 m., y su capacidad de agua almacenada es de unos 700 m³ totales.

El edificio, en principio, no fue un aljibe.

En la segunda mitad del siglo XII, una gran reforma puso fin al uso original, convirtiéndose ya en aljibe. En este momento se sellaron las juntas murarias, se recrecieron los lienzos noroeste y sureste y se alzaron las esbeltas bóvedas.

Se cree que se abandona y no se recupera su uso para abastecimiento hasta finales del S. XV.

Entre los siglos XVI y XVIII, la antigua casa fuerte bajomedieval se convierte en palacio dando lugar a la actual Casa de las Veletas. Siguiendo la normativa real, los vecinos de Cáceres pudieron seguir abasteciéndose del aljibe, al que accedían por una puerta creada a tal fin, hoy desaparecida. En la esquina norte del aljibe se construyó una pequeña estancia para separar el agua accesible al vecindario de la exclusiva de los propietarios de la casa.

En la primera mitad del S. XX el aljibe fue sometido a diversas reparaciones y reformas, entre las que se encuentran las encaminadas a convertir la Casa de las Veletas en Museo Provincial. De ese periodo es el acceso escalonado.

GEOLOGÍA BÁSICA DE LA CIUDAD

Al acercarnos a la ciudad monumental de Cáceres, llama la atención su situación en un otero, hoy reconvetido en un intrincado conjunto de casas y callejuelas, propias de urbes medievales.

Un primer vistazo a los elementos constructivos utilizados permite determinar que muy probablemente las rocas de los muros que conforman la mayor parte de los edificios hayan sido recolectadas in situ, lo que no quiere decir que otros elementos, como los sillares y demás elementos más notables o nobles de los edificios provinieran del extrarradio cacereño, abundante en rocas graníticas, muy

apropiadas para esos usos. De hecho, la Plaza de los Canteros probablemente tuviera esa denominación por los especialistas en el labrado de tales rocas para fabricar columnas, escudos, dovelas, arcos, etc.

La geología de Cáceres y su entorno es muy variada en cuanto a tipo de rocas, como se puede apreciar en la fig.4. En la ciudad abundan las arenisca, cuarcitas, lutitas y pizarras, así como las calizas y dolomías, hacia el sur. Al oeste, afloran rocas graníticas.

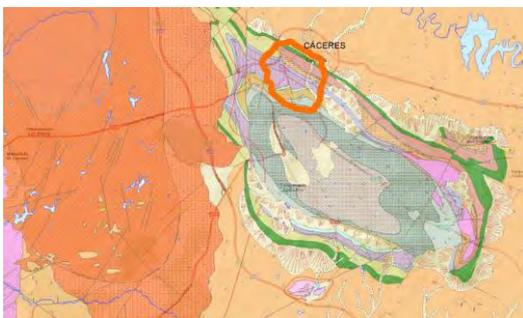


Figura 4. Mapa geológico de Cáceres. Fuente: IGME. Cada color corresponde a un tipo de roca. La ciudad en el círculo naranja.



Figura 5. Afloramiento rocoso de areniscas y cuarcitas en el que pueden observarse las fracturas naturales, que facilitan la infiltración de las aguas hacia el subsuelo.

Por tanto, sabemos que un relieve positivo, un otero o cerro, lo es debido a que las rocas que lo forman son más resistentes a los agentes erosivos. En Cáceres, esas rocas son las areniscas y

cuarcitas, formadas casi en su totalidad por cuarzo, poco alterable.

LA INFILTRACIÓN EN LAS ROCAS

Las areniscas cuarzosas y las cuarcitas que se encuentran por doquier en el subsuelo de la ciudad medieval son, por tanto, rocas duras y resistentes, aunque frágiles, es decir se fracturan con relativa facilidad. Esta fracturación es la clave para que de manera natural las aguas de lluvia vayan infiltrándose a su través, almacenándose en el subsuelo.

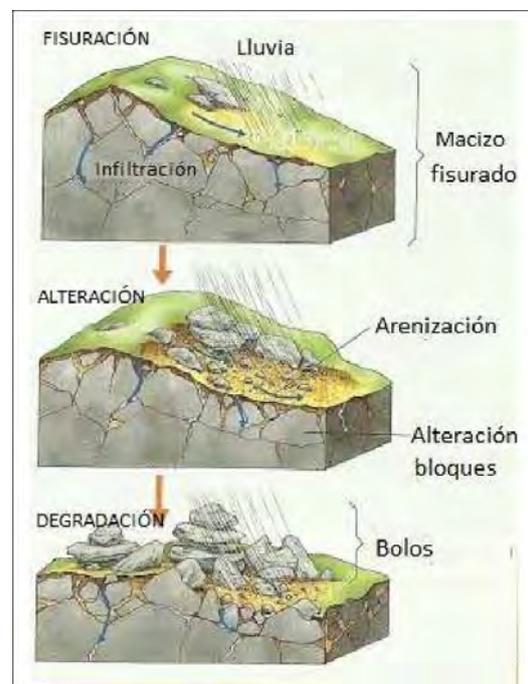


Figura 6. Evolución de la meteorización en un macizo rocoso.

La sabiduría popular, encarnada en estos ejemplos que hoy vemos a través de esta arquitectónica árabe, permite vislumbrar el juego del agua de lluvia, bien por infiltración natural, bien por la que, utilizando canalones y sumideros en patios, consigue almacenar grandes cantidades de agua para los periodos de escasez.

Las captaciones naturales, como decimos, parten de un requisito

necesario: la porosidad de las rocas del subsuelo, para que éste almacene agua.

La mayor parte de los sedimentos son porosos, sin embargo, cuando los sedimentos se convierten en rocas debido a procesos geológicos complejos, las cosas cambian y la porosidad puede llegar, incluso, a desaparecer.

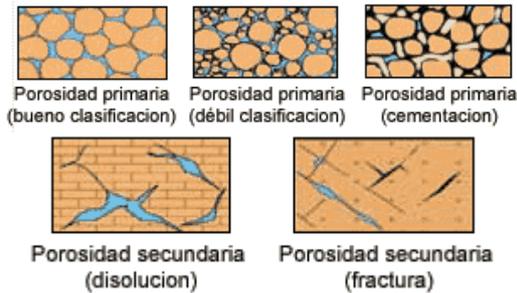
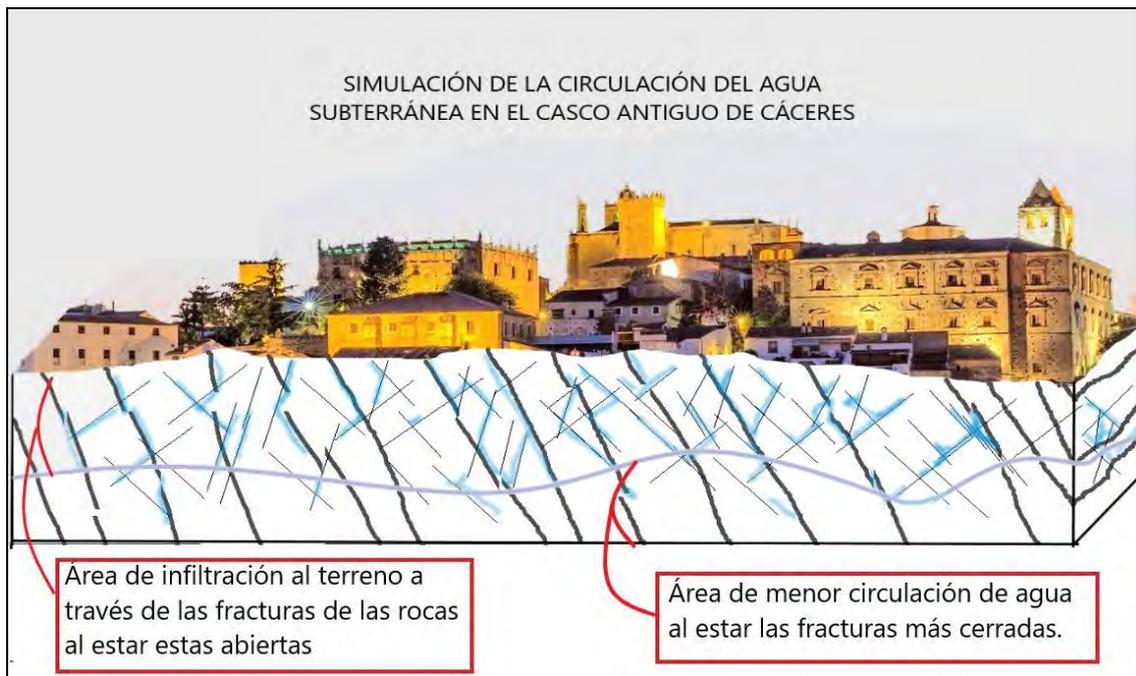


Figura 7. Tipos de porosidad en sedimentos y roca.

No obstante, las rocas pueden fracturarse a pesar de su dureza y resistencia, algo muy normal en las areniscas y cuarcitas tan presentes en el casco antiguo de Cáceres, generando una porosidad secundaria debido a la fisuración. Como resultado de lo anterior el agua puede percolar a través de ellas y va avanzando hacia el subsuelo por gravedad, hasta almacenarse en algún punto debido a la impermeabilidad del terreno, que impide que el agua circule más abajo. Esta ‘impermeabilidad’ puede ser debida a la presencia de rocas impermeables en sentido estricto o porque las rocas ya no permiten el flujo por las fracturas al estar cerradas o selladas; o en el caso de los aljibes creada *ex profeso*.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEx (2016). GEOLODIA 2016: Los Barruecos (Malpartida de Cáceres).

IGME (1982). Mapa Geológico de 704 (Cáceres) a escala 1:50.000.



Castellón



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGE♂DÍA
2024 Castelló

Los manantiales de Navajas. El Salto de la Novia.

EL HIDROGEODÍA

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

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

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



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

CÓMO LLEGAR

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

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

Coords. ETRS89: X: 713.494 / Y: 4.417.262

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

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

Se ruega **puntualidad**.

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

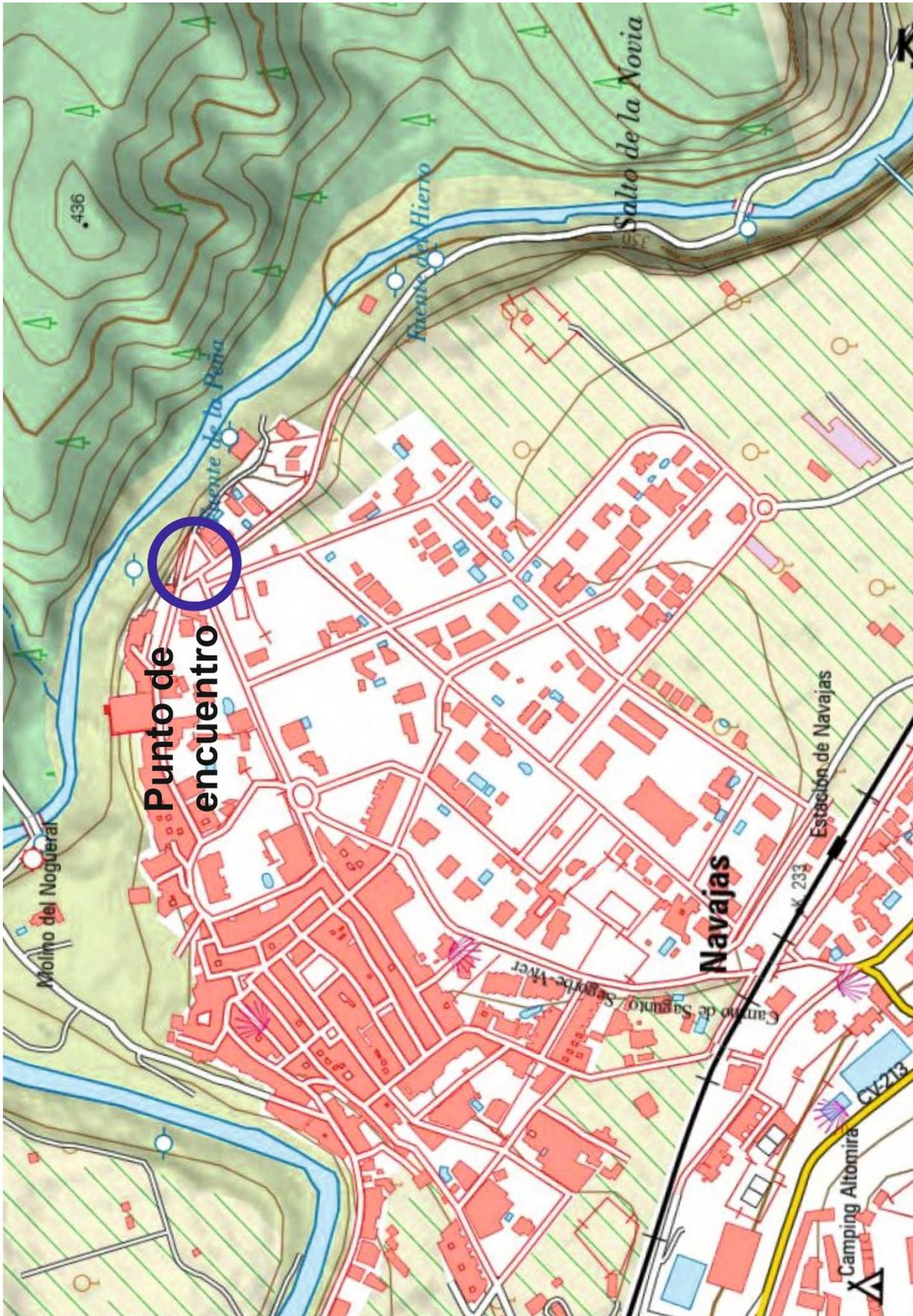


Figura 1: Punto de encuentro: acceso al paraje de “El Salto de la Novia” de Navajas (zona de aparcamiento)

IMPORTANTE

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

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

El itinerario es sencillo, se realiza a pie y es accesible para todo tipo de público (sillas de ruedas, carritos infantiles...).

El recorrido, de apenas 2 km de longitud (ida y vuelta), consta de diversas paradas en las que se irán explicando diferentes conceptos relacionados con la hidrogeología y las aguas subterráneas.

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

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

Aunque el recorrido no es excesivamente largo y existen fuentes en el entorno, se recomienda **llevar algo de comida y bebida**.

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



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

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

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

QUÉ VEREMOS

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

Parada 1: Acceso al paraje de “El Salto de la Novia”. Caverna kárstica

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

Parada 2: Fuente del Hierro

- La importancia de las aguas subterráneas
- Ejemplos de su uso: agricultura, industria, abastecimiento urbano, etc.
- Medidas “in situ” (medida del nivel piezométrico con sonda; medida del pH, conductividad eléctrica (C.E.) (equivalencia a la salinidad) y temperatura), medida del caudal en sección con nivel y con aforador, muestreo de aguas subterráneas)
- Las aguas embotelladas

Parada 3: Cascada de “L’Oncle Joan”

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

Parada 4: “El Salto de La Novia”

Explicación del “salto” (artificial) de agua

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

Parada 5: Contacto calizas-arcillas

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

Se adjunta plano del recorrido al final de esta guía

PARADA 1: CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO Y FORMACIONES KÁRSTICAS

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

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

Estos depósitos tienen unos límites, por lo que pueden individualizarse y representarse sobre mapas topográficos o geológicos (Figura 2y 3) y estudiarse por separado, pese a que unos acuíferos pueden estar en contacto con otros y haber relaciones entre ellos.

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

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



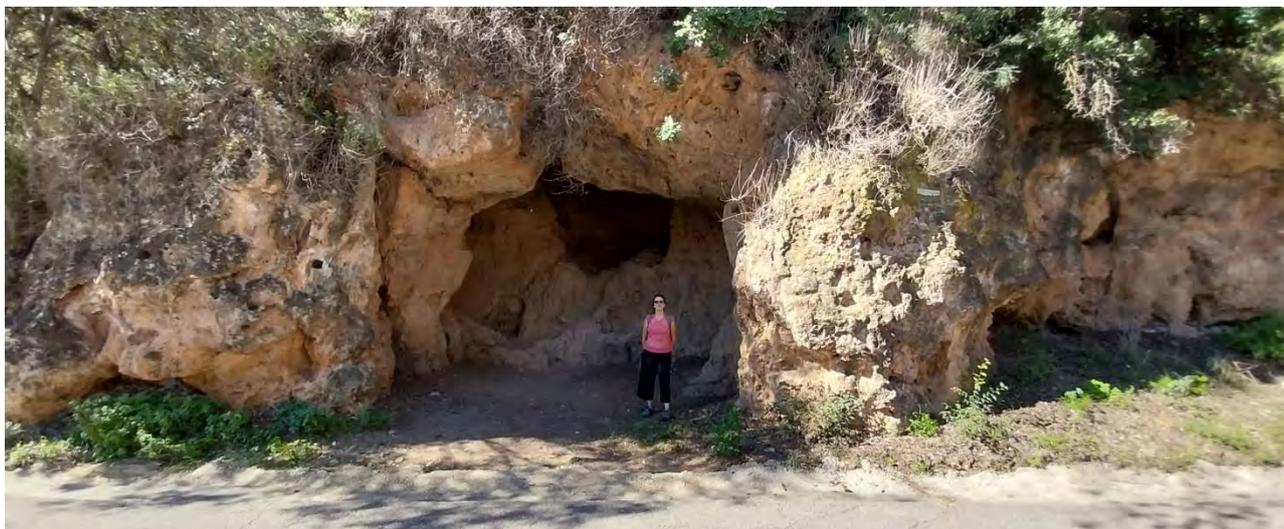
Figura 2: Contexto hidrogeológico de los manantiales

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

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

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

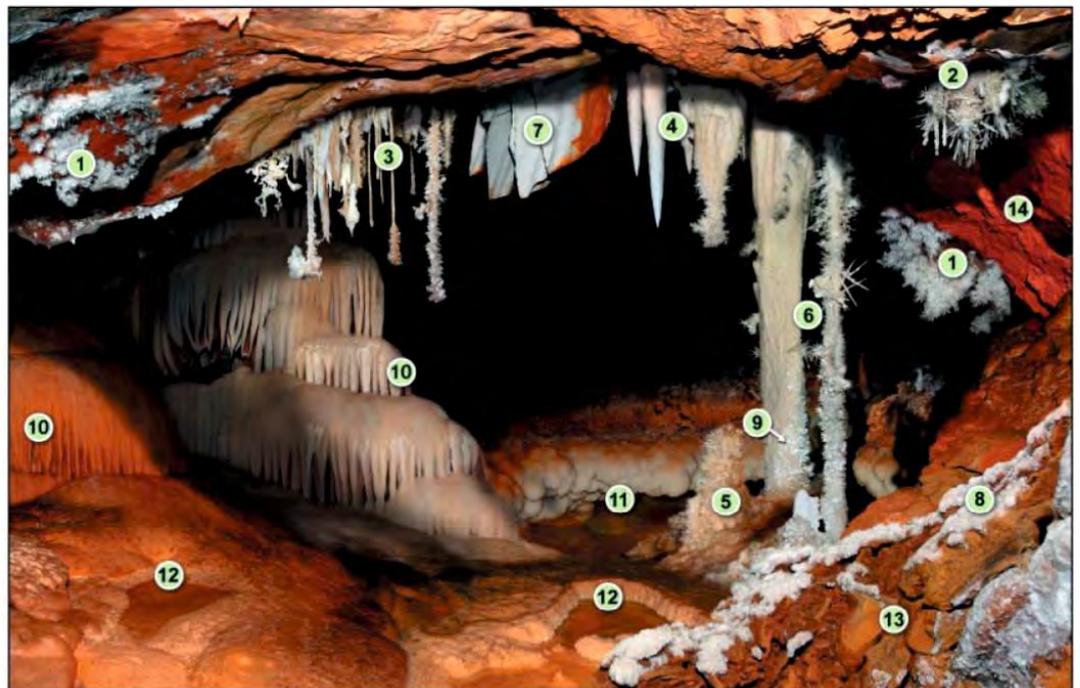
Si se desarrolla en profundidad se habla de *endokarst* y entonces se forman sistemas de cavidades o cuevas en las que la reacción entre agua, gas y roca puede invertirse, pasando de disolución a precipitación. Las formas resultantes son entonces los espeleotemas: estalactitas, estalagmitas, columnas,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



Fotos 3 y 4: Espeleotemas y travertinos.



Figuras 3 y 4: modelado kárstico y espeleotemas.



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

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

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

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

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

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

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



Fotos 5, 6 y 7: Travertinos

PARADA 2: FUENTE DEL HIERRO

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

La labor esencial del/a hidrogeológ@ es el estudio de las aguas subterráneas. Estas, son unas grandes desconocidas para el público en general y, por ende, es desconocida su enorme importancia.

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

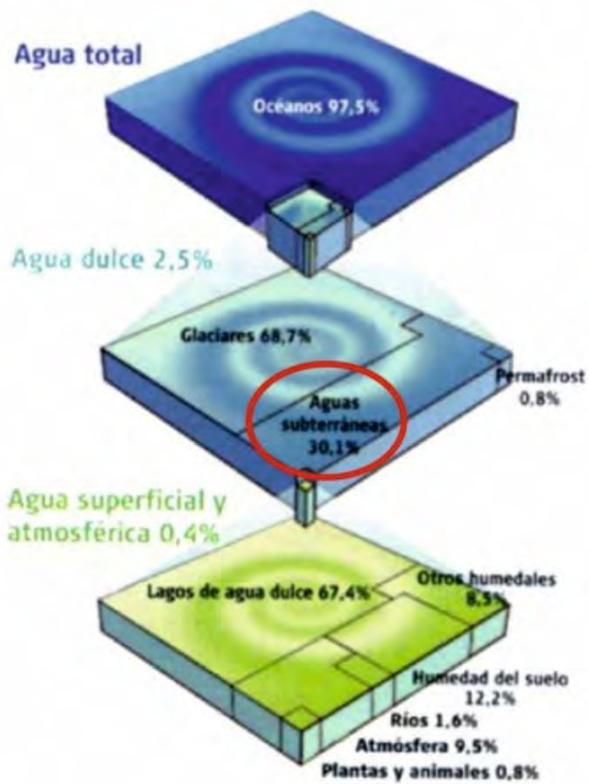
De este 2,5%, casi un 69% se encuentra en forma de hielo en los glaciares de los casquetes polares y en los de las cumbres de las grandes cordilleras, es decir, es un agua que no podemos usar ya que no se encuentra cerca de las áreas en las que vivimos. Queda así algo más de un 30% de agua dulce utilizable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

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

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



Fotos 8 y 9: Fuente del Hierro



AGUA DULCE EN LA TIERRA

(Shiklomanov - 1997)



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

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

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

AGUA EN LAGOS = 0,26 %

AGUA DE RÍOS = 0,006 %

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

AGUA EN LA ATMÓSFERA = 0,04 %

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

AGUA TOTAL EN LA TIERRA



AGUA SALADA AGUA DULCE



Figuras 5 y 6: La importancia de las aguas subterráneas

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

En el caso de la agricultura se establecen unas dotaciones por cultivo. En la cuenca hidrográfica del Júcar la dotación media neta para el arroz es de unos 9.500 m³/ha/año (Figura 7), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m³/ha/año).

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

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

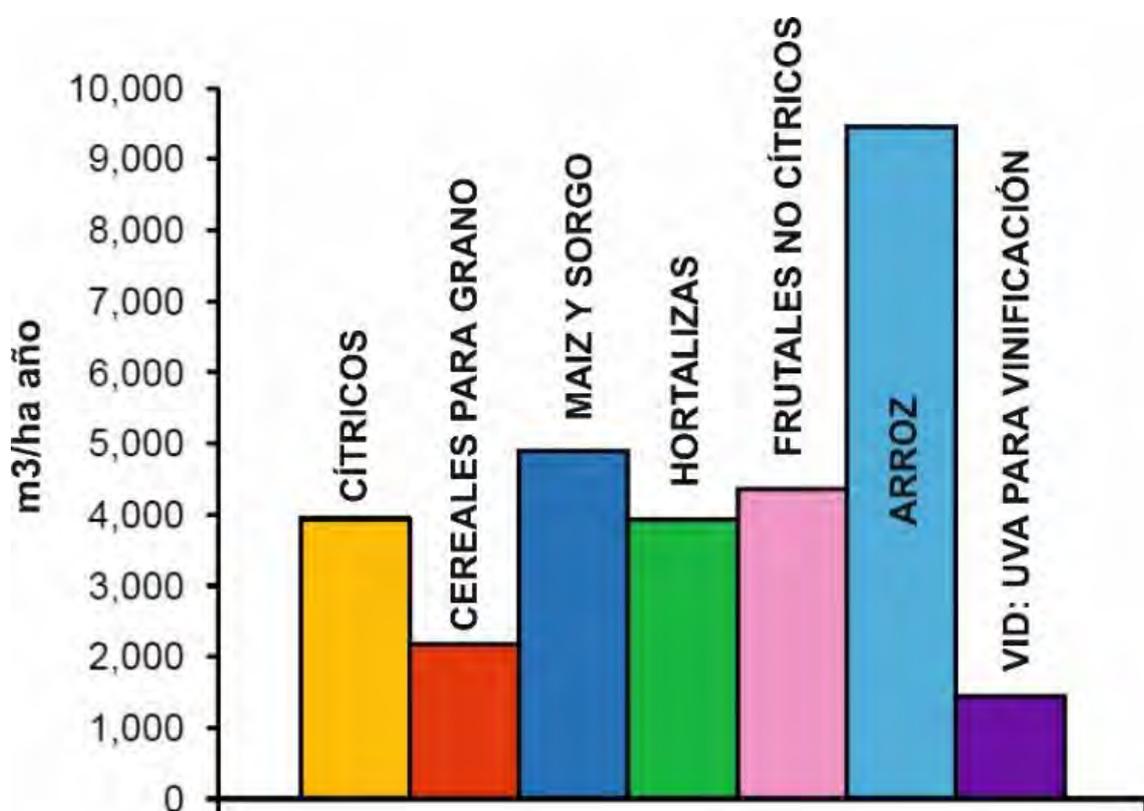


Figura 7: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)

El agua dulce, que es esencial para la vida, se utiliza principalmente para la agricultura y en mucha menor medida para la industria y el abastecimiento urbano (Figura 8).

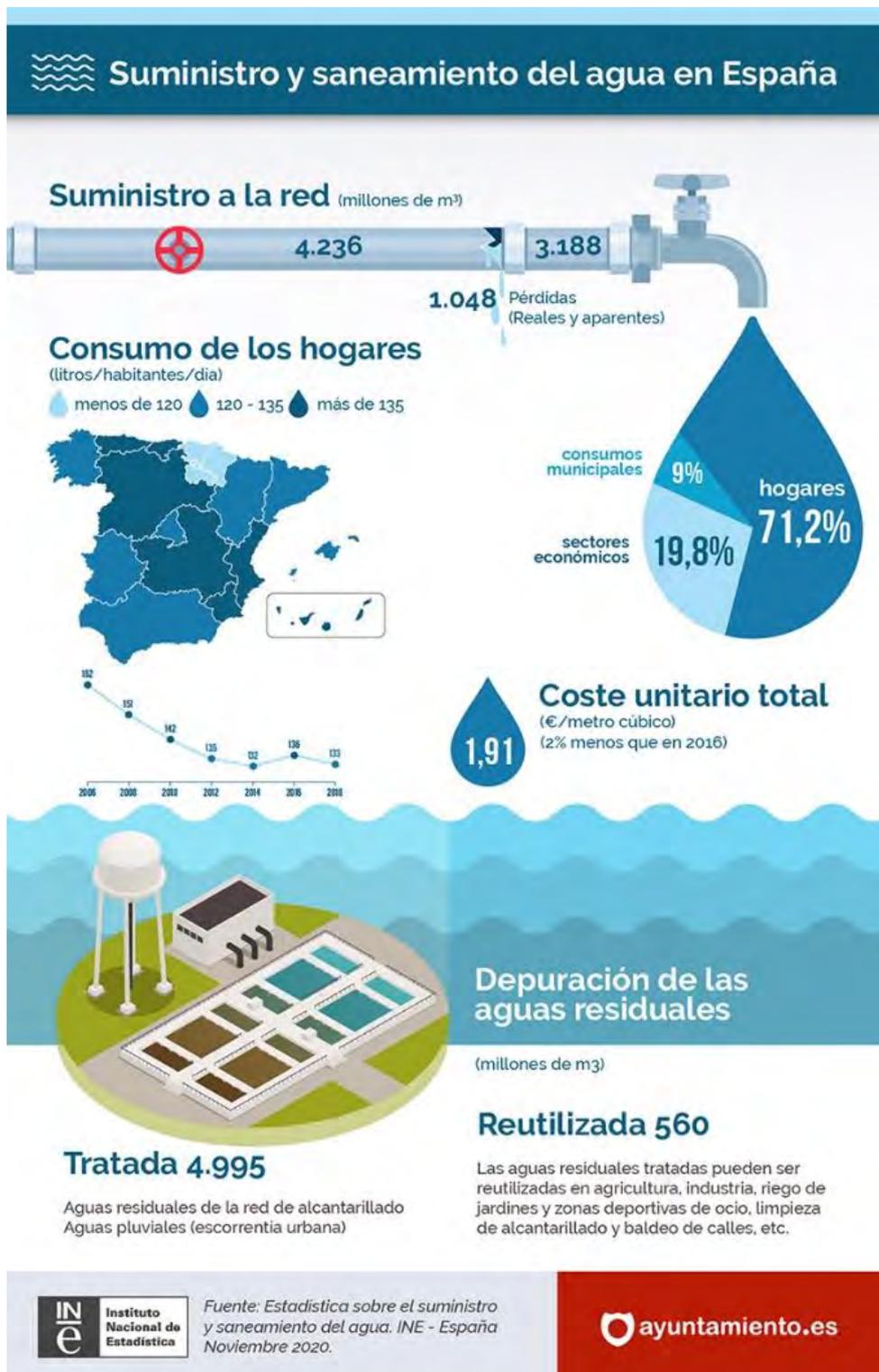


Figura 8: Suministro y saneamiento de agua en España

La **toma de muestras de agua** (Foto 10) consiste en recoger un volumen determinado de agua procedente de un manantial, río, surgencia, pozo, sondeo, etc., introducirla en recipientes apropiados (botellas de muestreo) y enviarla, siguiendo un estricto protocolo de seguridad anticontaminación, a un laboratorio especializado para su análisis.

En el momento de la “toma”, es habitual medir “in situ” algunos parámetros como la **temperatura**, el **pH** o la **conductividad eléctrica (C.E.)** (Foto 11).

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

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

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

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

En las Tablas 1 y 2 se establecen unos datos de referencia a la hora de estimar el contenido en sales y el carácter termal del agua:

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

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

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

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



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



Foto 11: Toma de muestra de agua en L'Albufera de Valencia (embarcadero de la "Gola de Pujol") y medida de parámetros "in situ" (temperatura, pH y C.E.).



Foto 12: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.

La medida del nivel piezométrico o freático (Foto 12) se realiza mediante un dispositivo denominado **sonda piezométrica** o **hidronivel** (Foto 13), que consiste en una cinta métrica acondicionada sobre un soporte en forma de carrete y que cuenta en su extremo con un sensor. Dicho sensor se introduce por la boca del sondeo, pozo o piezómetro (perforación destinada a la medida del nivel piezométrico) hasta alcanzar el nivel del agua. En este momento el agua actúa como interruptor (cierra un circuito) y ocasiona que en superficie se emita una señal acústica o luminosa que indica que se ha llegado al nivel del agua.

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



Foto 13: Sonda para medir el nivel piezométrico..

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

BEZOYA

AGUA MINERAL NATURAL

Composición Química (mg/l):

Residuo seco a 180°C	28
Bicarbonatos	7
Cloruros	0,87
Calcio	2,73
Magnesio	0,39
Sodio	2,58
Silice	11,0

C.N.T.A. (Diciembre 2013)

Composición química en mg/L:

Bicarbonatos:	297,2
Sulfatos:	43,9
Cloruros:	35,8
Calcio:	88,7
Magnesio:	23,4
Sodio:	18,6
Silice:	7,1

Análisis realizado por el Laboratorio
Dr. Oliver Rodés.
Declarada Mineral Natural 28/07/1994.

Envases

ATENCIÓN AL CLIENTE
902 453 453 / www.dia.es

Análisis (mg/L): Lab. Dr. Oliver Rodés - marzo 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	Silice	34,3

Conductividad a 20°C: 175 microS.cm⁻¹

Foto 14: Ejemplos de etiquetas con los principales parámetros químicos de varias aguas embotelladas.

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

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

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

Si nos fijamos en el etiquetado de las botellas de agua a la venta, comprobaremos que cumplen esta normativa y que todos los parámetros químicos que se indican se encuentran por debajo de los límites de potabilidad. En el etiquetado de estos envases se muestran, además, otros datos importantes, como el lugar (localización) del manantial, empresa embotelladora o laboratorio que realiza el análisis (Foto 14).

PARADA 3: CASCADA DE “L’ONCLE JOAN”

En un acuífero el agua no permanece estancada, sino que se mueve desde las denominadas **áreas de recarga** (zonas permeables situadas en los sectores más elevados del acuífero) hacia las **áreas de descarga** o sectores del acuífero donde se produce prioritariamente un drenaje o descarga de los recursos hídricos del mismo (Figura 9). Estas descargas pueden producirse en tramos de ríos que ganan caudal, constituir manantiales y grandes surgencias o realizarse de forma subterránea hacia otros acuíferos o directamente al mar. Se sitúan, por tanto, en los sectores más bajos del acuífero.

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

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

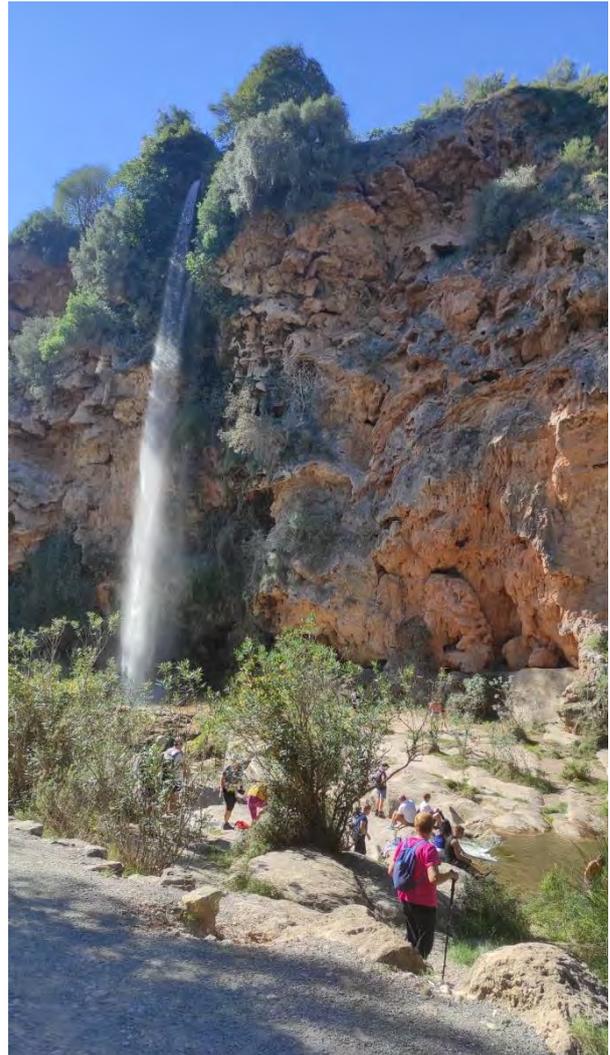


Foto 15: El Salto de la Novia.

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



Antiguamente, los seres humanos se abastecían directamente de los ríos, lagos y manantiales de agua dulce. Luego descubrieron que en algunas zonas excavando agujeros o pozos de escasa profundidad o pequeñas galerías se llegaba hasta el nivel del agua subterránea o **nivel freático**, o profundidad a la que se encuentra el agua, es decir, el nivel por debajo del cual un acuífero está permanentemente saturado de agua.

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

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

Su **acondicionamiento** permite la extracción del agua u otros fluidos (petróleo, gas...) o actuar como punto de **observación del acuífero**, siendo su función en este caso la de permitir la **toma de muestras de agua** para su análisis y de la medida del nivel piezométrico.

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

Durante la ejecución de la obra se analizan las muestras del terreno que se va atravesando, se dibuja la columna litológica (Figura 8) y se comprueba la coincidencia entre el proyecto previsto y los resultados reales. De esta forma pueden irse ajustando los trabajos para alcanzar los objetivos deseados.

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

- **Percusión:** este tipo de perforación consiste en el golpeo repetido de la roca mediante un “trépano” hasta machacarla totalmente. Luego se extrae el material deshecho (“ripios” o “detritus” de perforación) a la superficie mediante una herramienta denominada “cuchara”.



Foto 16: Cascada de “L’Oncle Joan”.

- **Rotación:** este sistema se basa en la trituración de la roca por medio de un útil de corte giratorio (“tricono”) que desgasta la roca. El material triturado es extraído del sondeo mediante el arrastre con agua o lodo.

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

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

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

Foto 17: Perforación de un sondeo a rotopercusión





Foto 18: Entubación de un sondeo

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

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



Foto 19: Ensayo de bombeo

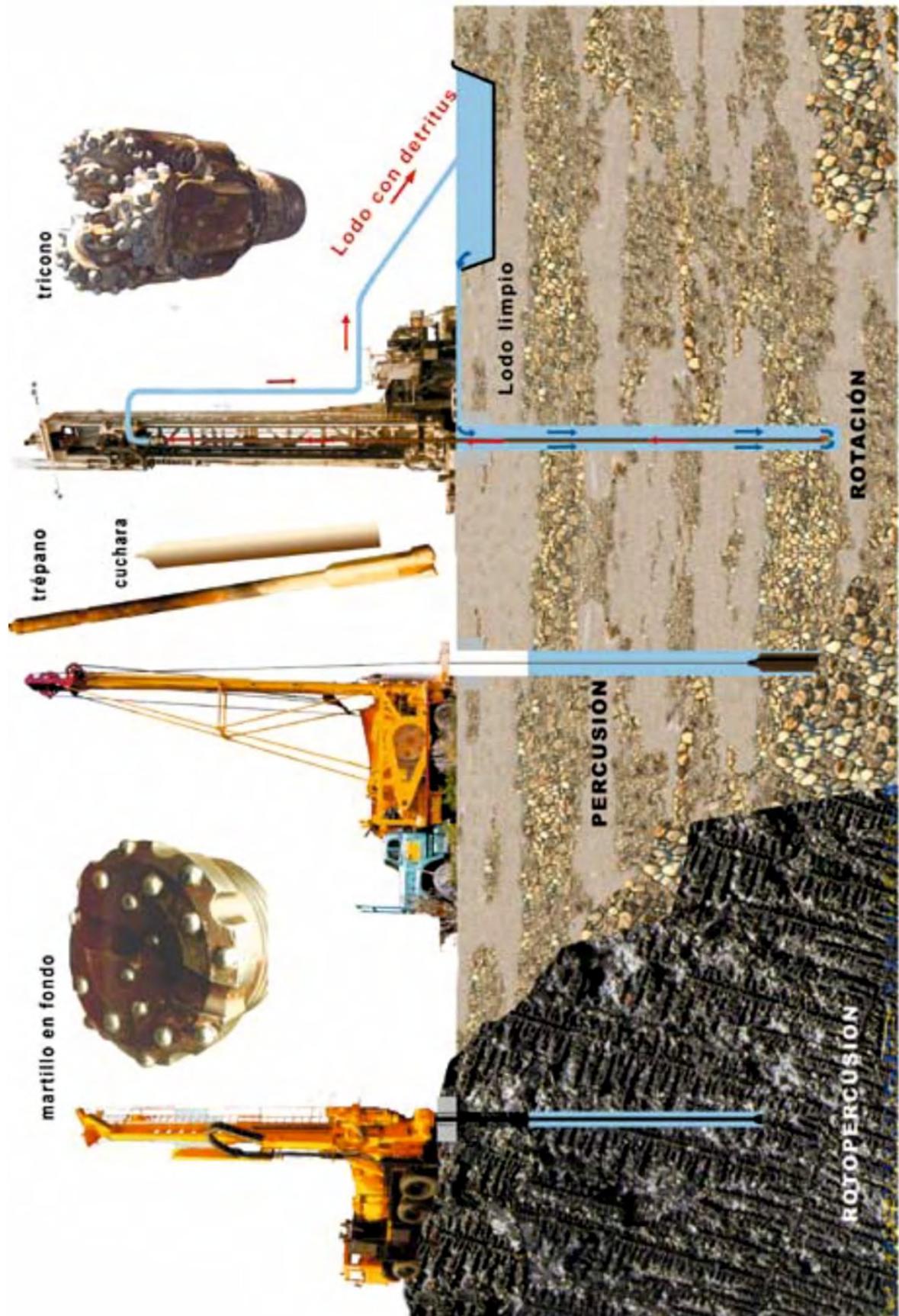


Figura 10: Sistemas de perforación de sondeos (López Geta, J.A et al. 2009)

PARADA 4: SALTO DE LA NOVIA

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

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



Foto 21: Manantial de La Esperanza (imagen inferior)



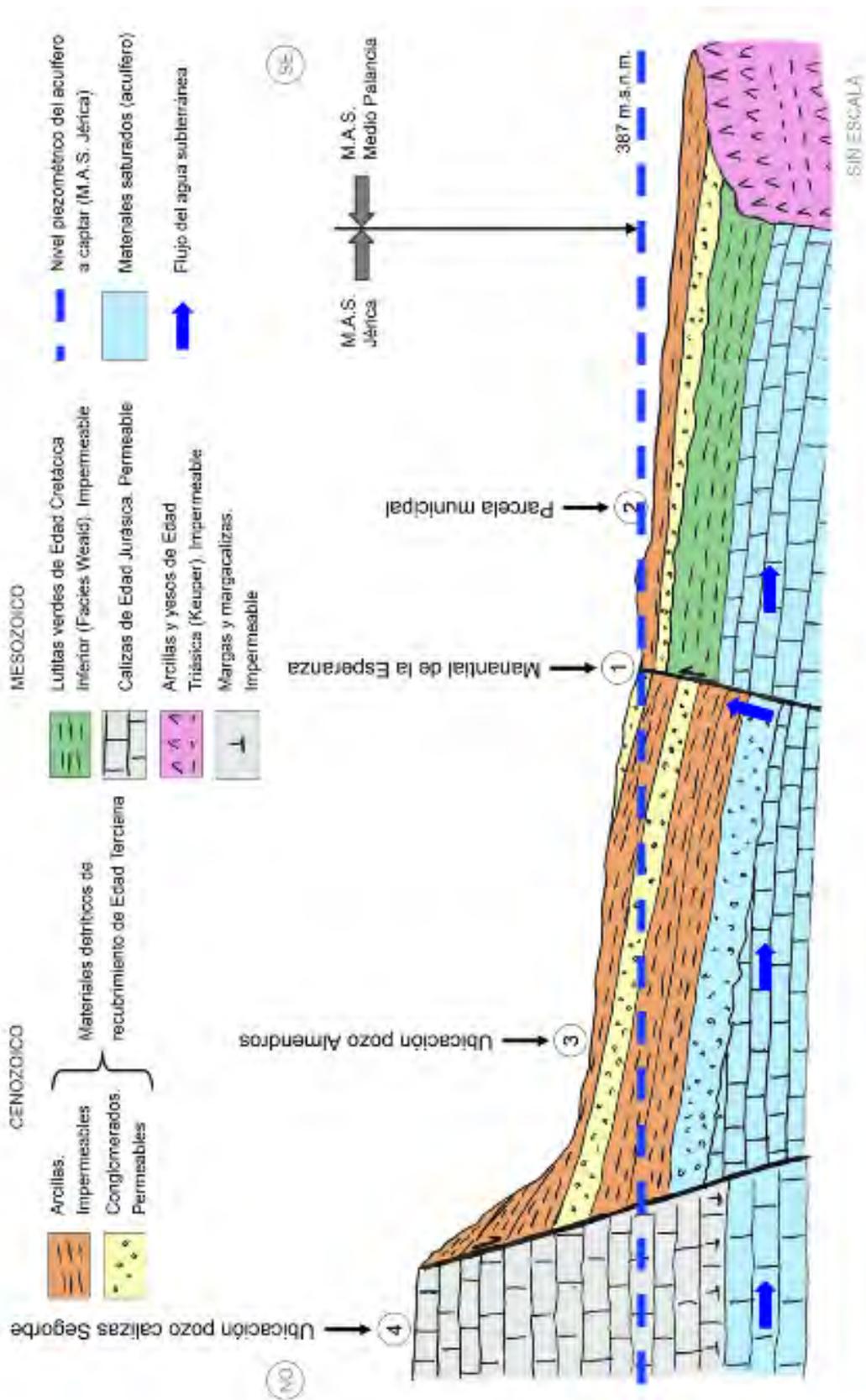


Figura 12: Esquema hidrogeológico de funcionamiento del manantial de "La Esperanza"

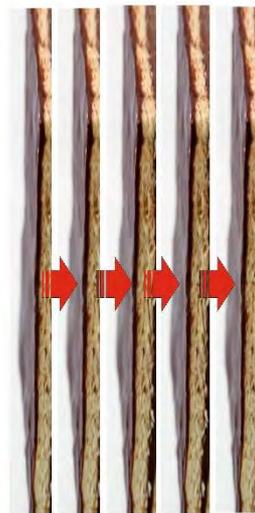
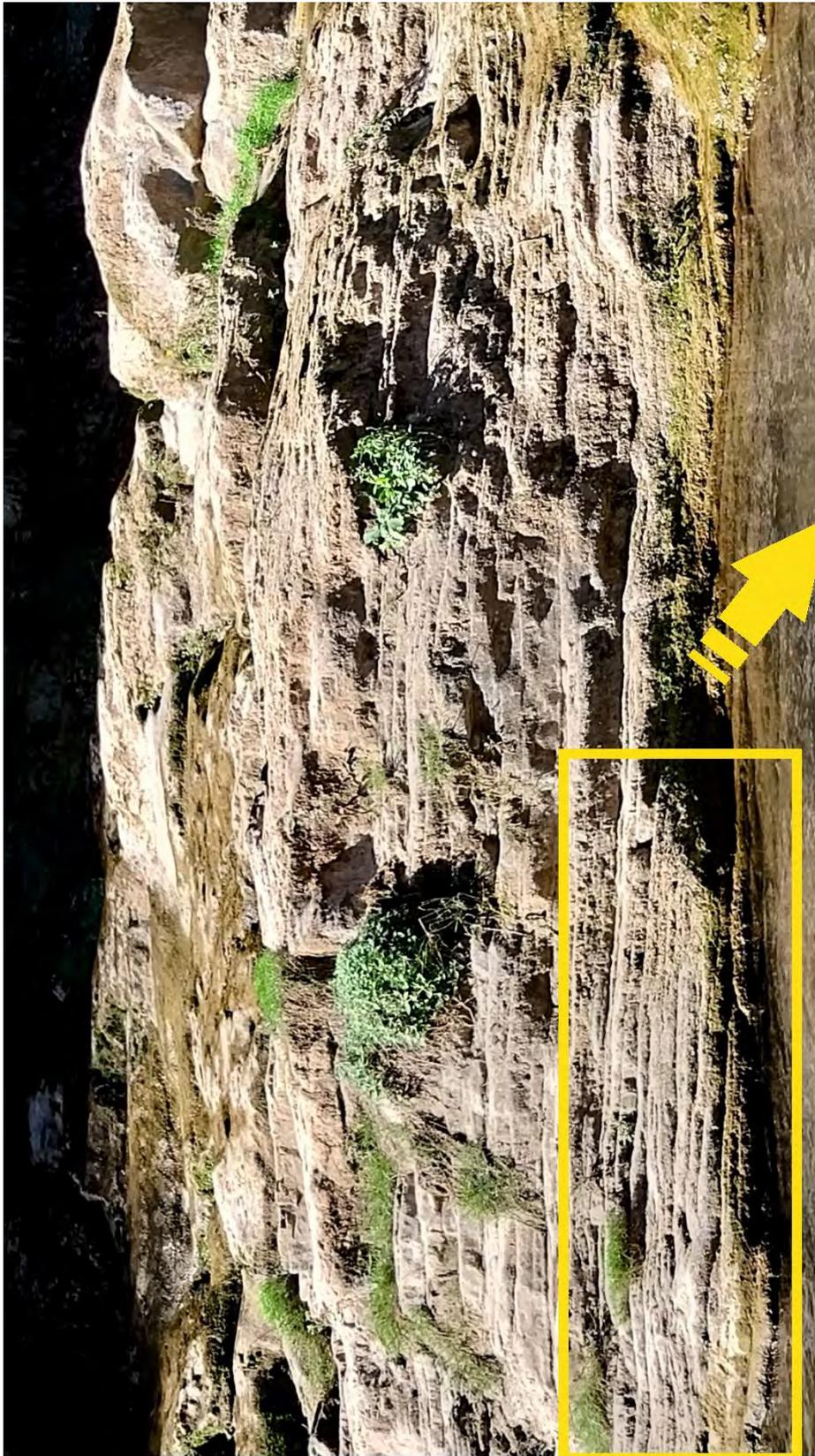
En el área de “**El Salto de La Novia**” se puede observar la disposición en delgadas capas o estratos sucesivos, como tablas, de los materiales carbonatados jurásicos que se sitúan abajo los pies de los depósitos de travertinos (Foto 22).



Foto 22: Travertinos sobre rocas calizas (Jurásicas) estratificadas

Esta disposición en estratos (estratificación) es propia de las **rocas sedimentarias** y obedece a un proceso denominado **sedimentación**, que consiste en la acumulación de material preexistente (sedimento) originado por procesos biológicos, químicos o físicos que se compacta progresivamente hasta generar capas o niveles (**estratos**) rocosos. En función de las características de permeabilidad de las capas resultantes se podrá hablar de **niveles o estratos permeables** que si se encuentran saturados de agua constituyen **acuíferos** que pueden ser explotados. Por el contrario, los **niveles impermeables** o de baja permeabilidad (capas del terreno que no permiten el paso del agua y realizan la función de estancamiento o cierre, basal o lateral, de los acuíferos) se conocen como **acuicludos**. Este proceso de sedimentación puede compararse con el de realización de un pastel con distintas capas o niveles de producto.

Si tomamos como ejemplo un pastel con capas alternantes de bizcocho y chocolate, podríamos asimilar estas capas o niveles como diferentes estratos de material que se van superponiendo unos a otros hasta formar paquetes de rocas de gran espesor y con distintas características, por ejemplo, niveles permeables (acuíferos) o impermeables (acuicludos) (Figura 13).



DECENAS DE MILES DE AÑOS

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

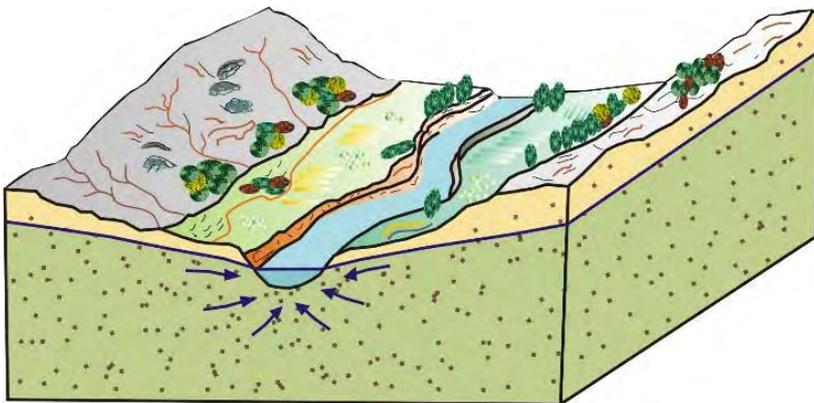
Cuando un río atraviesa formaciones permeables que constituyen acuíferos, se establece una relación entre las aguas superficiales que lleva el cauce y las subterráneas del acuífero.

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

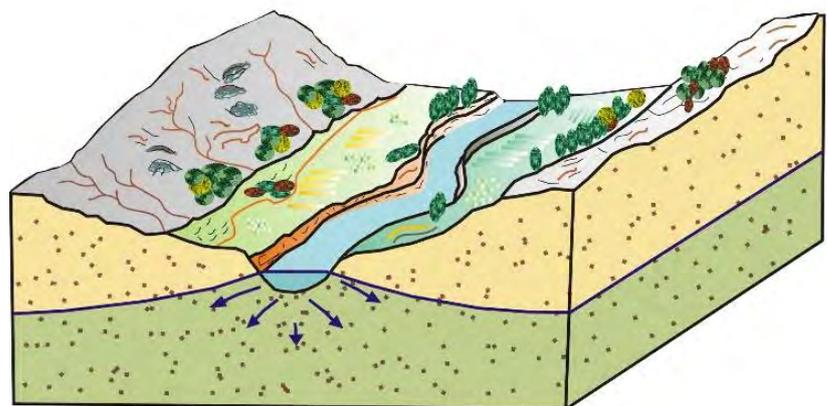
La clasificación más simple y utilizada se basa exclusivamente en el sentido de la transferencia hídrica. Así se distingue entre:

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

* **Ríos perdedores o influentes,** cuando ceden parcial o totalmente su caudal a favor de una o unas determinadas formaciones geológicas permeables y, en consecuencia, **recargan al acuífero** (Figura 14).



RÍO GANADOR



RÍO PERDEDOR

Figura 14: Relación río-acuífero

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

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

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

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

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

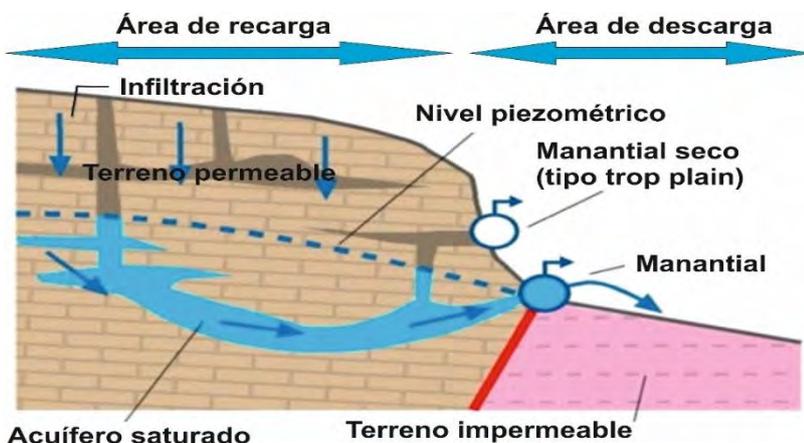


Figura 15: Contacto entre materiales permeables (acuífero) e impermeables (puntos de descarga de acuíferos = manantiales).



AGRADECIMIENTOS

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

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

LO/AS MONITORE/AS DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2024

Jose Antonio Domínguez Sánchez
(Hidrogeólogo - IGME)

Arianna Renau Pruñonosa
(Hidrogeóloga – UV-UJI)

Belén Sánchez (Hidrogeóloga - FACSA)

Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez
(Hidrogeólogo)

José Oriol Navarro Odriozola
(Hidrogeólogo)

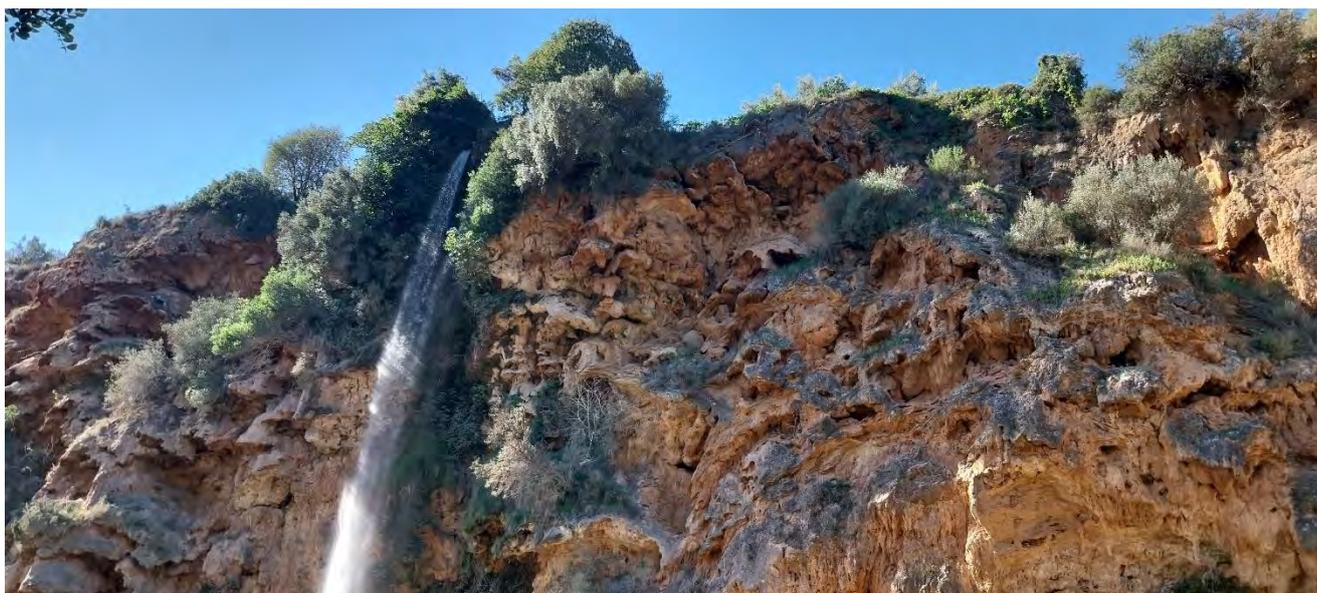


Foto 23: Salto de La Novia (Navajas)

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

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

PÁGINAS WEB

[Google Earth Pro](#)

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

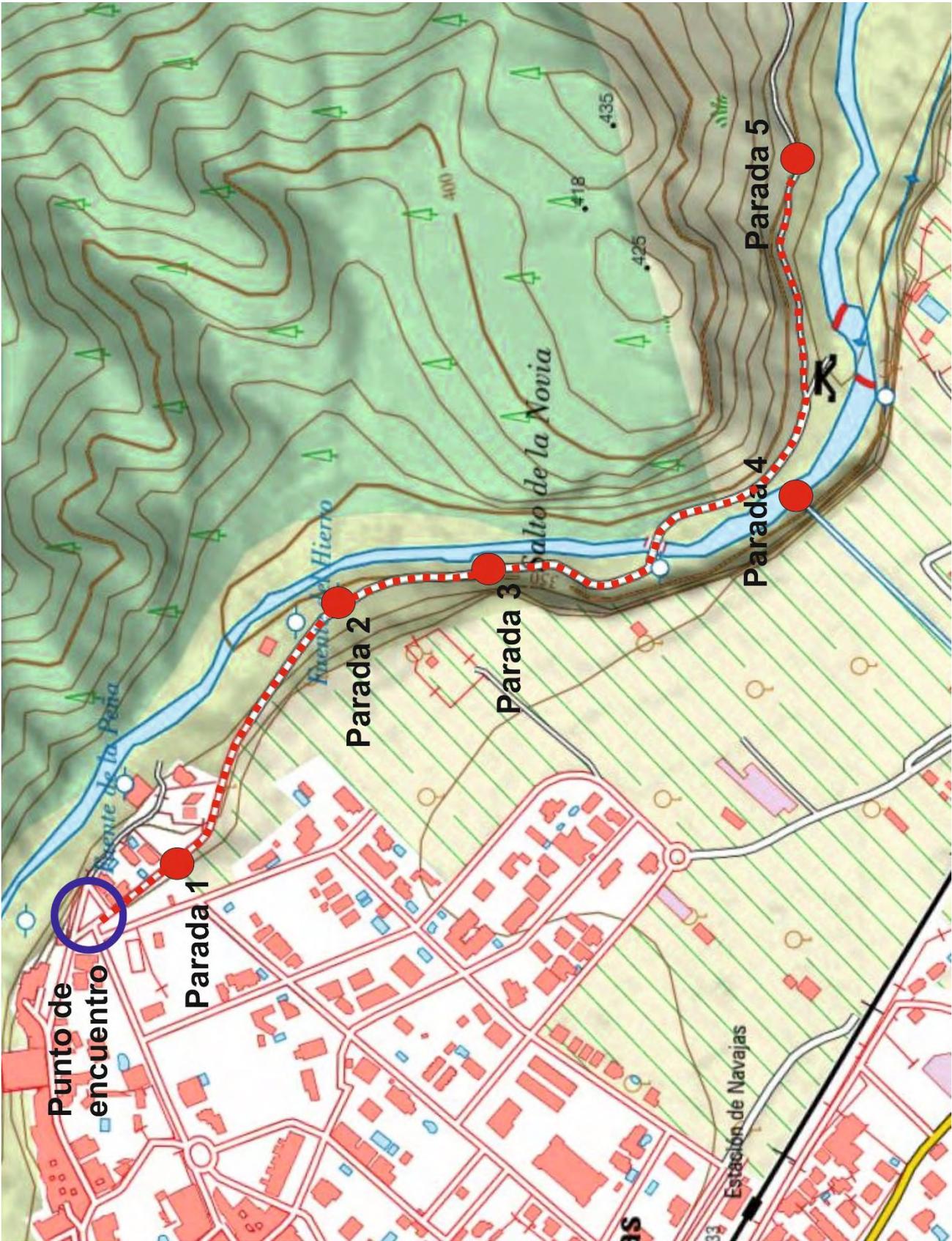
<http://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-1-albufera>

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

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

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

RECORRIDO DEL HIDROGEOLOGÍA CASTELLÓ 2023





Cuenca

HIDROGEO DÍA

2024



UNA MIRADA SIMPÁTICA AL AGUA SUBTERRÁNEA

Reserva Natural Complejo Lagunar de Ballesteros

Sábado 6 de abril de 10.00 A 14.00



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 2024** se celebra en la Reserva Natural del Complejo Lagunar de Ballesteros con la colaboración del área de ciencias experimentales de la Facultad de Educación de Cuenca y del departamento de ingeniería geológica y minera de la Universidad de Castilla – La Mancha, la consultora GeoDiscover y el ayuntamiento de Villar de Olalla. Se llevará a cabo una visita guiada con cuatro paradas donde nos preguntaremos: ¿cómo se forman estas lagunas? ¿por qué tienen esa forma? ¿de dónde sale el agua que hay en las lagunas y si tiene que ver en su formación?, ¿cuánta agua lleva el río San Martín?, ¿qué calidad tiene? y ¿si están conectadas todas estas aguas?

Durante el recorrido propuesto se explicarán conceptos hidrogeológicos como el ciclo del agua, el modelado del paisaje y los procesos que lo generan (karst en yesos). Todo ello servirá de explicación para entender el grado de conexión entre las lagunas y su conexión con el río San Martín. A lo largo del recorrido podremos investigar sobre la calidad físico-química del agua y la presencia de diferentes macroinvertebrados que habitan en estos ecosistemas y que son centinelas de su calidad.

PARA SABER MÁS:

http://hidro.dipucuenca.es/Municipios/FUENTES/Documentos/EH/Fuentes_ref_64137.pdf

Martínez-Parra, M., Lopez-Pamo, E., De la Hera, A., & Santofimia, E. (2011). Main characteristics of ponds associated with gypsum karst aquifer in the Arcas pond complex (Cuenca, Spain). *Carbonates and Evaporites*, 26, 47-60.

El Complejo lagunar de Ballesteros fue declarado Reserva Natural debido a sus valores naturales en febrero de 2002 (Decreto 27/2002) con su definición final en 2010 (Decreto 243/2010). Entre estos valores destacan los aspectos geomorfológicos con la creación de curiosas formas exokársticas (dolinas) que condicionan la gran diversidad de especies de fauna, flora y vegetación presente en estos ecosistemas. La Reserva Natural se encuentra situada a unos 7 km al sur de la ciudad de Cuenca en la localidad de Villar de Olalla (Ballesteros). Este complejo lagunar de unas 219 hectáreas cuenta con más de 40 dolinas y úvalas (muchas de las cuales albergan lagunas estacionales y/o permanentes). Cuando varias dolinas se unen forma una úvala y a mayor escala un polje. En España, las dolinas con paredes escarpadas se llaman torcas, mientras que las que tienen paredes suaves se conocen como hoyas. La zona se sitúa sobre una depresión más o menos plana con una variación de cotas topográficas que oscila entre los 950 msnm al este y 920 msnm, al oeste. Dicha área, es surcada por el río San Martín (afluente del río Júcar) que actúa como dren del acuífero subyacente (Fig. 1). La zona tiene unas precipitaciones medias de unos 600 mm siendo las temperaturas medias de 12°C.

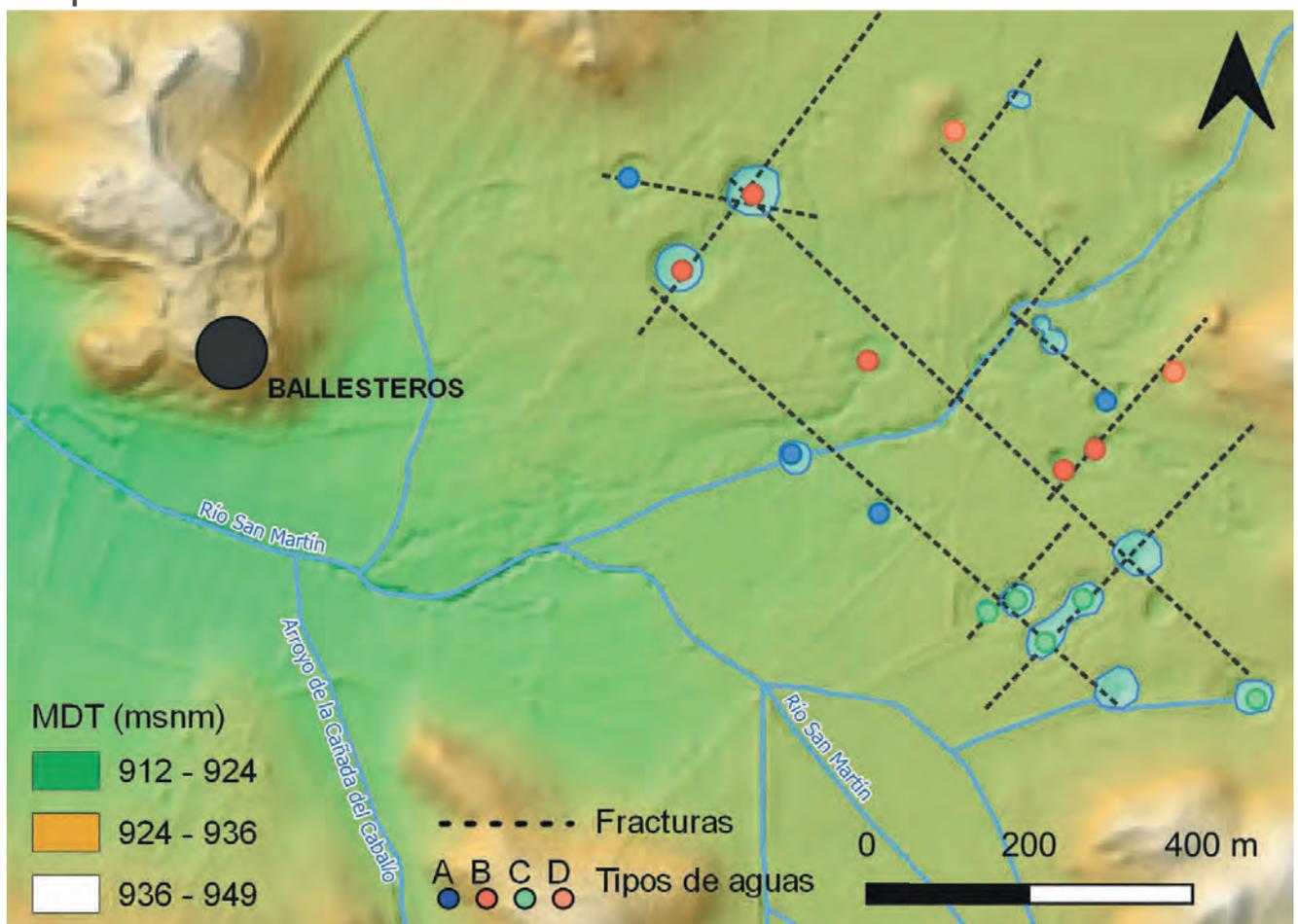


Figura I. Modelo digital del terreno con la localización de las dolinas, los tipos de agua y el sistema de fracturación atribuido al origen de las dolinas. Modificado de Martínez-Parra et al., (2011).

DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

Salida: Comenzaremos nuestra excursión en la pedanía de Ballesteros (justo donde se encuentra el panel interpretativo). Seguiremos un sendero que desciende desde la aldea hasta el complejo lagunar. A lo largo del recorrido (ver contraportada) observaremos diferentes paneles que nos explican los valores faunísticos y de vegetación de la zona. No obstante, nuestro **hidrogeodía** no empezará realmente hasta la primera parada, donde nos preguntaremos...

Parada 1. ¿Por qué lleva agua el río San Martín?

Las aguas superficiales y las aguas subterráneas son dos manifestaciones de un solo recurso integrado. 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 puede infiltrarse e ir descendiendo verticalmente por poros y grietas de los materiales geológicos 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 (es la diferencia de ver ríos con aguas permanentes o cursos de agua efímeros). De la misma forma, las lagunas y humedales permanentes surgen cuando el nivel freático interseca la topografía del terreno (Fig. 2).

En este punto tomaremos unas muestras de agua del río San Martín e intentaremos medir su caudal instantáneo para camparlo posteriormente con el que haremos en la última parada.



Figura 2. Esquema simplificado del ciclo del agua.

Parada 2. ¿Un acuífero en margas y yesos?

Los acuíferos son formaciones geológicas (rocas o sedimentos) que son capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades apreciables. No todas las rocas tienen esas propiedades. En concreto las arcillas, margas y yesos son capaces de almacenar bastante agua en sus poros y grietas, pero la transmiten muy lentamente debido a que esa porosidad no se encuentra lo suficientemente conectada. Sin embargo, el acuífero en el que se desarrolla el complejo lagunar de Ballesteros está formado por yesos, margas y calizas del tránsito Cretácico-Terciario (Maastrichtiense-Fm. Villalba de la Sierra). En base a la investigación hidrogeológica realizada en el complejo lagunar, se definen, de base a techo, unos 10 m de un acuífero superficial margo-yesífero y un acuífero inferior constituido por 50 m de margas, calizas y yesos masivos karstificados, separados por 30 m de una secuencia alterna de arcillas, yesos y margas semipermeables que dificultan la conexión entre ambos horizontes (Fig.3). El acuífero superficial está en estado libre y es de escasa permeabilidad lo que hace que el flujo sea lento. El acuífero inferior está semiconfinado y presenta mayor permeabilidad. Las principales direcciones de flujo subterráneo indican una circulación hacia el río San Martín. Asociado a la karstificación de los materiales yesíferos se producen fenómenos geomorfológicos conocidos como dolinas, generalmente de colapso o de disolución y que veremos más adelante. Estas dolinas pueden formar lagunas. Las fracturas asociadas a las lagunas conectan hidráulicamente ambos acuíferos y el agua fluye hacia arriba desde el acuífero inferior a través de estas.

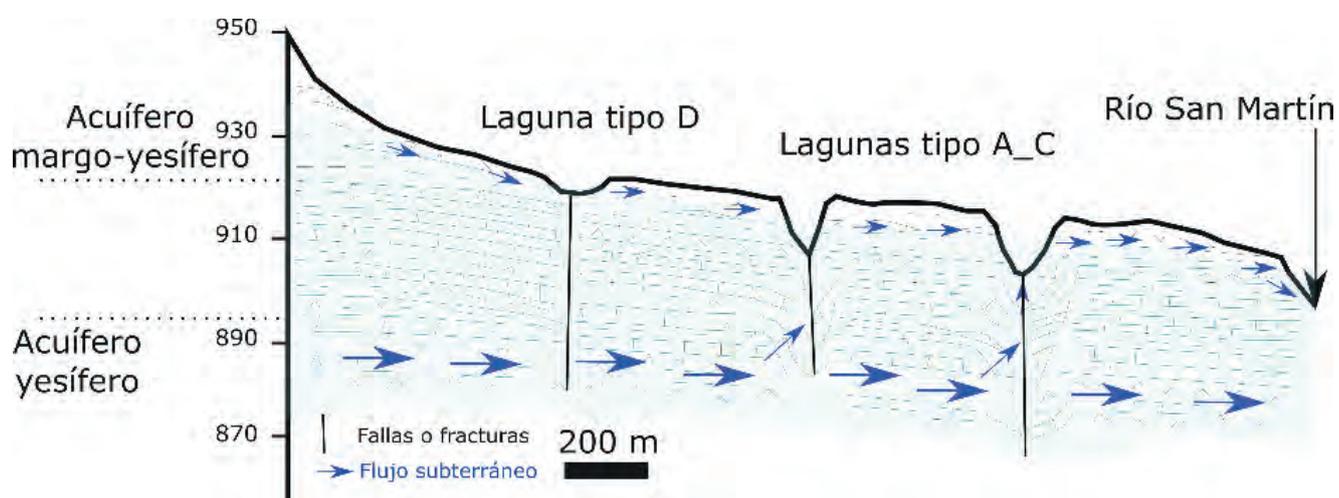


Figura 3. Perfil hidrogeológico hipotético del funcionamiento hidrodinámico y estructural del complejo lagunar del Ballesteros. Modificado de Martínez-Parra et al., (2011).

DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

La conexión que tienen todas las lagunas con el acuífero inferior no es similar en naturaleza y extensión, varía dependiendo de la génesis de la laguna, así como de la fracturación.

Observación A. ¿de dónde viene el agua que hay en las lagunas?

La variabilidad química de sus aguas nos puede dar una pista. Las facies hidroquímicas de las aguas asociadas son sulfatadas cálcicas. No obstante, Martínez-Parra et al. (2011) identifica cuatro grupos distintos de agua y por tanto de comportamientos hidrodinámicos (Fig. 1). Tipo A: agua con Conductividad Eléctrica (CE) y química parecida al acuífero inferior. Tipo B: un agua más mineralizada que la anterior y por tanto con más CE. Tipo C: se correspondería con una mezcla entre A y B. Tipo D: su química es similar a la de los cursos de agua superficiales, mostrando menor mineralización y contenido iónico. Un acuífero puede tener agua que se aleje de los parámetros de calidad para consumo humano, pero por ello no está contaminada.

Parada 3. Hidrogeología viva ¿Dónde aparecerá la próxima dolina? Observación B. ¿Están conectadas las dolinas?

Una dolina es una formación exokárstica en forma de depresiones circulares de diferentes tamaños. Se forman por la disolución lenta del suelo debido a las aguas pluviales o, por el colapso del techo de una cavidad kárstica. Esto provoca que ambas tengan diferente morfología. Estas dolinas pueden formar lagunas si están conectadas con las formaciones acuíferas, pudiendo ser, a su vez, lagunas estacionales o permanentes-(Fig. 4). Además, tal y como se observa en la figura 1 parece existir un patrón de ubicación de las dolinas que tiene que ver con la fracturación del terreno.

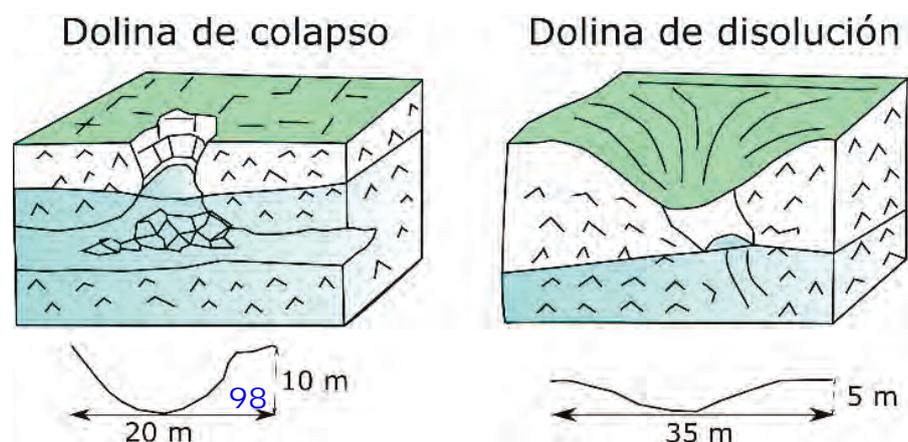


Figura 4. Esquema simplificado de formación y morfología de los tipos de dolina.

DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

Parada 4. Balance final. En la última parada recopilaremos toda la información y daremos respuesta a las siguientes preguntas. I) ¿Lleva la misma agua el río San Martín en la parada I y en la parada 4? Y II) ¿tienen las mismas características químicas todas las aguas?

Para resolver la primera cuestión realizaremos un aforo del río San Martín en el puente de Ballesteros (Fig. 5). Este aforo lo compararemos con los datos de la medición realizada en la parada I. 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 unos molinetes colocados en varias secciones (Fig. 5). Con todo ello multiplicando la sección por la velocidad y aplicando un coeficiente de rugosidad al cauce determinaremos el caudal instantáneo del río San Martín.

Para solventar la segunda cuestión analizaremos y compararemos diferentes tipos de agua que hemos recogido durante nuestro itinerario (río San Martín, Lagunas tipo A, B, C y D). Para ello los monitores nos enseñaran un equipamiento (Kit-básico LaMotte Calidad Agua) donde se analizan los siguientes parámetros (Tabla I).

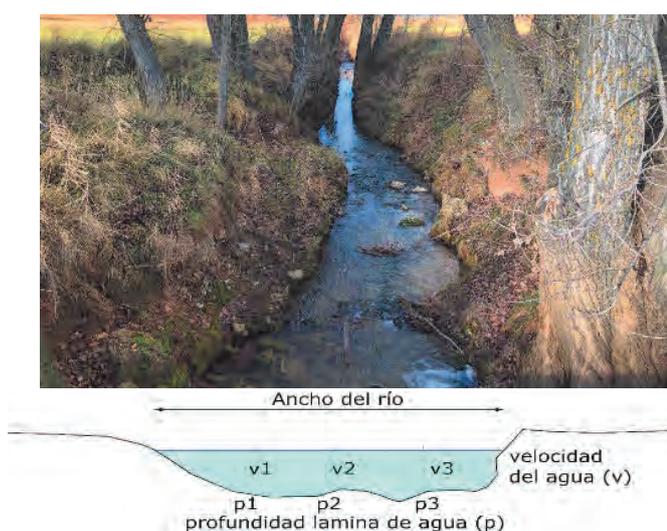


Figura 5. Esquema básico para medir la sección del cauce y la velocidad del flujo en el río San Martín.

Tabla I. Parámetros físico-químicos analizados en la excursión.

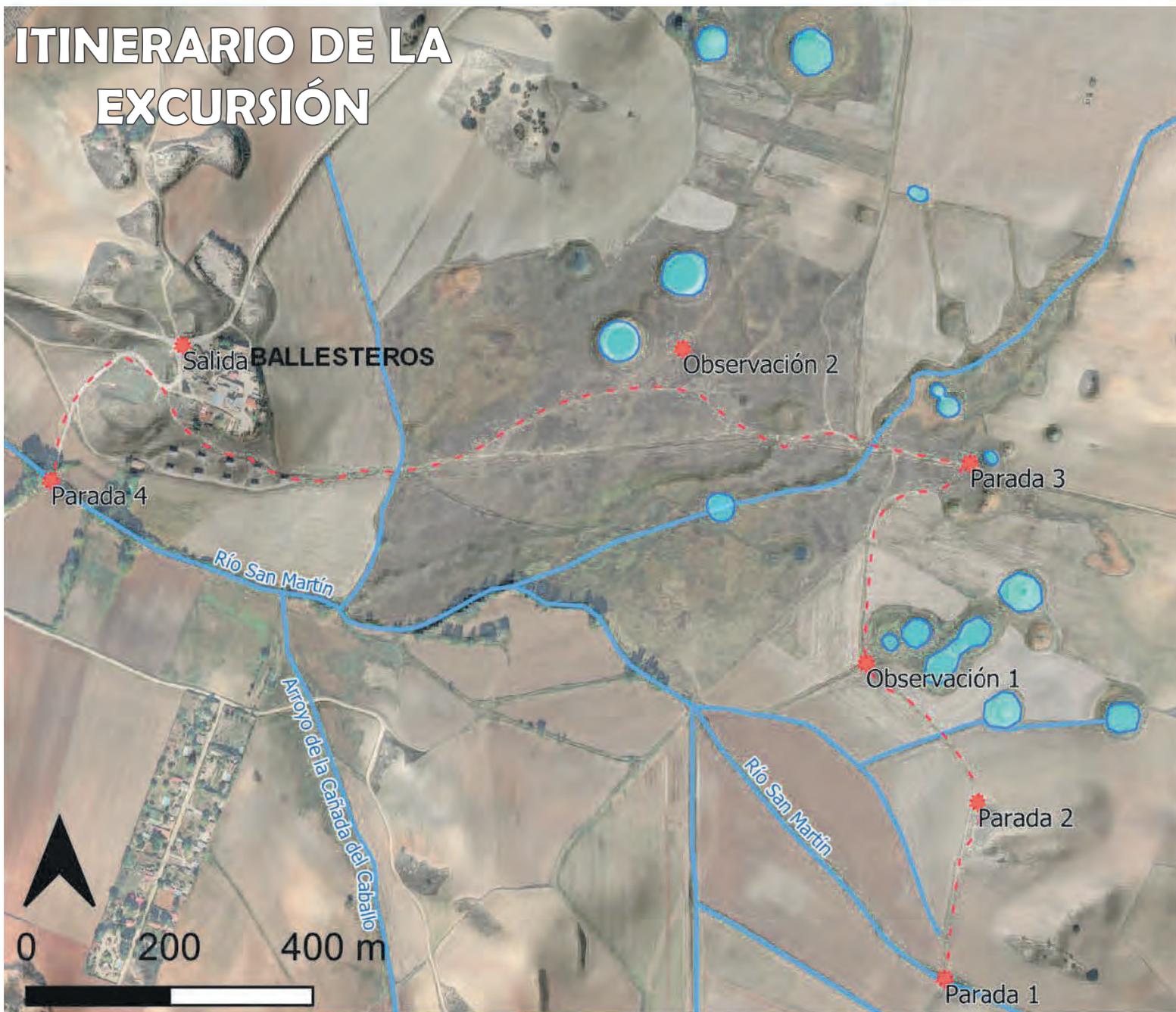
Parámetro	Valor
Bacterias Coliformes	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	
Potencial redox	
Temperatura (°C)	
pH	
Nitratos (mg/L)	
Turbidez (UTJ)	
Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)	

HIDROGEODÍA

CUENCA

2024

ITINERARIO DE LA EXCURSIÓN



Organizadores y monitores del Hidrogeodía Cuenca 2024: Marc Martínez, David Sanz, Julio Martín, Irene Prieto, Marta Fernández y Alba Calleja.





Guadalajara

HIDROGEODÍA

2024

Guadalajara



EL SISTEMA KÁRSTICO DE LA SIMA DE ALCORÓN Y EL RÍO TAJO: Formas sorprendentes creadas por el agua

Excursión guiada gratuita
23 de marzo de 2024 a las 10:00 y 12:00h
Área recreativa de la Sima de Alcorón
Parque Natural Alto Tajo



Colabora:



Punto de encuentro: Área recreativa de la Sima de Alcorón
Solo previa inscripción mediante email a: geoparquemolinaaltotajo@gmail.com
Más información y folleto en: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024



¡PARTICIPA!



CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro y de partida del recorrido es el área recreativa de la Sima de Alcorón, su acceso se encuentra señalizado junto al Km. 5 de la carretera CM-2101. Desde aquí nos desplazaremos hasta el mirador de Zaorejas.

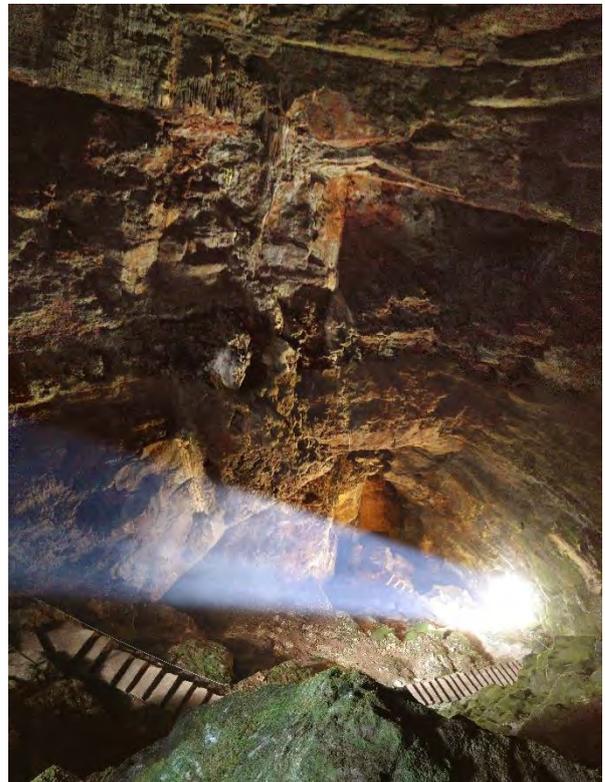


Área recreativa de la Sima de Alcorón

El mirador de Zaorejas también se encuentra señalizado junto al Km 61 de la carretera CM-2015, desde donde parte una pista que nos conduce a él. Normalmente, 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. En ambos lugares existe espacio para aparcar.

ENTORNO GEOLÓGICO DE LA SIMA DE ALCORÓN

La Sima se encuentra en la zona de paramera existente entre Villanueva de Alcorón y Peñalén, en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, un área de meseta con relieves formados por el encajamiento de la red fluvial del río Tajo en su curso alto, disectando las parameras de la zona y formando paisajes kársticos sobre rocas del Jurásico y Cretácico, principalmente calizas y dolomías. Está excavada en dolomías del Cretácico Superior. Bajo ellas, existen niveles margosos que dan paso a las arcillas del Cretácico Medio, pertenecientes a la formación Arenas de Utrillas, estas capas, con baja permeabilidad, detienen la infiltración del agua y favorecen su flujo subterráneo en horizontal, disolviendo la roca y creando multitud de cavidades subterráneas.



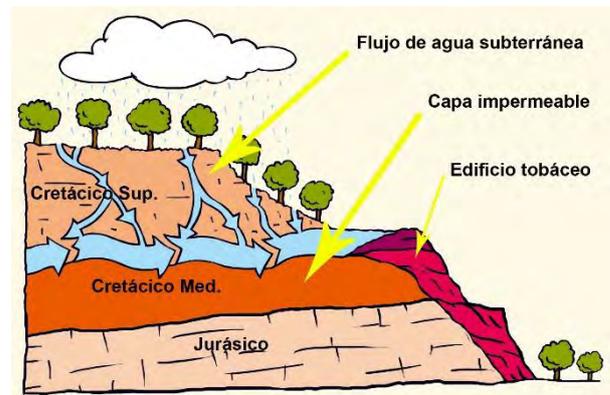
Interior de la Sima de Alcorón

Situado sobre un escarpe calizo al borde del cañón del río Tajo, el Mirador de Zaorejas brinda una privilegiada perspectiva sobre la sucesión de estratos de los períodos Jurásico y Cretácico, así como sobre el modelado que han sufrido durante los períodos Terciario y Cuaternario que incluye la construcción del gran edificio tobáceo del Campillo.



Mirador de Zaorejas

permeabilidad provoca que el agua se acumule en el subsuelo sobre ellas, creando grandes reservorios. Cuando la erosión superficial que da lugar a los valles y gargantas de esta zona corta estos niveles freáticos, se producen surgencias de agua fuertemente saturada en carbonato cálcico, precipitando este y creando los edificios tobáceos.



Esquema del sistema kárstico del edificio tobáceo del Campillo

El estudio de estas formaciones arroja multitud de datos sobre la evolución del encajamiento fluvial, así como de la vegetación existente y la evolución del clima.

EL SISTEMA KÁRSTICO DE LA SIMA DE ALCORÓN

Las calizas del Cretácico Superior que coronan las parameras circundantes, pertenecientes a la formación Dolomías de la Ciudad Encantada, 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. Este flujo del agua subterránea se ve obstaculizado por la presencia de las capas arcillosas del Cretácico Medio, formación Arenas de Utrillas. Su baja



Surgencia temporal y formación tabácea de la Escaleruela.

ITINERARIO



Itinerario del Hidrogeodía 2024 de Guadalajara

El itinerario comienza en el área recreativa de la Sima de Alcorón para, a continuación introducirnos en la cavidad por su estrecha entrada hasta alcanzar su base. Concluimos con la explicación de los múltiples elementos hidrogeológicos y paisajísticos observables desde el Mirador de Zaorejas.

PARADAS

PARADA 1: La Sima de Alcorón y su entorno

Antes de acceder a la cavidad, observamos el particular comportamiento hídrico de las parameras.



Área recreativa de la Sima de Alcorón (Foto Google)

En este entorno podemos descubrir los elementos geomorfológicos que aparecen en un sistema kárstico.



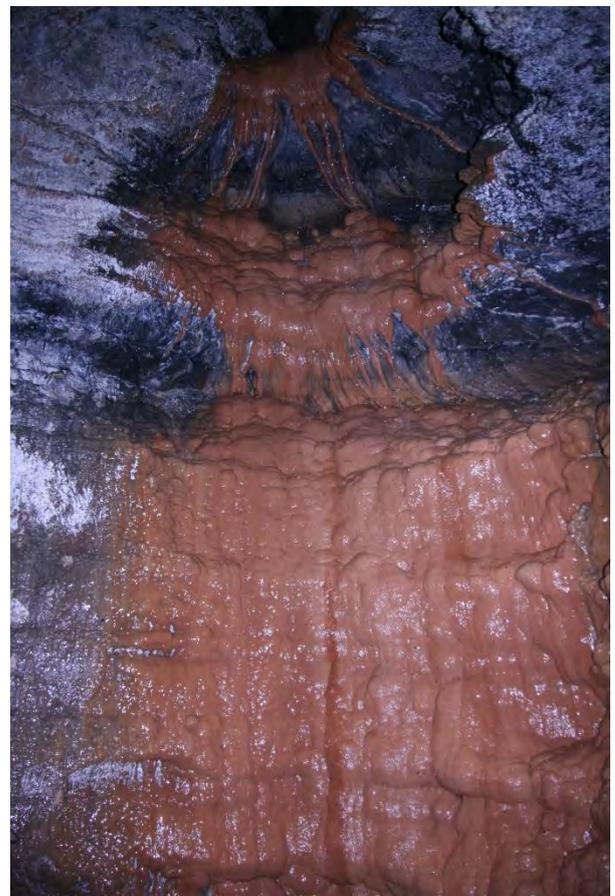
Sala inicial de la Sima (Foto Google)

El descenso por el caos de bloques que conduce a la zona inferior permite observar los procesos de erosión, precipitación y gravedad que se han producido hasta completar la actual configuración de esta cavidad.

La entrada a la Sima es una oquedad angosta que da acceso a una amplia sala subterránea.



Entrada de la Sima (Foto Google)



Precipitación de carbonatos en las paredes de la zona inferior.

El descenso se culmina al llegar al curso de agua subterránea que circula por la base de esta formación caliza, donde podemos comprobar su pureza y gélida temperatura.



Curso de agua subterránea en la base de la Sima (Foto Google)

PARADA 2: Mirador de Zaorejas



Mirador de Zaorejas

Privilegiado emplazamiento desde el que se observan numerosos detalles hidrogeológicos como la sucesión de estratos permeables e impermeables que van desde el Jurásico

Inferior al Cretácico Superior. También podremos comprobar el característico perfil en “V” de estas gargantas.



Cañón del río Tajo

Estudiaremos la superficie de las parameras que se conserva entre las gargantas favorecida por los gruesos bancos de caliza del Cretácico Superior, resistentes a la erosión mecánica. Su topografía es heredada del anterior clima árido del período Terciario. El horizonte muestra en segundo plano la Sierra de Aragoncillo, que destaca topográficamente como montes isla favorecidos por la resistencia de sus materiales cuarcíticos del período Ordovícico.



Panorámica desde el Mirador de Zaorejas

En las zonas de surgencia de agua carbonatada, esta ha construido durante las últimas decenas de miles de años grandes edificios tobáceos.



Surgencia de agua de la Escaleruela

El crecimiento de estas formaciones se ve favorecido por la agitación del agua al manar sobre los escarpes, lo que provoca su desgasificación y liberación de CO_2 , esto, a su vez, estimula la precipitación de carbonato sobre la superficie de las plantas y formando moldes de sus tallos y hojas. Progresivamente, al continuar la precipitación de carbonato, la toba se va rellenando hasta formar la roca, pero manteniendo su aspecto oqueroso.



Edificio tobáceo del Campillo

La toba caliza es una roca ligera, fácil de tallar, pero a la vez relativamente consistente, por lo que es muy utilizada como elemento de construcción. Es fácil encontrarla formando parte de obras tradicionales como muros y

especialmente, por su ligereza, para la formación de arcos y bóvedas.



Toba caliza

AGUA Y SOCIEDAD

Las parameras son zonas en las que no existen manantiales o cursos de agua, el agua de lluvia se infiltra con facilidad, desapareciendo de la superficie, por ello, cavidades como esta son la única posibilidad de aprovisionamiento. Por ello, el ser humano ha tenido que proveerse de este recurso descendiendo hasta el fondo de las simas. Nos encontramos en una zona con escasa presencia humana y nulo desarrollo industrial. El uso tradicional del agua está relacionado con la ganadería y la agricultura, materializada en reducidas explotaciones de regadío dispersas a causa de lo accidentado de la orografía. También se han construido molinos, actualmente en desuso, para la molienda de cereales y la generación de energía eléctrica por medio de pequeñas centrales. Estos aprovechan la energía producida por el agua, al salvar los frecuentes desniveles presentes en los cursos de los ríos de esta zona.



Pequeña presa hidroeléctrica en el río Tajo



Puente de San Pedro, Parque Natural Alto Tajo

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

El agua subterránea es clave para gran la riqueza que poseen estos ecosistemas.

El funcionamiento del sistema hídrico de las parameras calizas tiene un efecto regulador sobre la disponibilidad de agua natural, con 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 preservando multitud de comunidades bióticas de gran riqueza, tanto animal como vegetal. Este efecto regulador también se manifiesta evitando las crecidas en momentos de elevada pluviosidad.

Otro aspecto interesante de este medio es la marcada diferencia entre las laderas de solana, templadas y con cierta aridez, pobladas por comunidades vegetales propias del bosque mediterráneo, y las de umbría, más húmedas y frías, que en ocasiones conservan comunidades relictas de vegetación euro-siberiana.

CONSIDERACIONES

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.

El descenso al interior de la Sima, aunque habilitado con escaleras, presenta cierta dificultad. Se ruega extremar la precaución, especialmente en caso de menores o personas con diversidad en sus capacidades. De cualquier modo, es imprescindible un calzado adaptado a superficies húmedas e irregulares, ropa de abrigo y linterna.

La actividad tiene lugar en un espacio protegido muy sensible, por lo que es obligatorio respetar las normas del Parque Natural, entre las que destacamos:

- Estacionar los vehículos en lugares adecuados, respetando su capacidad máxima y evitando obstaculizar el tráfico, los lugares más indicados son el área recreativa de la Sima de Alcorón y el Mirador de Zaorejas .

- Circular por los caminos a una velocidad máxima de 30 km/h. - Evitar sonidos innecesarios que puedan alterar la convivencia con el medio natural.
- No dejar ningún tipo de residuo. Nuestra única huella debe ser la de nuestro calzado.

PARA SABER MÁS....

www.geoparquemolina-altotajo.es

<https://areasprotegidas.castillalamancha.es/rap/espacios-naturales-protegidos/enp-parque-natural/parque-natural-del-alto-tajo>

Bibliografía:

Calonge, A. y Rodríguez, M. (eds.), 2008. Geología de Guadalajara. Obras colectivas Ciencias 03, Universidad de Alcalá de Henares, 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, Carcavilla, L., Ruiz, R., Rodríguez, E., 2008. Guía geológica del Parque Natural del Alto Tajo. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 267 pp.

<http://www.geoparquemolina.es/web/guest/guia-geologica-del-parque-natural-del-alto-tajo>

HIDROGEODÍA 2024 Guadalajara

ORGANIZAN



Autores de esta guía:

José A. Martínez (Geoparque Mundial UNESCO Comarca de Molina – Alto Tajo)

Enrique Díaz Martínez (Instituto Geológico y Minero de España, CSIC)

COLABORA



CONCURSA



III Concurso de Fotografía
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024

Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH – GE) ¡PARTICIPA!





Huelva - Sevilla

Un paseo hidrogeológico por el Parque Nacional de Doñana:

Las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana



23 de marzo de 2024



EXCURSIÓN GRATUITA

Plazas limitadas: 50
25 plazas desde Sevilla
25 plazas desde Huelva

Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo, agua y comida.

IMPRESCINDIBLE!!
RESERVA PREVIA AQUÍ
Plazo: 15 de marzo 2024



PUNTO DE ENCUENTRO desde Sevilla:(Hora: 8.45 h)
Autobus desde la Avenida de Portugal, cerca del antiguo bar Citroen en frente de la Plaza de España/Sevilla

PUNTO DE ENCUENTRO desde Huelva: (Hora: 8.45 h)
Autobus desde Facultad de Ciencias Experimentales, Campus El Carmen, Av. del Tres de Marzo, s/n, 21071 Huelva

PUNTO DE ENCUENTRO para personas que van con coche privado: (Hora: 10.00 h)
Centro de visitantes de Acebuche

Hora llegada en Sevilla/Huelva (estimada): 15.00 h

Información detallada y folleto de la excursión en: <https://www.iah-ge.org/hidrogeodia-2024/>
e-mail de contacto: jlyancon@upo.es

EL HIDROGEODÍA 2024

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 las provincias de Sevilla y Huelva, el Hidrogeodía 2024 se celebra en el Parque Nacional de Doñana, el sábado 23 de marzo.

CÓMO LLEGAR

Nuestra ruta comenzará en el Centro de Visitantes El Acebuche a unos 3 km de Matalascañas, por la carretera A-483. Desde el desvío, una pista de acceso de unos 2 kilómetros lleva hasta el Centro de Visitantes. Ofrecemos un autobús desde Sevilla y otro desde Huelva para llegar al punto de encuentro, pero también es posible de acercarse con coches privados. La ruta hasta el punto de encuentro se puede descargar pinchando [aquí](#). Desde el Centro de Visitantes El Acebuche entramos con los dos autobuses en el Parque Nacional de Doñana para hacer una primera parada en el Observatorio Científico del CN Instituto Geológico y Minero de España del CSIC (Fig.1).



Figura 1: Observatorio Científico del Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME-CSIC).

La segunda parada será en la laguna Santa Olalla (Fig. 2). Desde la pista transitable nos acercamos andando por un camino arenoso de unos 10 minutos hasta la Laguna.



Figura 2: Laguna Santa Olalla.

Desde la Laguna Santa Olalla regresamos al punto de encuentro Centro de Visitantes El Acebuche y se inicia el regreso a Sevilla y Huelva mediante los autobuses contratados.

Que veremos

El objetivo de esta visita es conocer el sistema hídrico del Parque Nacional de Doñana que es altamente dependiente del acuífero Almonte Marismas. El acuífero Almonte-Marismas, con una extensión de unos 2.700 km², se localiza en el SO de España, en la margen derecha y

tramo final del río Guadalquivir, entre las provincias de Huelva y Sevilla. Administrativamente, la gestión de sus recursos se realiza entre las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir y del Tinto-Odiel-Piedras. Se trata de un acuífero con altas implicaciones ambientales, ya que sobre su superficie se localiza el Parque Nacional de Doñana, una de las reservas biológicas más importantes de la Península Ibérica. Para mejorar el entendimiento actual de la renovación de los recursos hídricos y el funcionamiento de uno de los sistemas lagunares más importantes del Parque Nacional de Doñana se han realizado varios estudios mediante la instalación de un observatorio científico y también mediante la investigación del sistema lagunar Dulce – Santa Olalla – Pajas. Ambos sitios se visitarán en esta excursión.

Parada 1: En la primera parada se explicará el Observatorio Científico del CN Instituto Geológico y Minero de España del CSIC. que consiste en 4 lisímetros de alta precisión y una estación meteorológica. El motivo de la instalación fue la determinación el balance hídrico del suelo, es decir la cantidad de precipitación, infiltración, evaporación y evapotranspiración de las plantas. Mediante un lisímetro de precisión se puede pesar directamente los componentes del balance hídrico del suelo. Estos parámetros son esenciales para estimar la renovación anual de los recursos hídricos subterráneos de la cual dependen tanto los ecosistemas de los humedales como los usuarios, municipios, agricultura y turismo. Aparte de la determinación del balance hídrico del suelo también se pretende estudiar su dependencia del cambio climático con temperaturas más elevadas, diferentes patrones y cantidades de precipitación.

La actual instalación consiste en 4 lisímetros de precisión (dos grandes de 1 m² de superficie y 1.5 m de profundidad, y dos pequeños, denominados Smart Field Lysimeter (SFL), de

0.07 m² de superficie y 0.9 m de profundidad), un pluviómetro de pesada de la marca comercial OTT (Pluvio2) y un tanque de evaporación Clase-A en el lugar de estudio. (Fig. 3 y 4)

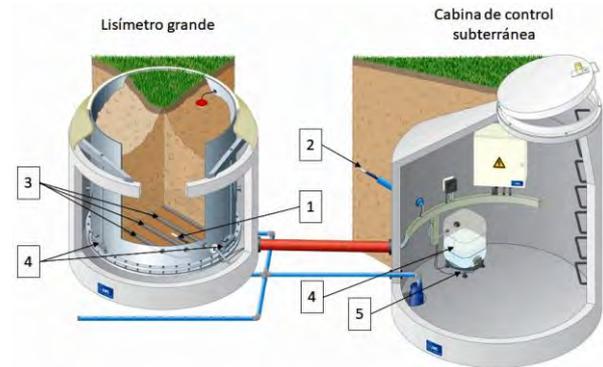


Figura 3: Esquema de instalación de los lisímetros grandes. 1) tensiómetro T8 en la base del lisímetro, 2) tensiómetro T8 en campo, 3) cápsulas de succión cerámicas, 4) balanza que controlan el peso del lisímetro, 5) balanza que controla el peso del recipiente de drenaje 6) recipiente de drenaje.

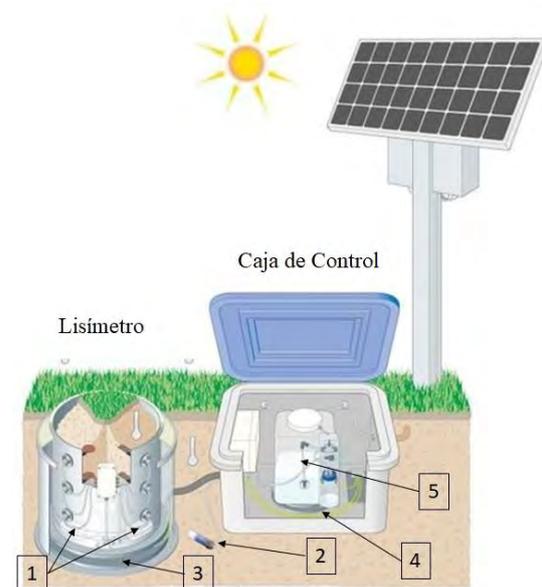


Figura 4: Esquema de instalación de los lisímetros pequeños (SFL). 1) cápsulas de succión y VTENS, 2) tensiómetro T8 en campo, 3) balanza que controlan el peso del lisímetro, 4) balanza que controla el peso del recipiente de drenaje 5) recipiente de drenaje. Fuente: <https://www.hoskin.ca/manufacturers/meter-group.html>

En la figura 5 se pueden observar los diferentes volúmenes de la renovación de recursos hídricos en los diferentes emplazamientos de los lisímetros en función de su cobertura vegetal.

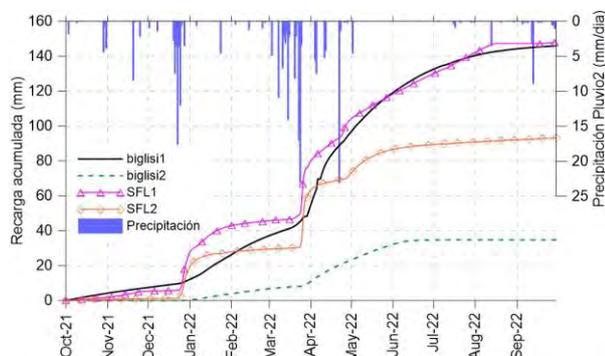


Figura 5: Representación de la recarga acumulada (mm/m^2) en cada uno de los lisímetros para el periodo de estudio (1 de octubre de 2021 a 30 de septiembre de 2022). La precipitación se corresponde con la registrada en el pluviómetro de pesada (Pluvio2).

Parada 2: Laguna Santa Olalla

La laguna de Santa Olalla forma parte de las denominadas lagunas peridunares de Doñana (Figura 6). Dichas lagunas se encuentran ubicadas dentro de los límites de la Reserva Biológica de Doñana a una altitud comprendida entre los 2 m s.n.m. (Sopetón) y los 10 m s.n.m. (Charco del Toro). La mayoría de estas lagunas son de tipo temporal, como es el caso de la laguna de Taraje, Zahillo o Sopetón. La laguna de Santa Olalla, a cota 4,6 m s.n.m., es la única semipermanente. Tan solo se ha secado completamente en los estiajes de 1983, 1995, 2022 y 2023. Es, por tanto, la primera vez que la laguna se seca durante dos estiajes consecutivos desde que hay registros.

La laguna tiene una superficie máxima de 23,5 ha. En épocas muy lluviosas se puede llegar a unir con la cercana laguna Dulce, al W, y la laguna de Las Pajas, situada al E. La laguna tiene instalada una regleta de 2 m de altura en

su zona más profunda. En la regleta hay instalados sensores de medida del nivel y la C.E. del agua con registros horarios desde el año 2015. En las orillas de la laguna hay varios piezómetros, construidos en diferentes fechas, algunos de los cuales están instalados con sensores de nivel y temperatura en continuo, lo cual ha permitido una caracterización precisa del funcionamiento hidrogeológico de ésta y otras lagunas peridunares (Fig. 6).

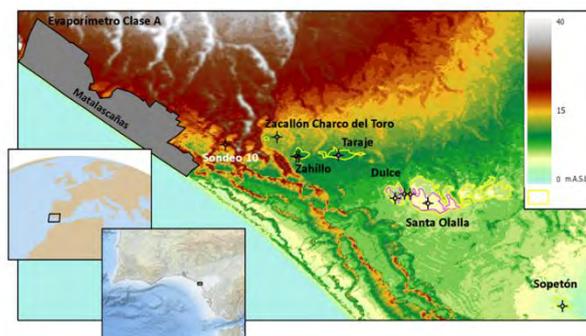


Figura 6: Localización de la laguna de Santa Olalla y otras lagunas peridunares. Los símbolos indican sensores de nivel y temperatura en las lagunas o en piezómetros cercanos.

Funcionamiento hidrogeológico:

El sistema Dulce – Santa Olalla – Pajas es un sistema hidrogeológicamente complejo, que forma parte del acuífero de los mantos eólicos de Doñana. Gracias a medidas horarias de nivel en piezómetros adyacentes, que registran variaciones semidiurnas coincidentes con las oscilaciones mareales (Figura 7) se ha constatado que la dinámica de las lagunas Dulce y de Santa Olalla está en estrecha relación con la dinámica del acuífero de los mantos eólicos (Fernández-Ayuso y Rodríguez-Rodríguez, 2018).

En este sistema, la laguna Dulce, a mayor cota, actúa como una laguna de tránsito o flow-through durante todo el año (Sacks et al., 1992). En la laguna Dulce se produce descarga de aguas subterráneas dulces desde el acuífero

de los mantos eólicos hacia la laguna, por su orilla W. Por otra parte, en el sector E se produce recarga desde la laguna al acuífero, y desde el acuífero hacia la laguna de Santa Olalla.

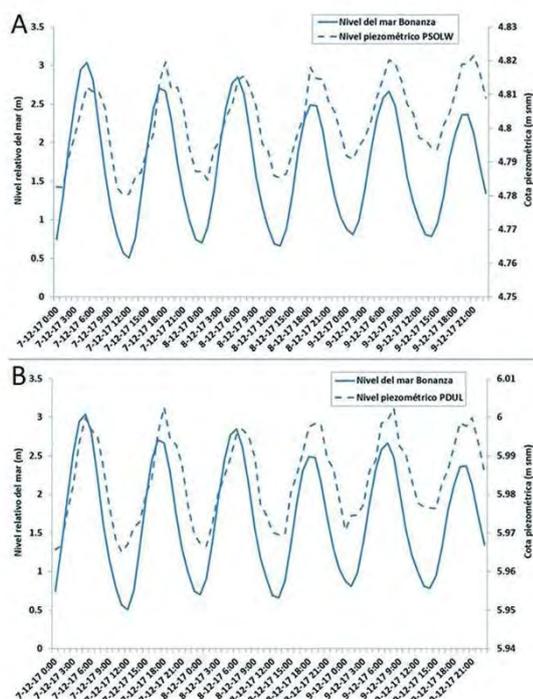


Figura 7: Registros horarios del nivel relativo del mar y el nivel piezométrico en piezómetros instalados en las orillas de las lagunas Dulce y Santa Olalla (Fernández-Ayuso y Rodríguez-Rodríguez., 2018).

La laguna de Santa Olalla constituye un sistema de flujo local de descarga de aguas subterráneas del acuífero de los mantos eólicos (Figura 8). Durante la temporada de lluvias, cuando los niveles están altos, la laguna recibe aguas subterráneas por todo su perímetro. En estiaje, el flujo puede llegar a revertirse y se puede producir la recarga desde la laguna hacia el acuífero en algunos sectores.

La vegetación freatofítica entre la laguna Dulce y Santa Olalla y la vegetación perilagunar también puede disminuir el nivel

freático poco profundo y afectar a la dinámica hidráulica (Sacks et al., 1992).



Figura 8: Croquis del funcionamiento hidrogeológico del sistema Dulce-Santa Olalla-Pajas (Fernández-Ayuso et al., 2023; Rodríguez-Rodríguez et al., 2021)

Los balances hídricos realizados en la laguna de Santa Olalla indican que los aportes subterráneos son del orden del 78% del total de los aportes hídricos (Rodríguez-Rodríguez et al., 2017). El resto de las entradas se produce por precipitación directa sobre la superficie inundada. Las salidas se producen principalmente por evaporación directa, salvo en los momentos en los que se revierte el flujo, como ya se ha comentado.

El agua de la laguna de Santa Olalla tiene carácter salobre. La CE del agua en los últimos años ha oscilado entre 4,7 mS/cm (mayo de 2018) y 18,8 mS/cm (junio de 2022). La laguna Dulce presenta una CE del agua que oscila entre 1,8 mS/cm (abril de 2022) y 5,1 mS/cm (noviembre de 2020). El pH en el agua de ambas lagunas es básico. El agua subterránea es de muy baja mineralización y carácter neutro o ligeramente ácido (pH entre 6,5 y 7,1). La CE del agua de los piezómetros someros en la laguna Dulce (PDUL) es de 0,17 mS/cm y en la laguna de Santa Olalla (PSOLW) de 0,23 mS/cm. La facies hidroquímica del agua, tanto superficial como subterránea, es clorurada – sódica.

Dada la alta transmisividad de los materiales del acuífero, se han registrado gradientes de salinidad y pH en las aguas subterráneas y las

aguas superficiales en la orilla W de la laguna de Santa Olalla (Figura 9) lo cual, de nuevo, es indicativo de la elevada descarga de aguas subterráneas que tiene lugar en las orillas de esta laguna

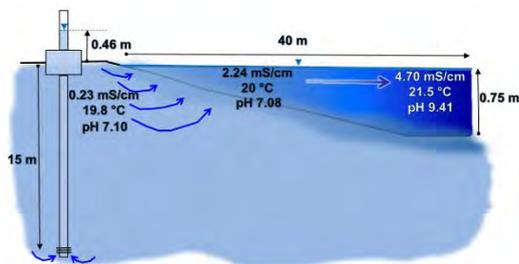


Figura 9: Esquema de los flujos hídricos hacia la laguna de Santa Olalla por su sector W y gradientes de salinidad y pH registrados en mayo de 2018 (Rodríguez-Rodríguez et al., 2018). *El piezómetro representado en el esquema es el PSOLW.

Influencia de las extracciones del acuífero en las lagunas:

Las lagunas más cercanas al complejo turístico de Matalascañas (Charco del Toro, Zahillo y Taraje) han visto reducido significativamente su superficie inundada y su hidroperiodo como consecuencia de las extracciones en Matalascañas (Fernandez-Ayuso et al., 2019). Esta alteración está modificando el funcionamiento hidrológico de las lagunas, pasando de ser lagunas de descarga de flujos locales a lagunas de recarga. La vegetación terrestre está colonizando las cubetas lacustres de estas tres lagunas, alterando su funcionamiento drásticamente. La disminución de las precipitaciones, que desde el año 2011 son menores a la media histórica, unido a lo anterior, ha provocado una intensa degradación en todos estos ecosistemas.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA SEVILLA 2024

PUNTO DE ENCUENTRO desde Sevilla:(Hora: 8.45 h). Autobús desde la Avenida de Portugal, cerca del antiguo bar Citroen en frente de la Plaza de España/Sevilla

PUNTO DE ENCUENTRO desde Huelva:(Hora: 8.45 h) Autobús desde Facultad de Ciencias Experimentales, Campus El Carmen, Av. del Tres de Marzo, s/n, 21071 Huelva

PUNTO DE ENCUENTRO para personas que van con coche privado: (Hora: 10.00 h): Centro de visitantes de Acebuche

Hora de regreso a Sevilla/Huelva (estimada): 15.00 h

Los participantes en la actividad serán las personas **inscritas y aceptadas con confirmación de envío de un correo electrónico.**

Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo, protección solar y repelente de mosquitos, agua y comida.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2024

La actividad estará guiada por los investigadores y profesores Claus Kohfahl (IGME-CSIC), Miguel Rodríguez Rodríguez (Universidad Pablo Olavide), Jose Luis Yanes Conde Rodríguez (Universidad Pablo Olavide) y Maria Dolores Basallote Sánchez (Universidad de Huelva).

Literatura (publicaciones)

Claus Kohfahl, Maarten W Saaltink, Fernando Ruiz Bermudo (2021). Vapor flow control in dune sediments under dry bare soil conditions. *Science of The Total Environment* 786. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147404 .

Kohfahl, C., Saaltink, M. (2020). Comparing precision lysimeter rainfall measurements against rain gauges in a coastal dune belt, Spain. *Journal of Hydrology*, 591. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125580 .

Kohfahl, C.; Fonseca Rodríguez, R.; Ruiz Bermudo, F.; & Vadillo, I. Vapour source and spatiotemporal variation of precipitation isotopes in Southwest Spain. *Hydrological Processes* 2021, 35(12), e14445. Doi: 10.1002/hyp.14445 .

Fernández-Ayuso A, Kohfahl C, Aguilera H, Rodríguez-Rodríguez M, Ruiz-Bermudo F, Serrano-Hidalgo C, Romero-Álvarez C. Control of trace metal distribution and variability in an interdunal wetland. *Sci Total Environ.* 2022 Oct 12:159409. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159409. Epub ahead of print. PMID: 36243073.

Saaltink, M. W., Kohfahl, C., Molano-Leno, L. (2020). Analysis of water vapor adsorption in soils by means of a lysimeter and numerical modeling. *Vadose Zone Journal*, 19(1). Doi: 10.1002/vzj2.20012.

Fernández-Ayuso, A. y Rodríguez-Rodríguez, M. (2018). Cálculo de parámetros hidrogeológicos mediante métodos de influencia mareal en el acuífero de arenas de Doñana (Huelva, España). *Geogaceta*, 64, 51-54.

Fernández-Ayuso, A., Aguilera, H., Guardiola-Albert, C., Rodríguez-Rodríguez, M., Heredia, J., & Naranjo-Fernández, N. (2019). Unraveling the hydrological behavior of a coastal pond in Doñana National Park (Southwest Spain). *Groundwater*, 57(6), 895-906.

Rodríguez-Rodríguez, M., Martos-Rosillo, S., Pedrera, A., & Benavente-Herrera, J. (2015). Ratosá 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>.

Rodríguez-Rodríguez, M., Aguilera, H., Guardiola-Albert, C. y Fernández-Ayuso, A. (2021). Climate influence vs. local drivers in surface water-groundwater interactions in eight ponds of Doñana National Park (southern Spain). *Wetlands*, 41(2), 25.

Rodríguez-Rodríguez, M., Fernández-Ayuso, A. y Moral, F. (2017). Cuantificación de los aportes hídricos subterráneos a la laguna de Santa Olalla a partir de balances hídricos diarios (Parque Nacional de Doñana, Huelva). *Geogaceta*, 61, 47-50.

Rodríguez-Rodríguez, M., Fernández-Ayuso, A., Hayashi, M. y Moral-Martos, F. (2018). Using water temperature, electrical conductivity, and pH to Characterize surface-groundwater relations in a shallow ponds system (Doñana National Park, SW Spain). *Water*, 10(10), 140.

Sacks, L. A., Herman, J. S., Konikow, L. F., & Vela, A. L. (1992). Seasonal dynamics of groundwater-lake interactions at Doñana National Park, Spain. *Journal of Hydrology*, 136(1-4), 123-154.



Huesca



LA PRESA DE SANTA ANA, SU CENTRAL HIDROELECTRICA Y LA HIDROGEOLOGIA DEL ENTORNO

Un ejemplo del aprovechamiento del agua para el hombre.

Agua de boca, Agua para los riegos, Agua para los animales y Agua para la generación eléctrica.

Futuro Parque Geológico y Minero de La Litera y La Ribagorza

17 de marzo de 2024

EXCURSIÓN GRATUITA

Plazas limitadas

Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo, agua y comida.

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA

www.sigmadot.cat

Habrà varios grupos en distintas horas que podréis elegir a la hora de inscribros. A la confirmación de vuestra información se les enviará más información, tal como punto de encuentro y demás normas

Información detallada y folleto de la excursión en:

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024



(PARTICIPA)



III Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeología 2024



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 2024 de la provincia de [Huesca](#) consistirá en una visita guiada por diferentes elementos relacionados con el agua y la hidrogeología del entorno más próximo a la Presa de Santa Ana. Este elemento de la ingeniería se encuentra dentro del municipio de Castillonroy (Huesca) dentro de los límites del futuro [Parque Geológico y Minero de La Litera y Ribagorza](#) y en pleno cauce del río Noguera Ribagorzana.

PARADA 1: CONTEXTO GEOLÓGICO

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 la de esta ruta. Ver Figura 1.

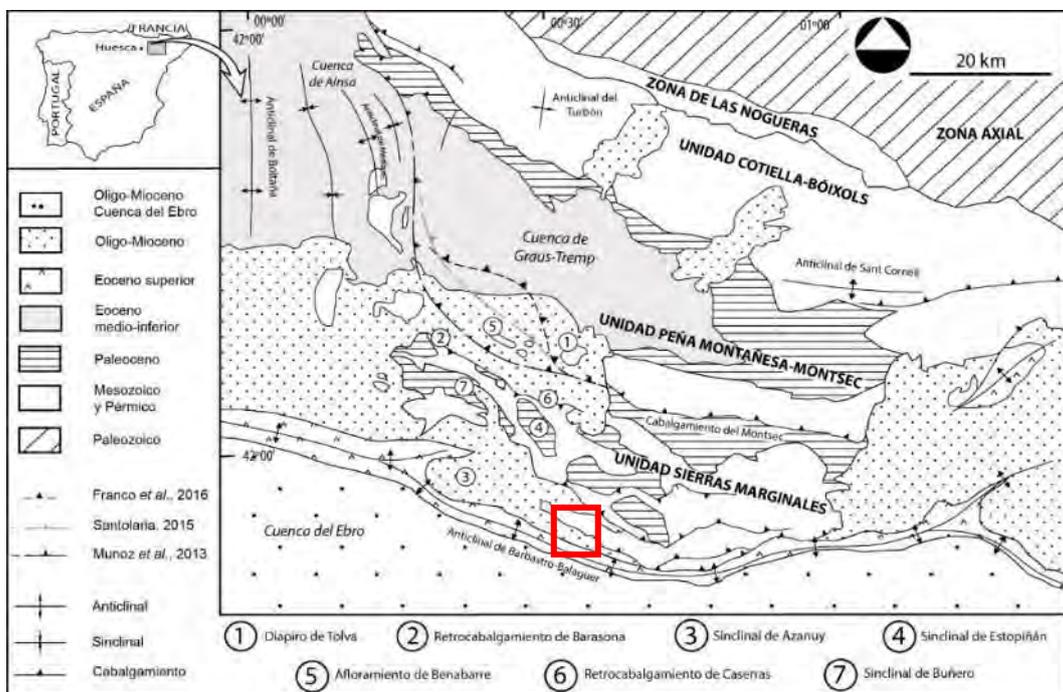


FIGURA 1. Unidad Surpirenaica Central y situación del recorrido. Modificado de Franco y Casas (2016).

La 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 de este Hidrogeodía se desarrollan dentro de la subunidad de Sierras Marginales. Ver Anexo I.

Desde esta parada contemplaremos una espectacular panorámica de las Sierras de San Salvador y Monderes, así como de la salida del congosto de Monderes desde donde podremos adentrarnos al conocimiento general de la geología del Pirineo.

Desde el punto en el que nos encontramos los rasgos más destacables son 2 elementos estratigráficos y estructurales. Ambos resultan algo complejos de identificar y para ello empleamos una mirada geológica profunda del paisaje. Ver Figura 2.

Esta parada se desarrolla en lo que se conoce como frente pirenaico, es decir, nos encontramos al sur de las puertas del Pirineo; el congosto de Monderes constituye un excepcional acceso al interior de la estructura del orógeno pirenaico.

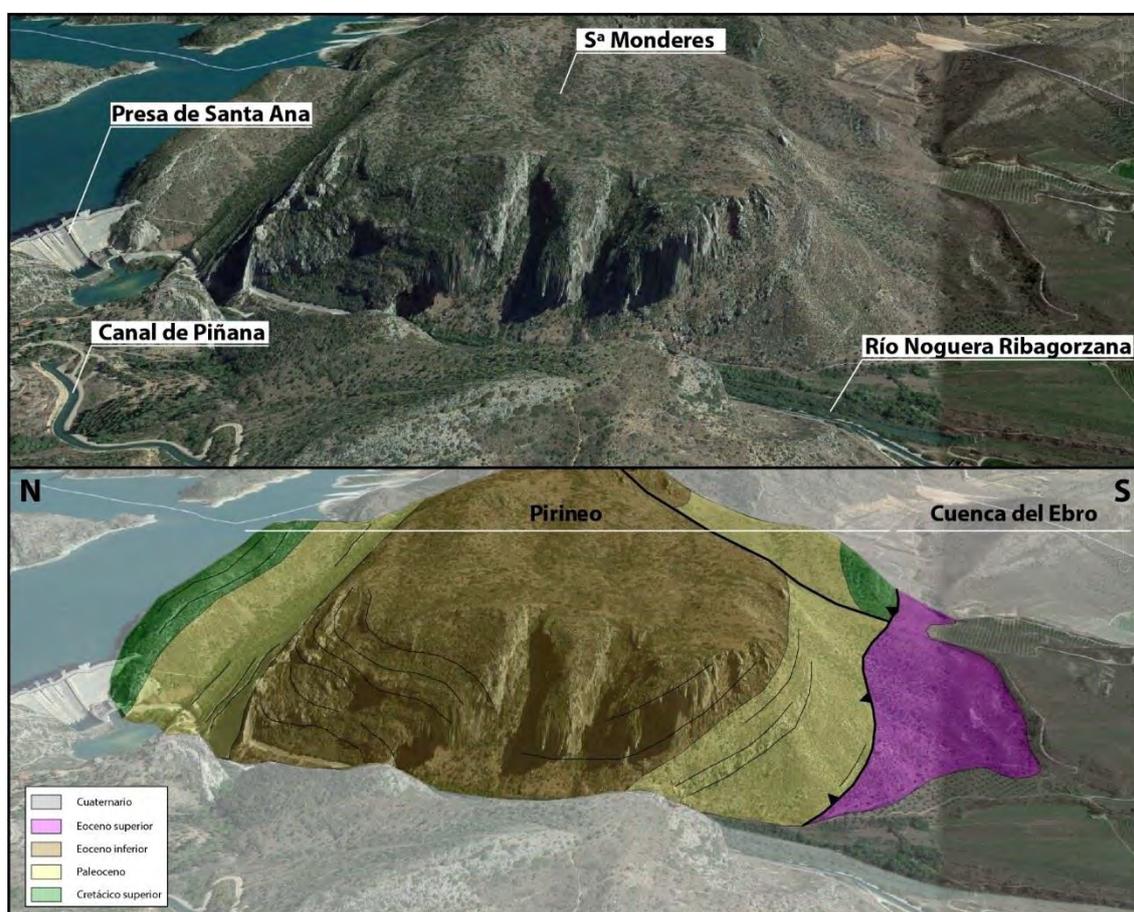


FIGURA 2. Geología del congosto de Monderes.

La geología estructural en este sector es bastante compleja, con abundantes estructuras de deformación y fractura como con pliegues y fallas responsables en buena medida de los relieves y formas que hoy podemos disfrutar desde este punto.

Por otro lado, en el paisaje nos será relativamente fácil reconocer las principales unidades estratigráficas de las Sierras Marginales en las que la litología dominante son las calizas que dan lugar a escarpadas paredes y fuertes desniveles que han sido históricamente aprovechados para la construcción de infraestructuras tan importantes como la presa de Santa Ana. Ver Figura 2.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA ZONA DE LA PRESA

La presa de Santa Ana se halla situada, desde el punto de vista hidrogeológico, en el extremo sudoriental de la Masa de Aguas Subterráneas ALTA LITERA (CHE). La Alta Litera se extiende, en dirección WNW-ESE, desde el río Ésera al Noguera Ribagorzana, en las Sierras Marginales Pirenaicas. En este sector se hallan constituidas por materiales, mayoritariamente, carbonatados del Triásico, Jurásico, Cretácico y Eoceno, a excepción del nivel basal de la unidad que se encuentra constituido por arcillas versicolores, yesos y halita con intercalaciones de rocas ofíticas de la fácies Keuper. Los materiales de la fácies Keuper constituyen el nivel de deslizamiento de las láminas de cabalgamiento que configuran la estructura de la zona, conjuntamente con una serie de sinclinales y anticlinales de extensión local y comarcal.

Los principales acuíferos de la Litera Alta son:

Acuífero Cuaternario granular libre, desarrollado en los materiales aluviales de La Noguera Ribagorzana.

Acuíferos carbonatados del Muschelkalk, acuíferos cársticos confinados.

Acuíferos carbonatados del Cretácico superior y Eoceno inferior, acuíferos cársticos confinados.

Por último, cabe mencionar que la circulación de agua a través de los materiales de la fácies Keuper ha disuelto los yesos y la halita, formándose un acuífero o drenaje de aguas salinas.

Los acuíferos presentes en la zona de visita se hallan condicionados por la disposición estructural de los materiales, desarrollándose acuíferos locales, libres y confinados, con zonas de recarga y descarga individuales, sin conexión hidráulica entre sí o bien muy mal conectados y drenados por manantiales que emergen en las zonas de contacto del acuífero con materiales impermeables o bien con estructuras geológicas.

Los tres manantiales de la zona de visita se hallan indicados en el mapa geológico. La fuente de Santa Ana, señalizada en el mapa geológico con el número 1, es el drenaje del acuífero cárstico desarrollado en el sinclinal de Monpedró (San Salvador), una pequeña estructura que comprende materiales carbonatados, mayoritariamente, calizas bioclásticas, del Cretácico superior y del Eoceno inferior. El eje del sinclinal presenta una dirección NNW-SSE y buzamiento hacia el SSE, favoreciendo el drenaje del acuífero, exclusivamente, a través de la fuente de Santa Ana. La conductividad de sus aguas es de 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Actualmente, en febrero de 2024 la fuente se ha secado por efecto de la prolongada sequía que afecta a la zona.

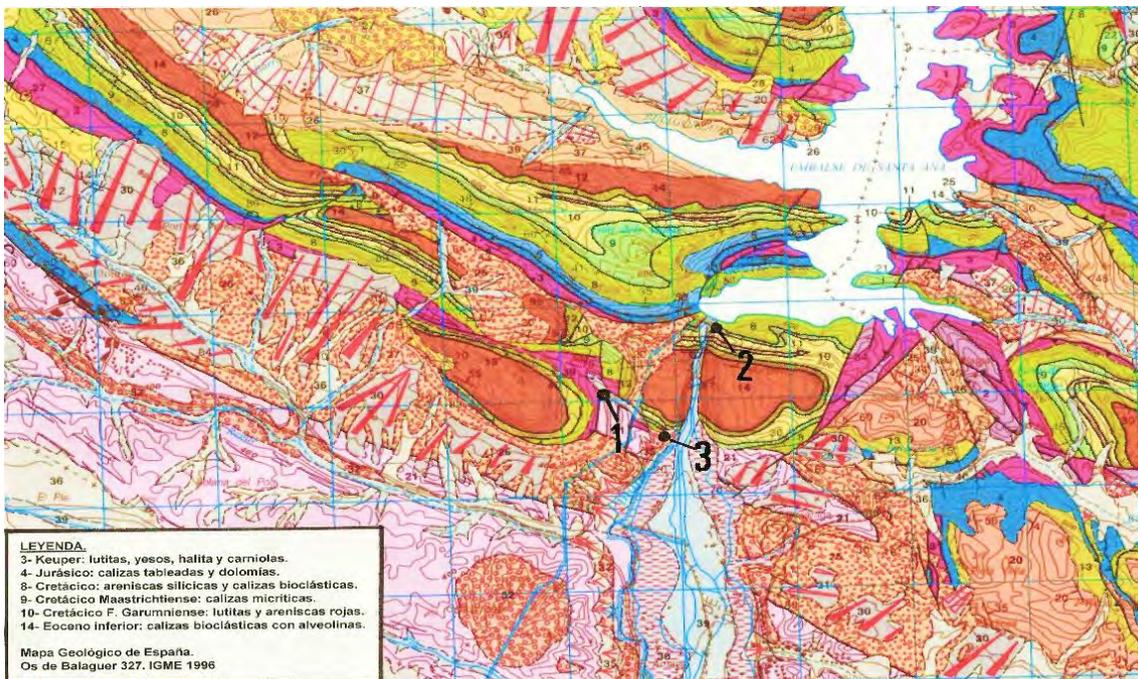
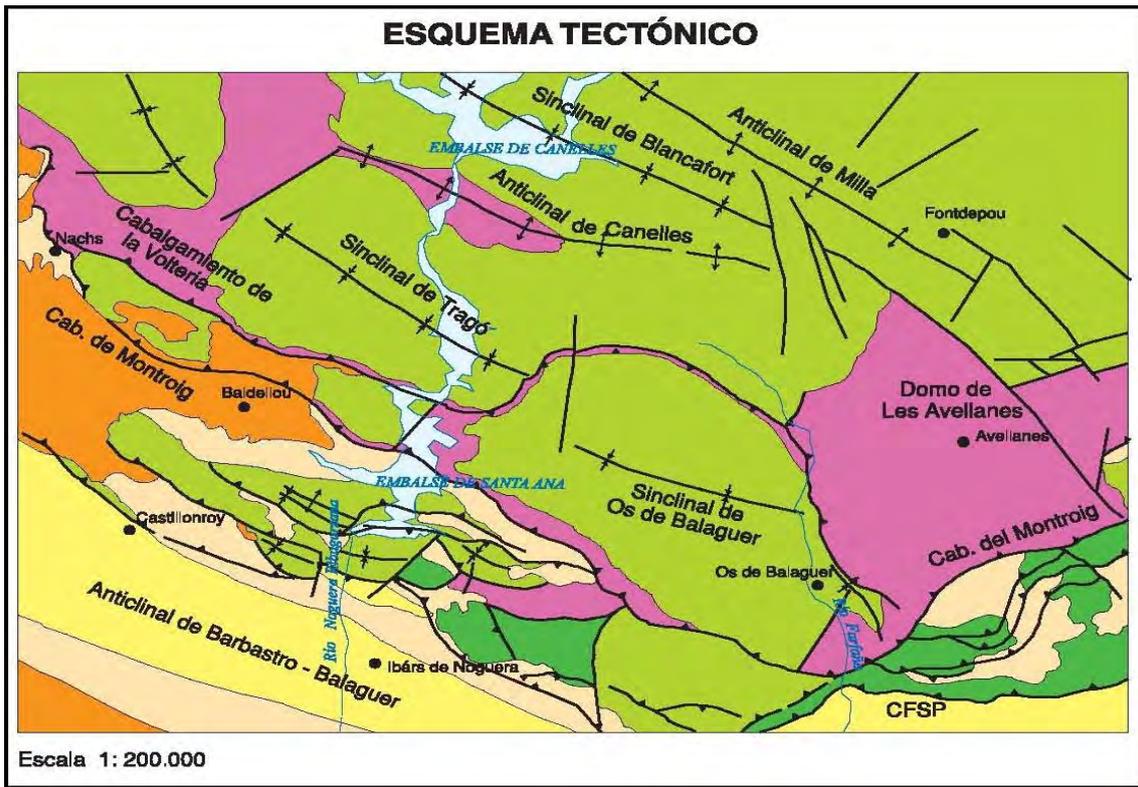


FIGURA 3. Mapa geológico y estructural de la zona. Situación de los manantiales y fuentes.



FIGURA 4. Fuente de Santa Ana, febrero 2024.



FIGURA 5. Fuente en la base de la presa.

El manantial indicado en mapa geológico con el número 2 es el drenaje de agua infiltrada del embalse a través de los materiales carbonatados del Cretácico superior que constituyen el estribo izquierdo de la presa. El caudal es continuo y constante durante todo el año y la conductividad de sus aguas es de alrededor de los 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Finalmente, el manantial indicado con el número 3 en el mapa geológico presenta un caudal constante de unos 60 l/seg y la particularidad de que sus aguas tienen una conductividad de 1.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. debido a su circulación a través de los materiales de la fácies Keuper del Triásico, que como ya hemos mencionado anteriormente, se hallan constituidos por arcillas versicolores con niveles de yesos y halita, siendo la disolución de los yesos y la halita el factor que incide en la elevada conductividad de sus aguas. El manantial que emerge en los materiales de la fácies Keuper se secó totalmente en los primeros días del vaciado total del embalse de Santa Ana en el año 1988, vaciado llevado a cabo para reparar las compuertas de fondo, y luego volvió emerger el caudal en cuanto se llenó de nuevo el embalse, hecho que nos lleva a la conclusión que las aguas de dicho manantial provienen de la infiltración de aguas del embalse Santa Ana a través de los materiales de la fácies Keuper.



FIGURA 5. Manantial salino del barranco de Montpedró.

PARADA 2: ESTACIÓN DE AFORO A097 LA PIÑANA.

Una estación de aforo es una infraestructura hidráulica instalada en una sección del lecho de un río utilizada para medir el caudal (m^3/seg) circulante del río a lo largo del tiempo, pidiéndose determinar el volumen de agua (hm^3) anual que aporta del río en dicho punto.

La ubicación de una estación de aforo depende de varios factores, como el interés hidrológico del río (existencia de otras estaciones de aforo aguas arriba o aguas abajo), la accesibilidad, la topografía, la vegetación y los procesos de sedimentación existentes (pendientes y rugosidades locales), las precipitaciones, los costes,...

El objetivo de un aforo es determinar el hidrograma (curva caudal – tiempo) para los estudios de planificación hidrológica (volumen de agua que podemos disponer) y para la gestión de las avenidas.

El hidrograma lo obtenemos mediante la aplicación al limnigrama (nivel de agua – tiempo) la función matemática “curva de gastos” que relaciona la altura de la lámina del agua con el caudal que circula por la sección del río.

Necesitamos conocer, la medida continua de la altura de la lámina del agua circulante y la curva de gastos que es característica de cada estación de aforo. Una estación de aforo debe tener los siguientes elementos: un canal de aguas altas, un canal de aguas bajas (para obtener una altura de lámina de agua adecuada para su medición), una caseta para la instalación de los equipos de medida que en su base se halle conectada hidráulicamente con el lecho del río, así obtengamos una lámina de agua constante y evitamos el régimen turbulento del cauce abierto que puede ocasionar variaciones de la lámina del agua y una escala limnimétrica en centímetros situada en la pared de uno de márgenes de la estación.

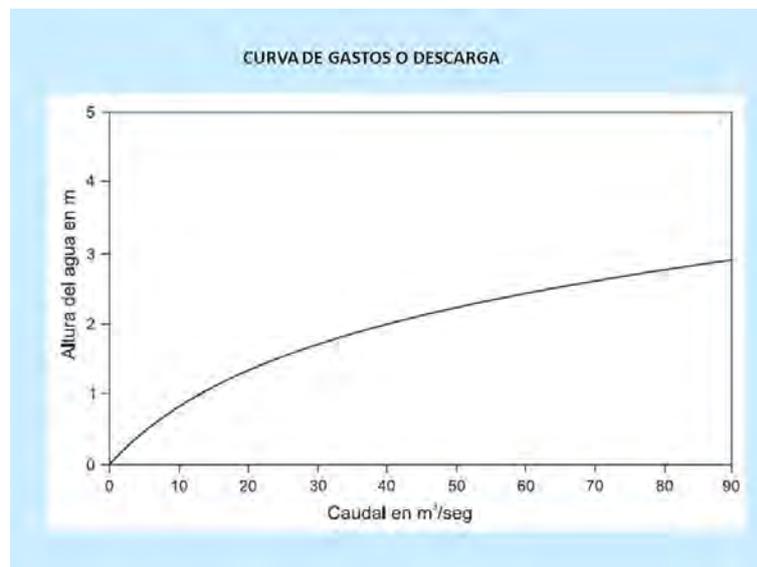


FIGURA 6. Curva de gastos de una estación de aforo. Fuente CHE

La curva de gastos es exclusiva de cada estación de aforo y nos proporciona el caudal (Q , m^3/seg . o l/seg .) para cada altura de la lámina de agua circulante (H , m .). El caudal circulante es proporcional a la sección que ocupa el agua en el cauce y a su velocidad media; por tanto,

debemos medir la velocidad media en diversos perfiles de la sección del cauce mediante un molinete o bien con un perfilador acústico Doppler, repitiéndose la medida en diversas ocasiones.

La escala limnimétrica instalada en la pared del margen de la estación de aforo nos proporciona la altura del agua circulante y basándonos en la curva de gasto es inmediato deducir el caudal circulante

Determinada la curva de gasto de la estación de aforo debemos obtener un registro continuo de la altura de la lámina de agua circulante y su almacenamiento y/o transmisión al centro de control y gestión de una cuenca; para ello, debemos instalar un limnígrafo en la caseta adosada a la estación de aforo. Un limnígrafo es un instrumento formado por tres dispositivos: un elemento sensible (un flotador y contrapeso o un manómetro) en contacto con el agua un sistema que traduce a escala y registra los niveles de agua y un mecanismo de relojería que proporciona una escala de tiempo y se halla accionado mecánicamente o bien por baterías.

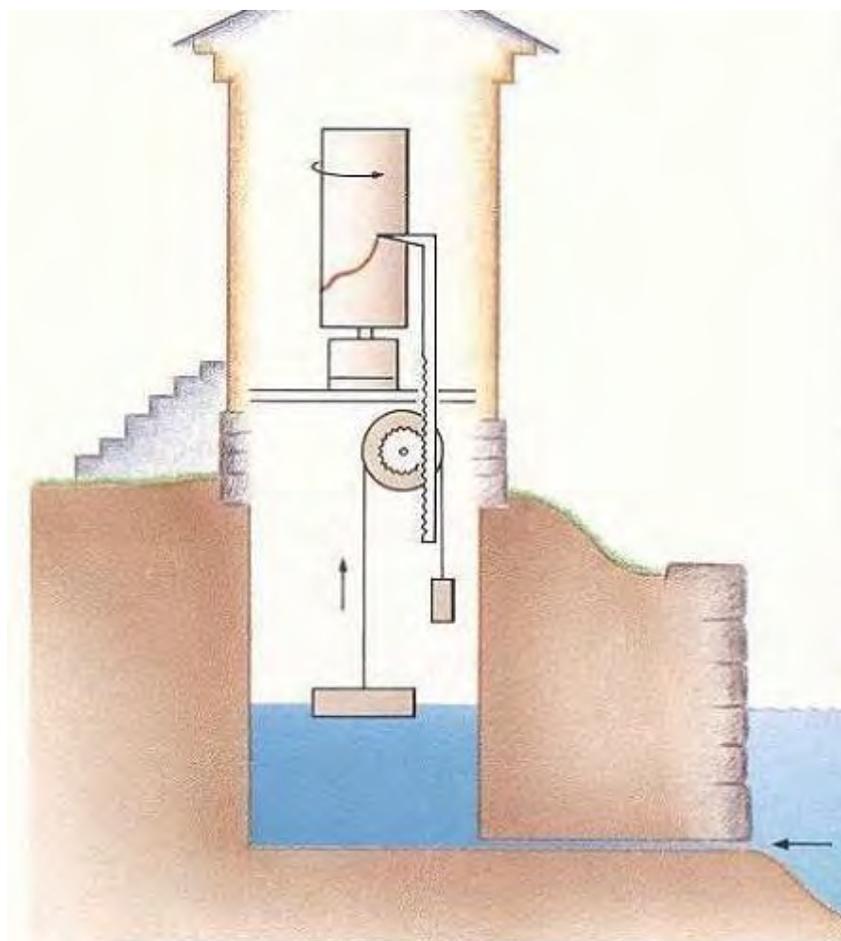


FIGURA 7. Esquema del registro de los niveles de la lámina de agua. Instalación del limnígrafo.

La cuenca del Ebro dispone de una red oficial de estaciones de aforo (ROEA) constituida por 234 estaciones distribuidas a lo largo de toda la cuenca.

Los datos registrados en dichas estaciones son almacenados o bien transmitidos a tiempo real (cada 15 minutos) al Centro de Proceso de Cuenca, Sistema Automática de Información

Hidrológica (SAIH), que la Confederación Hidrográfica del Ebro, organismo gestor del agua de la cuenca, tiene instalado en su sede central en Zaragoza.

El SAIH tiene instaladas 4 estaciones de aforo en la cuenca de La Noguera Ribagorzana.

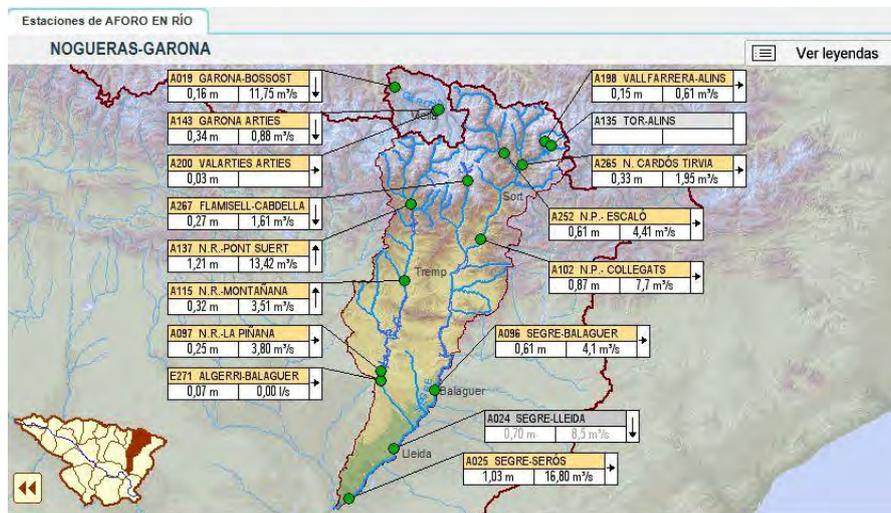


FIGURA 8. Estaciones de aforo del SAIH de la CHE. Datos del 16 de febrero de 2024. Fuente CHE.

La estación de aforo A097 N.R. La Piñana se halla situada en pleno congado de Piñana a unos 1.300 metros aguas debajo de la presa de Santa Ana.

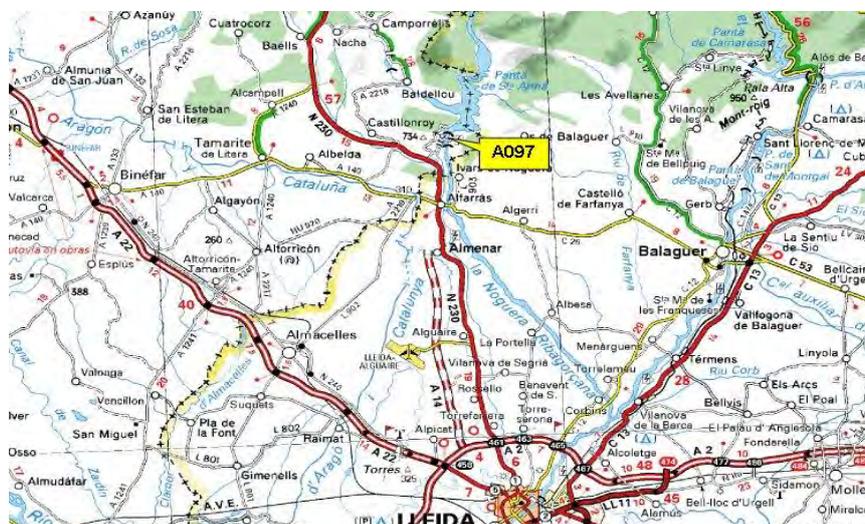


FIGURA 9. Situación de la EA A097 La Piñana. Fuente CHE.

La estación de La Piñana tiene una cuenca drenante de 1.757 km², siendo la superficie total de la cuenca de La Noguera Ribagorzana de 2.056 km² y una longitud de 130 km.



FIGURA 10. Estación de aforo A097 La Piñana. Se observa a la derecha el canal de aguas altas y el canal de aguas bajas por donde circula el agua. A la derecha podemos observar la caseta donde se halla instalado el limnógrafo: los mecanismos de medida del nivel de la lámina de agua, su almacenamiento y equipo de transmisión de datos.





FIGURA 11. Estación de aforo a097 La Piñana. Escala limnimétrica y abertura entrada pozo lectura niveles.



FIGURA 12. Limnógrafo instalado en la EA A097 que genera el limnigrama.



FIGURA 13. El canal de aguas bajas y el canal de aguas altas instalado en la estación de aforo.

La estación de aforos de La Piñana se construyó en el año 1946.

Embalses de la cuenca de La Noguera Ribagorzana.

Embalse	Río	Capacidad (hm ³)
Baserca	N. Ribagorzana	22,8
Llauset	Llauset	15,4
Cavallers	N. Tor	15,8
Escales	N. Ribagorzana	152,4
Canelles	N. Ribagorzana	678
Santa Ana	N. Ribagorzana	237
TOTAL		1.121,4

Los datos obtenidos en la estación de aforo A097 La Piñana el caudal medio nos permiten caracterizar el régimen hidrológico del río Noguera Ribagorzana y en base a los datos históricos de la CHE, MITECO y del trabajo “Aspectes hidrològics i geomorfològics del trem final de La Noguera Ribagorzana” del Grupo RIUS de la Universitat de Lleida podemos comentar:

Período de régimen natural (1946-1960) Previo a la construcción embalse Santa Ana.

Aportación hídrica media anual 685 hm³.

Caudal medio 21,7 m³/seg. Los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y octubre presenta caudales superiores al caudal medio; siendo el caudal medio inferior el resto de los meses del año.

Caudal máximo registrado 350 m³/seg.

Caudal mínimo registrado 3,7 m³/seg.

La aportación máxima registrada ha sido de 1.541,7 hm³ en el año 1959-60.

El año más seco fue el 1956-57 con una aportación de 370 hm³.

Período de régimen regulado (1960-actualidad) Después construcción embalses.

Aportación hídrica media anual 536 hm³.

Caudal medio 17 m³/seg. Los meses de mayo, junio, julio y septiembre presenta caudales superiores al caudal medio; siendo el caudal medio inferior el resto de los meses del año.

Caudal máximo registrado 188,7 m³/seg.

Caudal mínimo registrado 0 m³/seg.

La aportación máxima registrada ha sido de 960 hm³ en el año 1971-72.

El año más seco fue el 1991-92 con una aportación de 222 hm³.

Existe una clara tendencia desde el inicio de este período a la actualidad a una disminución de las aportaciones de la cuenca.

Considerando toda la serie de los datos estudiados, desde el año 1946, podemos comentar que existe una aportación media de 322,3 hm³ con un máximo de 1.541,7 hm³ y un mínimo de 221,1 hm³.

El caudal máximo histórico es de 344 m³/seg. (31/05/1951) con un máximo instantáneo de 1800 m³/seg (24/10/1907, año de la avenida que afectó toda la cuenca).

Los suministros de agua desde el embalse de Santa Ana al canal de Aragón y Catalunya, al canal de Pinyana, a la acequia de Ivars, al canal de Algerri – Balaguer, al basatecimiento de la Mancomunidad de Aguas de Pinyana y al municipio de Castillonroi han incidido en la evolución de los caudales observados en la estación de afora A097 La Piñana.

ESTACIÓN DE AFORO BARRANCO DE MONPEDRÓ.

Existe una estación de aforo del tipo de vertedero triangular instalada en el barranco de Montpedró, unos 100 metros aguas arriba de su desembocadura en el canal de Piñana.

El barranco de Montpedró drena el margen norte de la Sierra de San Salvador, presenta un régimen esporádico y una vez cruza el canal de enlace del canal de Aragón y Cataluña recoge las aguas de un manantial que le aporta un caudal constante durante todo el año. Las aguas del manantial presentan elevada salinidad (conductividades de unos 2.000μS/cm) y provienen del drenaje de las aguas infiltradas desde el embalse de Santa Ana a través de los materiales del Keuper (nivel de contiene sales y yesos). El origen de su infiltración desde el embalse de Santa Ana se evidenció en el año 1988 cuando se procedió al vaciado total del embalse para la reparación de las compuertas de fondo, secándose totalmente dicho manantial y volviendo a drenar agua al volver a llenar el embalse.

La estación de aforo mediante un vertedero triangular se instala para la medición de pequeños caudales que fluyen por lecho de determinados cauces. Consiste en la instalación, en una sección de un cauce de aguas, de una pantalla con una abertura, en forma de V, en su parte central por donde fluye el agua y un sistema de medida de la altura de la lámina de agua que circula por la sección.

Para la determinación del caudal circulante utilizamos la siguiente fórmula:

$$Q = K H^{5/2}$$

Siendo: Q el caudal en m³/seg.; K Cte, cuyo valor depende del ángulo de la V del dispositivo que interfiere el flujo del agua del cauce. En nuestro caso, dado que el ángulo de drenaje del dispositivo es de 90° el valor de K es de 1,386

H Altura de la lámina de agua medida en un pozo conectado hidráulicamente al lecho del cauce para conseguir un nivel de agua sin turbulencias, donde se ha instalado una escala limnimétrica.

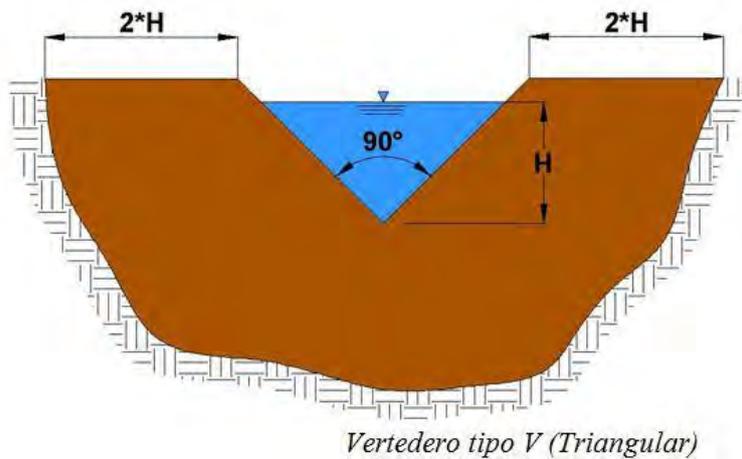


Figura 14. Esquema de un vertedero triangular para la determinación del caudal circulante.
C.Palma Villavicencio. U.T.Manabí.



Figura 16. Vista detalle del vertedero triangular



FIGURA 17. En el margen izquierdo observamos la arqueta de acceso al pozo de medida medida del nivel de la lámina de agua.



FIGURA 18. Pozo de medida del nivel de la lámina de agua circulante mediante una escala limnimétrica.

PARADA 3: PRESA DE SANTA ANA

Las infraestructuras hidráulicas son sistemas y estructuras diseñadas para gestionar, distribuir y utilizar recursos hídricos con eficiencia y sostenibilidad. Desde presas hasta estaciones de bombeo, estas infraestructuras son fundamentales para el suministro de agua potable, la irrigación agrícola, la generación de energía y el control de inundaciones. La presa de Santa Ana forma parte de la estructura de un aprovechamiento hidráulico. (Figura 19.)

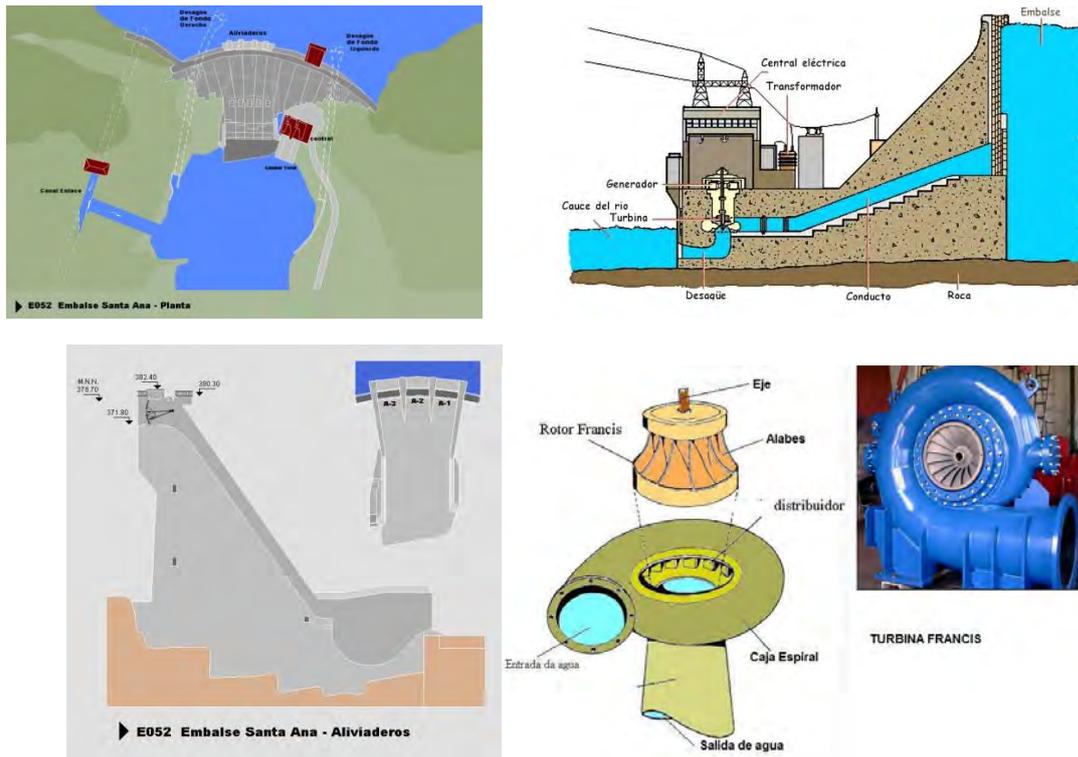


FIGURA 19. Esquema del aprovechamiento hidráulico y elementos funcionales de la estructura de la presa de Santa Ana.

Localización y contexto del aprovechamiento

La presa de Santa Ana se encuentra situada en el cauce del río Noguera Ribagorzana, afluente del Segre por la margen derecha, en el término municipal de Castillonroy, en la provincia de Huesca. El río Segre, a su vez, es afluente del Ebro por la margen izquierda. El río Noguera Ribagorzana nace en el Valle de Arán. Desde su nacimiento hasta la presa de Santa Ana transcurre por el límite de provincia entre Huesca y Lérida. Los principales afluentes que aportan sus aguas al río Noguera Ribagorzana son por la margen derecha: Salenc, Llauset, Ballera, Aulet, Sobrecastell, San Juan, Guart; y por la margen izquierda: Bizbe, Noguera de Tort y Viu.

La cuenca aportante del embalse de Santa Ana está situada en la zona oriental de Huesca y occidental de Lérida. Limita al norte con los Pirineos y al sur con la presa de Santa Ana. Su superficie es de 1.761,40 Km². La zona inundada por el vaso del embalse pertenece a tres términos municipales: Estopiñán, Baldellou y Castillonroy (Huesca) e Ibars de Noguera (Lérida). El río Noguera Ribagorzana tiene a lo largo de su cuenca una serie de embalses cuya función,

entre otras, es el aprovechamiento energético y la regulación de su caudal: el embalse de Escales, el embalse de Canelles y, por último, el pantano de Santa Ana, todos ellos situados en los límites de provincia entre Lérida y Huesca. Además, también para el aprovechamiento energético dispone de otras cuatro centrales: la Central de Senet, Central de Bono, Central de Vallers y la Central de Pont de Suert (Figura 20).

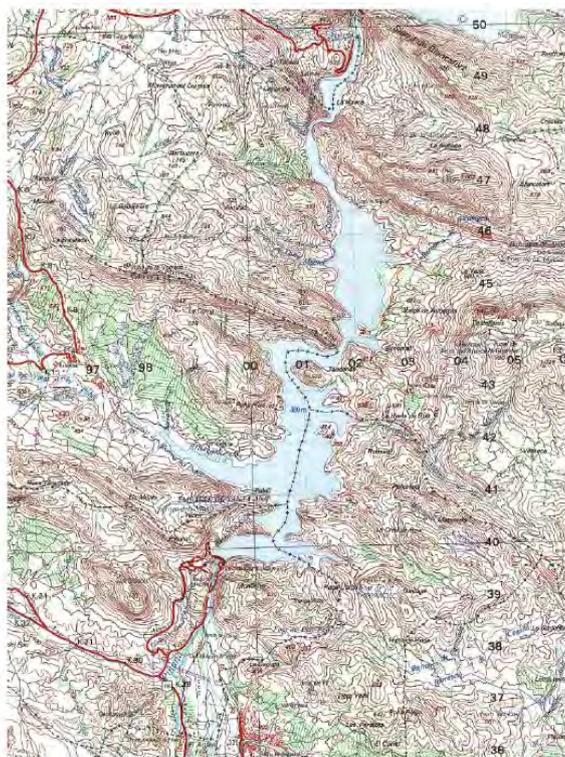


FIGURA 20. Localización de la presa de Santa Ana

Antecedentes e historia del aprovechamiento

La obra que nos ocupa pertenece al conjunto de planes que la poderosa entidad “Riegos y Fuerza del Ebro” (Canadiense) se aseguró por todos los ríos del territorio catalán. A principios del siglo XX se estudiaron los aprovechamientos de riego del río Noguera Ribagorzana. El más importante de todos era el Canal de Piñana, que arrancaba de una pequeña presa de derivación de unos 5 m de altura a la salida del estrecho de Santa Ana (en el tramo medio bajo del Noguera Ribagorzana, provincia de Huesca) que regaba el canal.

El canal de Piñana, situado 600 metros aguas abajo de la presa de Santa Ana, fue construido en el año 1147 con el objetivo inicial de derivar las aguas de la Noguera Ribagorzana durante los meses de verano, para hacer frente a la demanda de agua por parte de los regantes de la parte baja de la cuenca de la Noguera Ribagorzana. En el año 1941, el agua del canal fue objeto de una serie de concesiones hidroeléctricas que llevaron a que se desviara agua del río hacia el canal de manera permanente, fuera o no época de crecida. Posteriormente, la creciente demanda de agua por parte de las empresas hidroeléctricas propició que en el año 1953 se iniciaran las obras de construcción del embalse de Santa Ana.

En mayo de 1917, se otorgó a D. Domingo Sert el derecho de aprovechamiento de las aguas del río Noguera Ribagorzana para fines industriales y de riego, mediante la construcción de un embalse en el desfiladero de Santa Ana. Este proyecto implicaba la construcción de una presa en el Puente del Diablo, con una altura de 83 metros, embalsando hasta la cota de 390 metros sobre el nivel del mar. La presa incluiría una central eléctrica en su base, un canal de 32,2 kilómetros de longitud y capacidad para 35 m³/s, destinado a la generación hidroeléctrica a través de cinco saltos, desaguando en el río Segre aguas abajo de Menarguens, y otro canal para riego en la zona de Balaguer (Figura 21).



FIGURA 21. Imágenes históricas de la presa de Santa Ana años 1956 y 1957. Fuente: (CHE)

Tras diversos informes y estudios derivados de objeciones al proyecto de concesión presentadas en la consulta pública, se solicitó la elaboración de un proyecto alternativo por parte de la Confederación. Este nuevo proyecto incluía los sistemas de riego del Canal de Aragón y Cataluña, así como los resultados de estudios hidrológicos y geológicos realizados. Entre los informes y estudios presentados, se destacan por su importancia el de D. Agustín Marín y Beltrán de Lis en 1925 y el de D. Fausto Gómez Simón en 1930. El primero de ellos analizó las condiciones geológicas del terreno para las obras en Santa Ana, resaltando la ventaja de poder regular los caudales del Noguera Ribagorzana, único río en la cuenca del Segre sin embalses reguladores. En el segundo informe se indicó que el suministro de agua para el área de riego del bajo Noguera Ribagorzana se cumplía con los recursos de este río, con un excedente disponible para mejorar la dotación del Canal de Aragón y Cataluña mediante un canal de enlace desde el estrecho de Santa Ana hasta el Coll de Foix, y aún sobrante para aprovechamiento hidroeléctrico (Figura 22).

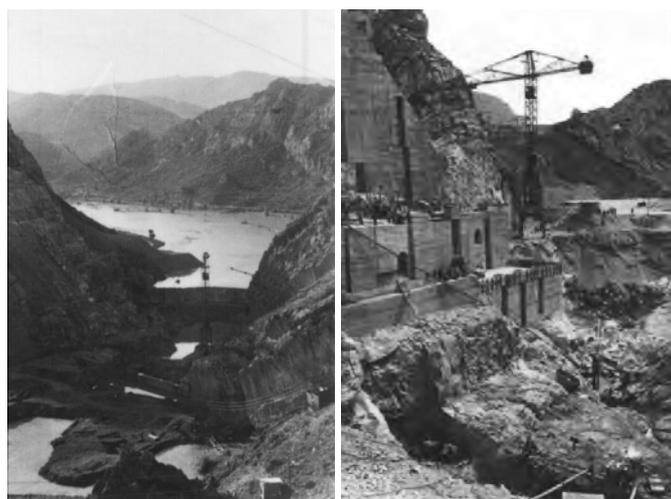


FIGURA 22. Imágenes históricas de la presa de Santa Ana año 1955 y 1956. Fuente: (CHE)

La construcción del embalse de Santa Ana comenzó el 11 de septiembre de 1953 dirigidas por el ingeniero Miguel Urquijo Landaluce y se dieron por finalizadas el 24 de marzo de 1964. Pasaron al servicio de explotación el 3 de octubre de 1969. Su operación significó que la derivación de agua a través del canal de Pinyana estuviera principalmente determinada por las necesidades de producción de energía de las empresas hidroeléctricas. A menudo, el caudal que circulaba por el canal resultaba insuficiente para satisfacer la demanda de agua de las 13.495 hectáreas de regadío que componen el triángulo formado por el propio canal de Piñana, el canal de la Noguera y el canal del Segre. Esta forma de gestión condujo a conflictos entre la comunidad de regantes y las empresas hidroeléctricas, resueltos en 1992 mediante el Pacto de Piñana. Básicamente, este acuerdo entre la Diputación General de Aragón, la Generalitat, las empresas hidroeléctricas y la comunidad de regantes busca reducir el volumen de agua turbinada destinada a la generación de electricidad y almacenar el excedente en el embalse para el riego durante el verano. Antes del pacto, las centrales hidroeléctricas utilizaban un caudal de 11,3 m³/s durante los 365 días del año. Además, la central ubicada aguas abajo de la presa tenía autorización para turbinar libremente según la demanda eléctrica. El pacto estableció que el caudal turbinado desde el embalse estaría sujeto a las necesidades de los regantes del Canal de Piñana, es decir, que solo se permitiría la turbinación durante las épocas de crecida. Durante el resto del año, el agua se almacenaría en el embalse (Figura 23).



FIGURA 23. Imagen histórica de la presa de Santa Ana año 1959. Fuente: (CHE)

Características generales de la presa de Santa Ana

La presa de Santa Ana crea un embalse de capacidad 236,60 Hm³, y se encuentra situada aguas abajo de la presa de Canelles, actualmente en explotación. Ambos embalses ocupan el cauce del río Noguera Ribagorzana en una longitud de unos 40 Km. Esta presa se construye para regular las aportaciones del río Noguera Ribagorzana. Su finalidad es la producción de energía eléctrica, el abastecimiento y el riego. La central eléctrica de ENHER es de pie de presa y está situada en la margen izquierda. Abastece de agua al poblado de la presa mediante una toma inicialmente prevista para el abastecimiento de Lérida cuya actual toma se encuentra ubicada en el Canal de Enlace. Suministra agua para riego, alimentando los regadíos en el Valle del Segre, en la zona de Balaguer y en el tramo bajo del Noguera Ribagorzana. Asimismo, por el canal de enlace suministra al Canal de Aragón y Cataluña un caudal máximo de 21 m³/s (Figura 24).

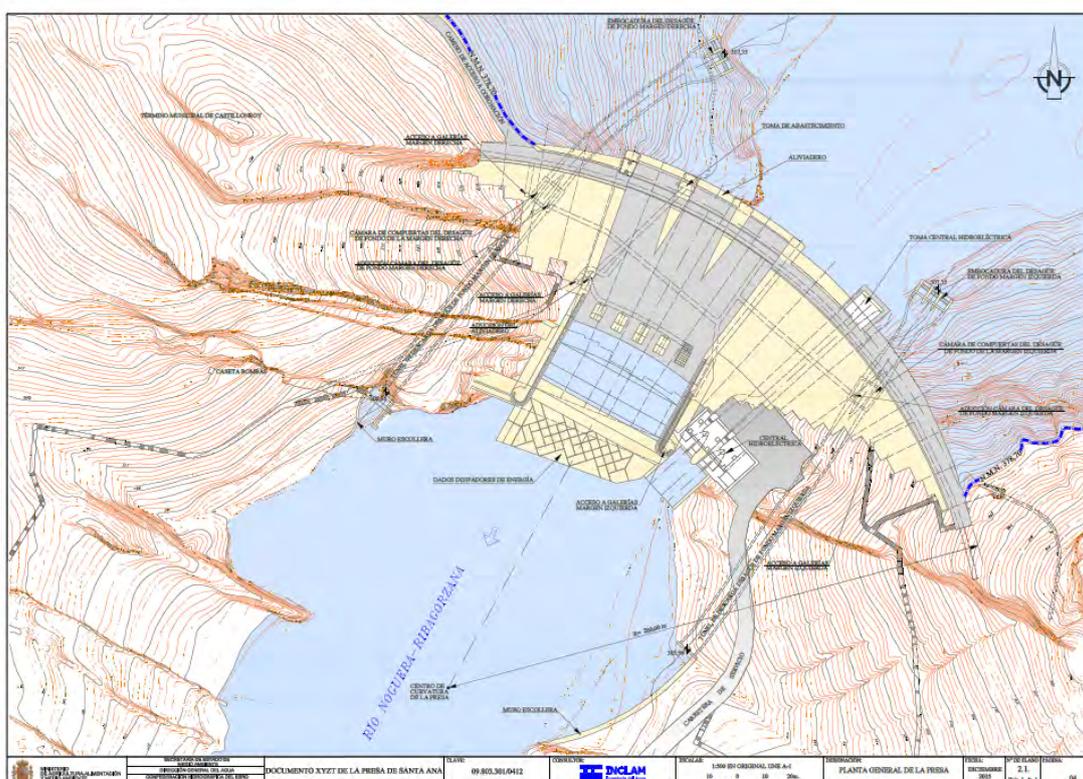


FIGURA 24. Planta general de la presa de Santa Ana. Fuente: (CHE)

La presa de Santa Ana es de arco-gravedad de planta curva de 200 m de radio, de fábrica de hormigón convencional. Dependiendo de la zona, el hormigón utilizado para construir la presa es de resistencias diferentes, con contenidos de cemento distintos. El cuerpo de presa tiene cuatro galerías horizontales, tres de ellas se comunican entre sí y desde ellas se accede a las distintas cámaras donde se alojan las compuertas y mecanismos de seguridad tanto de las tomas intermedias como del desagüe de fondo. La cuarta galería horizontal se encuentra bajo coronación.

Tabla 2. Características técnicas del embalse de Santa Ana (paneles). Fuente: (CHE)

- Superficie de la cuenca en el embalse: 1757,50 km²
- Capacidad total: 236,60 hm³
- Capacidad útil: 236,60 hm³
- Superficie inundada: 767,80 ha
- Cota máxima embalse normal: 378,70 m
- Altura sobre la ladera: 74,10 m
- Longitud del embalse: 15 km y 32 km de costa perimetral
- Superficie regable mejorada: 63.239 ha
- Población abastecida: 129.175 habitantes

La estructura de coronación en la zona del aliviadero está formada por un puente que cruza el aliviadero mediante tres vanos (Figura 25).



FIGURA 25. Presa y embalse de Santa Ana en el río Noguera Ribagorzana.

La ubicación de la obra está señalada en los estrechos de Santa Ana, cañón más o menos angosto, pero siempre por su topografía, adecuado a un cierre. La geología del vaso está definida por materiales impermeabilizantes siendo la roca de contacto con las aguas del embalse: ofitas, margas y arcillas yesíferas, dolomías liásicas, arena aptenses, calizas cretácicas, calizas eocenas con alveolinas, areniscas eocenas y algunos bancos de marga o caliza margosa, además de materiales oligocenos y terrenos modernos constituidos por aluviones del río y otros derrubios de rocas próximas (Figura 26).

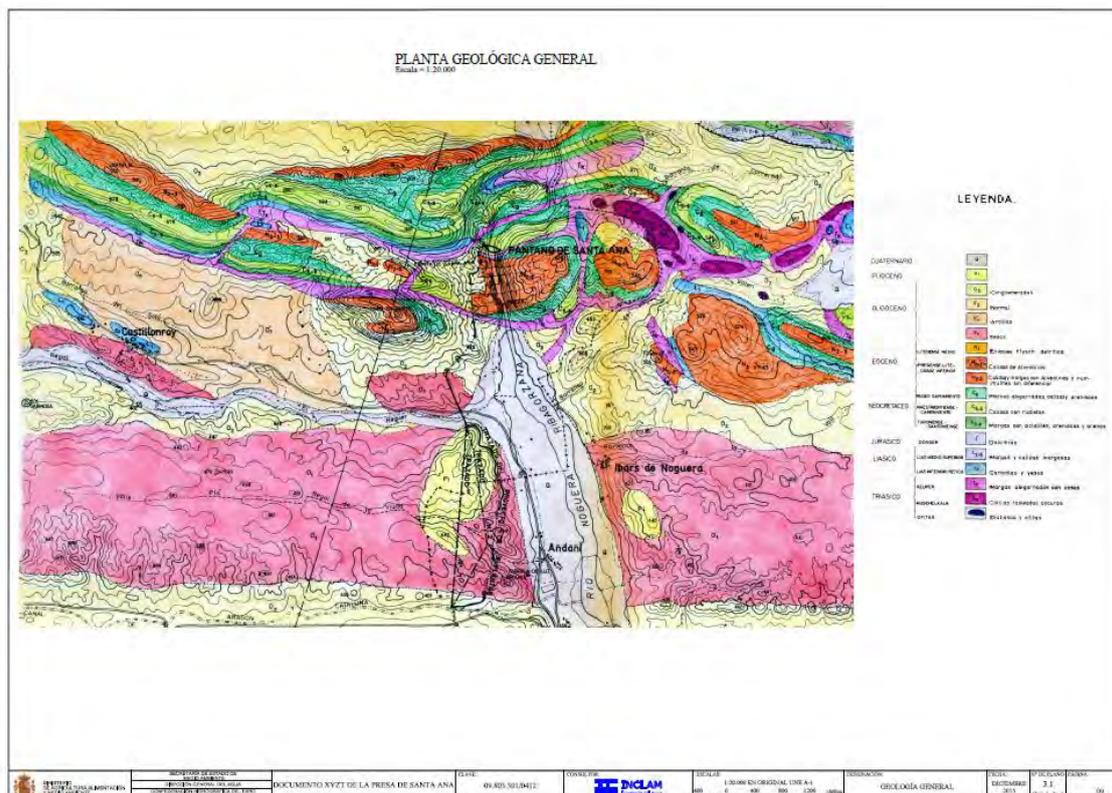


FIGURA 26. Planta geológica general de la presa de Santa Ana. Fuente: (CHE)

El vaciado del embalse de Santa Ana

En 1988, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) realizó el vaciado total del embalse con el propósito de limpiarlo de sedimentos y reparar las compuertas de fondo. Este proceso ocasionó cambios significativos en el ecosistema, incluida la eliminación del bosque de ribera. El vaciado del embalse se llevó a cabo desde octubre de 1988 hasta febrero de 1989, durante el cual se cerró el paso del agua hacia el canal de Piñana. Los efectos resultantes del vaciado del embalse pueden ser definidos por las acciones realizadas, incluyendo el dragado y la ampliación de la capacidad de desagüe del canal, así como el aumento inicial del caudal circulante durante este período y el incremento de la carga de sólidos en suspensión, seguido por la disminución final del caudal circulante (Figura 27).

En los años siguientes, la Sociedad de Pescadores llevó a cabo una serie de acciones en algunos tramos del río que acentuaron los efectos iniciales de las obras de limpieza y vaciado del embalse. El acondicionamiento del lecho mediante la acumulación de gravas en forma de cordones en el lecho activo impide que el río retome su trazado natural. Como resultado de las obras de vaciado del embalse de Santa Ana en 1988 y el acondicionamiento del lecho, el ecosistema fluvial del tramo bajo del río sufrió un gran deterioro.



FIGURA 27. Izquierda: Condicionamiento del lecho del río en el pie de presa para el vaciado del embalse de Santa Ana. Derecha: Apertura de las compuertas de fondo del embalse de Santa Ana (octubre de 1988) para su limpieza y reparación. Autor: Carles Balasch.

Desde 1995 en adelante, ha sido importante la revegetación del canal y de la zona de ribera, favorecida por la regulación de los caudales del tramo bajo de la cuenca y su reducción, especialmente de las crecidas. Esto ha permitido la recolonización de la vegetación en los márgenes y en el lecho del río, con la formación de extensos cañaverales y praderas de algas. La presencia de vegetación dentro del canal indica bajos caudales circulantes y la falta de crecidas periódicas. No solo los árboles típicos del bosque de ribera como los *Salix alba*, *Populus alba* y *Populus nigra* se han colonizado, sino también especies semiacuáticas como *Typha latifolia* y *Lythrum salicaria*, indicando aguas tranquilas fácilmente afectadas por caudales bajos (Fig. 28).



FIGURA 28. Cambios experimentados por la Noguera Ribagorçana aguas abajo de la presa de Santa Ana desde la década de 1960 hasta 2009. Autor: Ramon Batalla y Damia Vericat.

Desde el punto de vista hidráulico, la vegetación acuática reduce la velocidad del flujo, estabiliza las partículas del lecho del río y facilita la sedimentación del material fino en los márgenes, lo que promueve su avance hacia el canal. Durante las crecidas, actúa como una protección inicial del lecho del río, evitando la removilización del sedimento y la erosión de los márgenes. Sin embargo, los efectos del excesivo dragado en 1988 aún son visibles, con el afloramiento de la roca madre en varios sectores del río, lo que indica una degradación continua del lecho. La falta de sedimento en el canal puede desequilibrar el lecho durante las crecidas, aumentando la erosión de los márgenes. Estos cambios afectan la estabilidad del ecosistema fluvial y pueden provocar el descalzamiento de puentes y motas, además de mantener el sobredrenaje del acuífero y degradar el ecosistema fluvial en general (Figura 29).

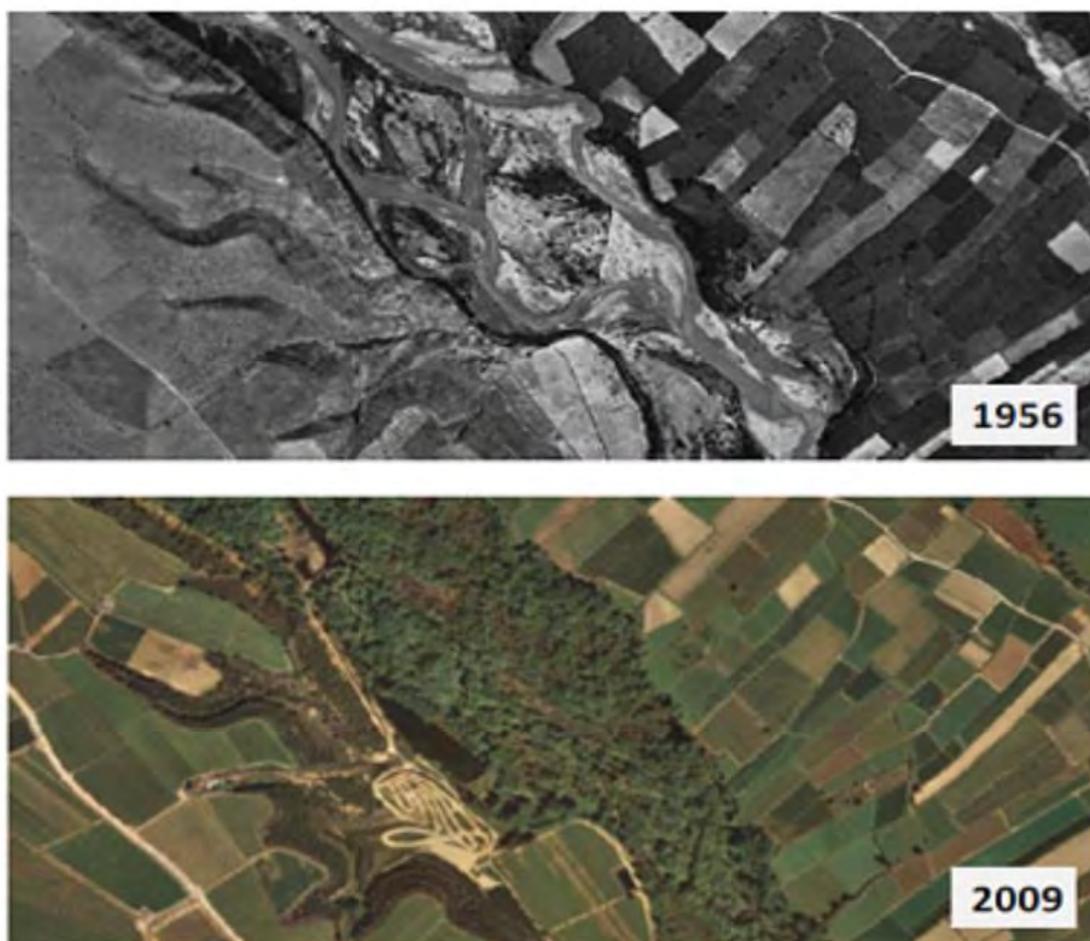


FIGURA 29. Cambios experimentados en la vegetación por la Noguera Ribagorçana aguas abajo de la presa de Santa Ana desde la década de 1960 hasta 2009. Autor: Ramon Batalla y Damià Vericat.

Las infraestructuras hidráulicas desempeñan un papel crucial en la gestión y utilización de recursos hídricos, proporcionando beneficios socioeconómicos y medioambientales significativos. Sin embargo, es importante desarrollar y mantener estas infraestructuras de manera responsable y sostenible, teniendo en cuenta los impactos ambientales y sociales a largo plazo.

PARADA 4: AZUD DEL CANAL DE PIÑANA, USOS DEL AGUA

PRESA DE SANTA ANA

La presa de Santa Ana se encuentra situada en el cauce del río Noguera Ribagorzana, afluente del Segre por la margen derecha, en el término municipal de Castillonroy, en la provincia de Huesca. El río Segre, a su vez, es afluente del Ebro por la margen izquierda. La superficie del embalse es de 1.761,40 Km², con una capacidad de 236,60 Hm³. Esta se encuentra situada, aguas abajo de la presa de Canelles, Ambos embalses ocupan el cauce del río Noguera Ribagorzana en una longitud de unos 40 Km. La zona inundada por el vaso del embalse pertenece a cuatro términos municipales: Estopiñán del Castillo, Baldellou y Castillonroy (Huesca) e Ivars de Noguera (Lérida).

La obra que nos ocupa pertenece al conjunto de planes que la poderosa entidad "Riegos y Fuerza del Ebro" (Canadiense) se aseguró por todos los ríos del territorio catalán.



Figura 30. Vista general de la presa y central hidroeléctrica de Santa Ana

Las obras comenzaron el 11 de septiembre de 1953 dirigidas por el ingeniero Miguel Urquijo Landaluce y se dieron por finalizadas el 24 de marzo de 1964. Pasaron al servicio de explotación el 3 de octubre de 1969.

Características generales de la presa actual

- Presa de gravedad de planta curva de 200 m de radio.
- 71 m de altura sobre el río y 101 m sobre cimientos.
- 241,98 m de longitud de coronación.
- 367.284 m³ de hormigón en masa.
- Cota de coronación: 380.30 msnm.
- Aliviadero superior con 3 alzas de 17,3 x 7,4 m capaz de desalojar la máxima avenida de proyecto de 1.920 m³/s.
- 2 desagües de fondo, uno en cada margen de 200 m³/s de desalojo total.
- Canal de Enlace con tres vanos y 26.1 m³/s de capacidad de transporte y 5,8 km de recorrido hasta Coll de Foix.

Finalidad de la presa

Esta presa se construye para regular las aportaciones del río Noguera Ribagorzana. Su finalidad es la producción de energía eléctrica, el abastecimiento y el riego.

Abastece de agua al poblado de la presa mediante una toma inicialmente prevista para el abastecimiento de Lérida cuya actual toma se encontraba ubicada en el Canal de Enlace que suministra al Canal de Aragón y Cataluña un caudal máximo de 21 m³/sg. En la actualidad el único uso de este conducto es el suministro de agua potable al poblado de Santa Ana (mediante tubería de 4") y a la propia presa (mediante una manguera). El agua de boca actualmente se toma de una derivación del Canal de Piñana.

El aprovechamiento agrícola, además de salvar los estiajes de la zona del canal de Piñana — 14.000 has—, que veía reducido su caudal en verano a menos de la mitad del necesario, se mejora notablemente la dotación del canal de Aragón y Cataluña con aportación de 230 hm³ en año medio para las 98.000 has que domina.

Por otra parte, aporta caudales a los riegos de Algerrí-Balaguer —8.000 has— y está prevista su aportación a los riegos expectantes de La Litera Alta —8.000 has— desde la firma del Pacto de Piñana en 1992, que tuvo lugar en el mismo embalse.

La propiedad de la presa y de la central hidroeléctrica está delegada a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) pero la gestión de la central la lleva ENDESA.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SANTA ANA

Para la generación de energía eléctrica. Energía potencia instalada: 38.000 KW.



Figura 31. Vista general de la central hidroeléctrica de Santa Ana

Toma de la Central hidroeléctrica a pie de presa

La central de E.N.H.E.R. se encuentra situada, aguas abajo en la margen izquierda de la presa, entre el paramento de la presa y la superficie de la roca que constituye la ladera izquierda. Está formada por un conducto que se bifurca a los 48,50 m de la válvula de seguridad. Los órganos de control en estos conductos son los siguientes: válvula de compuerta de seguridad vagón con ruedas, aguas arriba, y válvula mariposa aguas abajo.

CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

Antecedentes

La primera idea de construir un canal que riegue las llanuras de la Litera data de los tiempos del Emperador Carlos I (1.500-1558), si bien hasta 1.782, durante el reinado de Carlos III, la Villa de Tamarite no solicitará formalmente su construcción.

La denominación "Canal de Aragón y Cataluña" aparece por primera vez al otorgarse una concesión en 1.876, que será modificada y posteriormente anulada en 1.892. Han transcurrido 110 años y una multitud de intentos, y el canal principal apenas está ejecutado en un tercio.

Por Ley de 5 de septiembre de 1.896 el Estado se hace cargo del proyecto, tal y como fue redactado y concebido en 1.864 por el Ingeniero Mr. Jhon D. Barry. El 2 de mayo de 1.906 D. Alfonso XII inauguraba oficialmente el canal de Aragón y Cataluña.

Los regadíos del Canal de Aragón y Cataluña

El Canal de Aragón y Cataluña tiene una longitud de 124 km y un caudal en origen de 36 m³/s, con toma en el Embalse de Barasona o de Joaquín Costa (Río Ésera). Cuando lleva recorridos 80 km, a la altura de Coll de Foix, recibe las aguas del río Noguera Ribagorzana procedentes del Embalse de Santa Ana, a través del Canal de Enlace de 6 km de longitud y 26 m³/s de capacidad de transporte.

La superficie en riego del Canal de Aragón y Cataluña está en torno a las 98.000 ha subdivididas en dos zonas: la Zona Alta con 54.000 ha, y comprendida entre el origen del canal (Embalse de Barasona) y el Canal Enlace, y la Zona Baja, de 44.000 ha, desde el mencionado canal de Enlace hasta su desagüe en la Clamor Amarga.

Estas 98.000 ha en riego lo convierten, en cuanto a superficie, en la segunda zona regable en orden de importancia de la cuenca del Ebro y en consecuencia en una de las mayores de todo el Estado Español.

Una parte de esta zona regable junto a otras de los canales de Urgel, Piñana y a los regadíos tradicionales del bajo Cinca, Segre y Noguera Ribagorzana, constituyen la zona frutícola más importante de todo el Estado en cuanto a fruta dulce (manzana, pera, melocotón y nectarina).

Hay además amplias zonas dedicadas a los cultivos herbáceos extensivos: alfalfa, trigo, cebada, maíz etc. La vid, para producción vinícola, es otro cultivo que está ganando cotas en esta zona, si bien localizada en un área muy determinada de la zona regable.

Desde un punto de vista agrario, una de las características fundamentales de esta zona regable y de su entorno es su capacidad de transformar y comercializar las producciones agrarias y, por tanto, de añadir valor y generar riqueza a través del sistema agroalimentario.

Actuaciones Previstas en el Canal de Aragón y Cataluña.

El Plan Hidrológico del Ebro prevé, con relación al Canal de Aragón y Cataluña, las siguientes actuaciones:

- La ejecución de depósitos de reserva para los abastecimientos dependientes del canal, al objeto de garantizar el suministro a las poblaciones.
- La construcción de los embalses de Santa Liestra (Pendiente de ejecución), en el río Ésera y de San Salvador, en el Canal de Zaidín (Ya en funcionamiento desde 2015).
- La mejora y modernización de los regadíos del canal de Aragón y Cataluña, con actuaciones que van desde la modulación y automatización del canal, pasando por la construcción de embalses de regulación interna, hasta el acondicionamiento y reparación de redes de caminos de servicio y desagües.



Figura 32. Mapa de la zona de riego del Canal de Aragón y Cataluña.

Canal de Enlace

Toma del Canal de Enlace, que es lo que relaciona el Canal de Aragón y Cataluña y la presa de Santa Ana.

Antecedentes

Al irse ampliando la zona puesta en riego, las aportaciones del río Ésera reguladas en el Embalse de Barasona, posteriormente denominado de Joaquín Costa, resultaban escasas.

Debido a ello, fue estudiada la posibilidad de inyectar en el Canal de Aragón y Cataluña, en el paraje denominado Coll de Foix, en el kilómetro 67 del canal, por el límite de la cuenca del Noguera Ribagorzana, parte de los caudales de este río, mediante la construcción de un canal de enlace partiendo del embalse de Santa Ana, de unos 6 km de longitud, con una derivación que permitiría regar directamente 43.440 Has, aguas abajo de Coll de Foix.

La obra del Canal de Enlace

La obra del Canal de Enlace se hizo independiente de la presa.

Para la adjudicación se celebraron dos concursos, el primero en junio de 1.963, al que no se presentó ningún licitador, y el segundo en septiembre del mismo año en el que se adjudican las

obras a ENHER. Las obras comenzaron en febrero de 1.964, finalizando el 30 de septiembre de 1.968.

La toma de agua consta de partes bien diferenciadas: embocadura, túnel de toma, cámara de compuertas y cámara amortiguadora con aliviadero y canal de descarga.

Esta toma se sitúa fuera del cuerpo de presa, en la margen derecha, a la cota 352,00 msnmn.

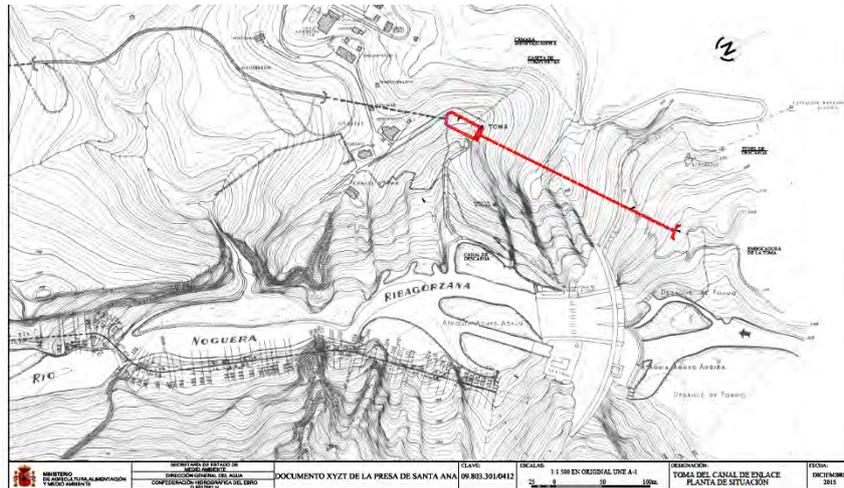


Figura 33. Vista de planta del Canal de Enlace del Canal de Aragón y Cataluña.

Hay una galería inferior para vaciado de las compuertas y solera del túnel.



Figura 34. Vista caseta de compuertas del Canal de Enlace.

Cámara amortiguadora con aliviadero y canal de descarga

El Canal de Enlace desemboca en una cámara amortiguadora recta de 28,65 m de longitud, 12 m de ancho y 5 m de altura, seguida de la sección rectangular de enlace con el primer túnel del canal, con una longitud de 14,25 m.

La zona donde van ubicadas las compuertas Taintor se salva por un puente de 12 m de largo apoyado en dos pilas y dos estribos que son los tajamares del Canal. Las pilas son de 1,60 m de ancho y los estribos de 1,20 m.

El aliviadero de superficie consta de diez vanos de 2,6 m de ancho y 0,92 m de alto, salvados por una pasarela de hormigón armado protegida en ambos lados por barandillas que impiden la caída accidental al propio Canal de enlace y al canal de descarga del mismo. El labio inferior del aliviadero está a la cota 354,46 msnm.



Figura 35. Canal de descarga del aliviadero y compuerta del Canal de Enlace.

Tanto el aliviadero como la compuerta descargan en un canal de longitud 75,15 m y una sección, después del abocinamiento de entrada, de 3 x1 m, que se prolonga hasta aguas abajo de la salida del desagüe de fondo de la margen derecha de la presa.



Figura 36. Compuerta y derivación agua de boca del Canal de Enlace.



Figura 37. Sifón de Castillonroy, obra singular del Canal de Enlace sobre la N-230.

CANAL DE PIÑANA

Hacia 1147, y estando Lérida todavía ocupada por los árabes, Ramón Bereguer IV (Príncipe de Aragón, Conde de Barcelona y Marques de Tortosa) autoriza la construcción de una acequia a los repobladores de la recién conquistada villa de Almenar. Con posterioridad, hacia 1190, esta "Acequia del Segrià" será prolongada a expensas del leridano Pedro Raimundo Sassala "cavaséquies", hasta alcanzar el llano y la ciudad de Lérida.



Figura 38. Azud del Canal de Piñana, al fondo escala de peces y toma de la acequia de Ivars de Noguera.

En el periodo comprendido entre 1229 y 1758 es la ciudad de Lérida, a través de la Paheria como órgano de gobierno, quien ejerce la administración del canal. Durante este periodo las sentencias a que dan lugar los numerosos litigios que surgen van a ir definiendo los mecanismos de administración del canal. Simultanea o paralelamente es a lo largo de este periodo cuando se desarrolla la estructura física del canal: se construye la presa (azud) en el Noguera Ribagorzana, los primeros molinos, e incluso la traza del canal ya viene a coincidir la actual traza de la Acequia Mayor.

De 1794 a 1951 será la Junta de Cequiaje, de la que forman parte el Ayuntamiento y los usuarios (labradores, etc.), la que rija los destinos del Canal.

La modificación de las Ordenanzas realizada en 1951 instituye la Junta Central de Regantes del Canal de Piñana y Acequia de Fontanet. La titularidad actual del aprovechamiento corresponde a la Comunidad General de Regantes del Canal de Piñana (O.M. 6/8/1962)

El canal de Piñana tiene una longitud de 54 km y un caudal en origen de 11,7 m³/s.

Los regadíos del Canal de Piñana

Si bien los orígenes del canal de Piñana se remontan al año 1147. En la actualidad el Canal de Piñana suministra agua de riego a una superficie de aproximadamente 13.500 ha.

El Canal Principal tiene su origen en el azud de Piñana, aguas abajo del embalse de Santa Ana (Noguera Ribagorzana). Los canales principales derivados son: las Acequias del Cap, Mayor y del Medio. Otros cauces importantes de la red de distribución son el "Ojal Ratera", el "Brazal de Benavent", el "Brazal Mayor de Algüaire" y la Acequia del "Rec-Nou".

La dedicación productiva del Canal de Piñana es en su práctica totalidad los cultivos leñosos (los frutales). Piñana ocupa el "corazón" de la zona frutícola más importante del Estado Español, que forman junto con Piñana otras zonas de riego próximas pertenecientes a los Canales de Urgel, Canal de Aragón y Cataluña y a los regadíos tradicionales del bajo Cinca, Segre y Noguera Ribagorzana.



Figura 39. Mapa de la zona de riego del Canal de Piñana.

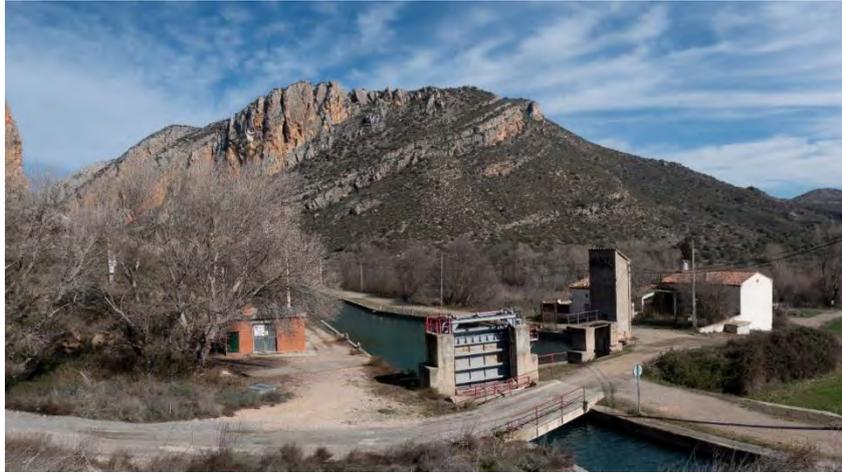


Figura 40. Vista de la estación de bombeo de Castellonroy, compuerta del Canal de Piñana, compuerta del agua de boca a Lleida y demás poblaciones de la ribera. Al fondo la sierra de Monderes.

Agua de boca de Piñana

- Castellonroy.
Abastece a una población de unos 300 habitantes.



Figura 41. Estación de bombeo para agua de boca de Castellonroy

- Planta potabilizadora Lleida y otros municipios del Canal de Piñana.

La planta asegura el suministro de agua a una población estimada de 155.000 habitantes, con los niveles de calidad y de turbiedad establecidos. Por ello, la estación se enmarca dentro del proyecto de mejora de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Lleida y otros municipios del Canal de Piñana.



Figura 42. Planta potabilizadora para abastecimiento de agua de boca para Lleida y demás poblaciones de la ribera del Noguera Ribagorzana.

Abastecimiento a Lleida y 17 núcleos de la zona regable del Canal de Piñana, entre los que destacan: Alfarrás, Almenar, Alguaire, Vilanova de Segrià, Roselló, Torrefarrera y Alpicat, y otras poblaciones como: Albesa, Alcoletge, Algerri, Benavent de Segrià, Corbins, Ivars de Noguera, La Portella, Torre-serona, Torrelameu y Vilanova de la Barca.

Centrales Hidroeléctricas de Piñana

NOMBRE	TITULAR	POT_MAX_INSTAL
Al-Canis	SALVADOR SERRA, S.A.	332 kw
Almenar	AYUNTAMIENTO DE ALMENAR	332 kw
Canet	RIVER PARK ALCARRAS S.L.	380 kw
Castillonroy	HIDRODATA, S.A.	1.545 kw
Mata de Piñana	SALVADOR SERRA, S.A.	396 kw
Molinot	PARTICULAR	150 kw
Roselló	SALVADOR SERRA, S.A.	136 kw
Ull Roig	SALTO DE TORREFARRERA, S.L.	742 kw
TOTAL		4.013 kw

ACEQUIA DE IVARS DE NOGUERA

Concesión de la acequia de Ivars de Noguera. Título de derecho Orden Ministerial 11/02/1960

Caudal:

- 165 l/s durante 12 horas diarias para riego.
- 1,20 l/s para abastecimiento.
- 500 l/s para usos industriales.



Figura 43. Toma de la acequia de Ivars de Noguera en el azud del Canal de Piñana, tras la escala de peces.

CANAL DE ALGERRI – BALAGUER

El Canal de Algerri-Balaguer lleva agua desde el río Noguera Ribagorçana a los términos municipales de Algerri, Albesa, Castelló de Farfanya, Balaguer, Menàrguens y Torrelameu. Riega una superficie total de 8.000 hectáreas. Largo de 7,4 km en un caudal de 4,8 m³/s

Antecedentes

El canal de Algerri - Balaguer fue un proyecto de canal que fue pensado en la década de 1950 para regar los secanos de Algerri, Castelló de Farfanya, Albesa, Torrelameu, Menàrguens y Balaguer y que no se llegó a llevar a la práctica, aunque el canal Algerri-Balaguer, construido medio siglo después sigue aproximadamente el mismo trazado y hace la misma función, a partir de la construcción del Pantano de Santa Anna.

El primer tramo del canal de Algerri-Balaguer fue construido en 1992 por la empresa Regsa. Los siguientes tramos construidos fueron en el término de Algerri en 1995. En 1997 se realizó la concentración parcelaria en el término de Albesa, y seguidamente en el término de Menàrguens. Posteriormente se hizo la concentración parcelaria en Torrelameu.

Las obras de la estación de bombeo en la Noguera Ribagorçana, sobre el puente de Alfarràs, se efectuaron en 1997. Seguidamente se realizaron tres embalses en el término de Algerri y de éstos, se derivan las tuberías que llevan agua en cada parcela del término de Algerri.

Características

La dotación de agua por hectárea es de 6.000 metros cúbicos al año. El agua llega a cada parcela mediante las tuberías con una presión de entre 3,5 y 4,5 kg por cm² y un caudal de 1,5 litros de agua por segundo y hectárea. Al pie de cada parcela se encuentra una bomba que controla la presión y un contador que registra los litros de agua que se han consumido. Estos datos son remitidos a un ordenador central situado en la casa canal, ubicada en el término municipal de Algerri.

Superficie regable:

- Algerri 1.000 ha.
- Albesa 2.000 ha.
- Castelló de Farfanya 1.200 ha.
- Torrelameu 350 ha.
- Menàrguens. 1.200 ha.
- Balaguer 2.250 ha.
- Total. 8.000 ha.

La concentración de parcelas en el término de Albesa ha permitido hacer las explotaciones agrarias de mayor tamaño y concentrar las propiedades. Antes, el terreno de cada propietario era pequeño y repartido. Ahora cada propietario tiene las tierras juntas. En la zona de Albesa había 948 fincas con una superficie media de 2,12 ha. La mayor parte de los propietarios tenía 2 o más parcelas. En estos momentos existen 471 fincas, con una superficie media de 4,19 ha, y el 80% de los propietarios sólo tiene una finca.



Figura 44. Estación de bombeo del Canal de Algerri Balaguer.

OTRO PROYECTO INACABADO

Los riegos de la Litera Alta

Hay pendiente otro proyecto, “Los riegos de la Litera Alta” con una concesión de 8000 m³ iguales a la concesión de los riegos del Canal de Algerri – Balaguer.

Con la aplicación del **Convenio o Pacto de Piñana** de 8 de febrero de 1992, qué quedó enmarcado dentro de lo que se llamó **Pacto del Agua**¹, con dicho convenio se generaba un volumen de caudales adicional al hasta entonces existente, que no se cuantifica en ese momento, aunque en documentos posteriores se estima en 190 hm³/año. El cincuenta por ciento de esos nuevos recursos hídricos se destinaba a mejorar las dotaciones del Canal de Aragón y Cataluña y el otro 50%, por mitades, a las dotaciones del Canal Algerri-Balaguer y a los riegos-expectantes de La Litera Alta. De acuerdo con los porcentajes establecidos, a los riegos expectantes de La Litera Alta se les atribuye, por tanto, un caudal aproximado de 48 hm³ anuales procedentes del río Noguera-Ribagorzana.

¹ Pacto del Agua de Aragón. Resolución aprobada por el Pleno de las Cortes de Aragón en su sesión de 30 de junio de 1992, con motivo del debate de la Comunicación de la Diputación General de Aragón relativa a criterios sobre política hidráulica en la Comunidad Autónoma de Aragón.

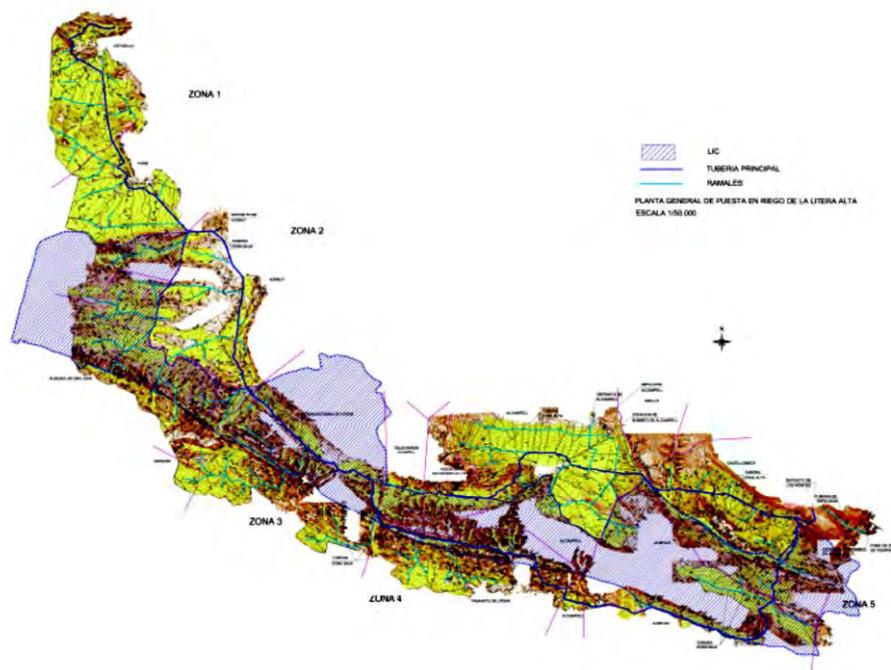


Figura 45. Mapa de las zonas regables y la zona LIC del Canal de La Litera Alta

La redacción del “Proyecto de puesta en riego de La Litera Alta (Zona Oriental)” (Proyecto 07/09 de Clave Ministerial: 09.25B.004/2111), conforme a la Declaración de Impacto Ambiental, finalizada en julio de 2009.

El Proyecto define:

La Zona denominada Oriental (objeto del presente Informe), que está próxima al embalse de Santa Ana, será servida de acuerdo con lo establecido en el “Proyecto de puesta en riego de La Litera Alta (Zona Oriental)” (Proyecto 07/09 de Clave Ministerial: 09.25B.004/2111) ya reseñado. Este Proyecto define la infraestructura hidráulica necesaria para el riego de **1.994 ha** de La Litera Alta, ubicadas al norte del Canal de Aragón y Cataluña, entre los ríos Cinca, al oeste, y Noguera Ribagorzana, al este, en los términos municipales de San Esteban de Litera (58 ha), Alcampell (1.445 ha), Castillonroy (477 ha) y Baélls y Camporrélls (aprox. 14 ha).

La Zona denominada Occidental, que está próxima al embalse de Barasona, y la Zona Central, que se encuentra adyacente al Canal de Aragón y Cataluña, será servida mediante aguas provenientes del Canal de Aragón y Cataluña, ya sea con agua procedente del embalse de Barasona, o con agua del río Noguera Ribagorzana, a través del funcionamiento del retroceso por bombeo (Zona Central); todo ello siempre en función de criterios económicos, técnicos y ambientales, debiendo redactarse para ello los correspondientes anteproyectos, estudios de impacto ambiental y proyectos técnicos.

La Zona denominada Occidental abarca fincas de los municipios Estada, Estadilla, Fonz y Azanuy. La Zona Central la componen parcelas de los términos de Almunia de San Juan, Monzón, San Esteban de Litera, Tamarite de Litera y Albelda.

En total se permitirán llevar a cabo la **transformación de aproximadamente 4.500 ha**. De las 8.000 inicialmente proyectadas.

Con el objeto de cumplir los siguientes objetivos:

- Promover el desarrollo económico de la zona.
- Evitar la desertización poblacional.

Para conseguir llevar a efecto los regadíos de La Litera Alta, en fecha 10 de noviembre de 2010, en la sede de la Mancomunidad de La Litera Alta, en Binéfar, se suscribió el “Protocolo de actuación para la puesta en marcha de las actuaciones necesarias para la ejecución de los Riegos de La Litera Alta” entre la Comunidad Autónoma de Aragón, la Confederación Hidrográfica del Ebro, la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña y la Comunidad de Regantes de La Litera Alta.

Los principios generales del Protocolo establecen que la transformación en riego de superficies ubicadas en La Litera Alta se llevará a cabo con cargo a los caudales provenientes de la modulación decidida en los Convenios de 8 de febrero y 3 de diciembre de 1992, relativos a la mejora de infraestructuras y aprovechamientos hídricos del canal de Piñana, que se distribuyen como sigue: 50% para el Canal de Aragón y Cataluña, 25% para la zona regable del canal Algerrí-Balaguer, con una superficie del orden de 8.000 ha y una demanda de unos 48 hm³ y 25% para la zona regable de la Litera Alta, con una superficie del orden de 8.000 ha y una demanda de unos 48 hm³.

Ante la reducción de la superficie prevista dentro del perímetro de riego por la declaración del LIC, y ante el incremento de los precios de la energía, se considera como solución más viable que la Zonas Occidental y Central rieguen directamente desde el Canal de Aragón y Cataluña.

Pero de momento el proyecto está totalmente estancado desde hace demasiados años.

Autores:

Jorge Franco Balaguer

Josep Maria Màsich Polo

Estrella Carrero Carralero

Sebastián Agudo Blanco

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

BATALLA, R.J. (Ed.) : *El tram final de la Noguera Ribagorçana. Aspectes hidrològics i geomorfològics*. Edicions Universitat de Lleida. Fluvial Dynamics Research Group, RIUS.

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.

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, Camporrells, 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 Camporrells, 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, Camporrells, Estopanyà i a Ciscar*. Inèdit 10, pp. Manresa.

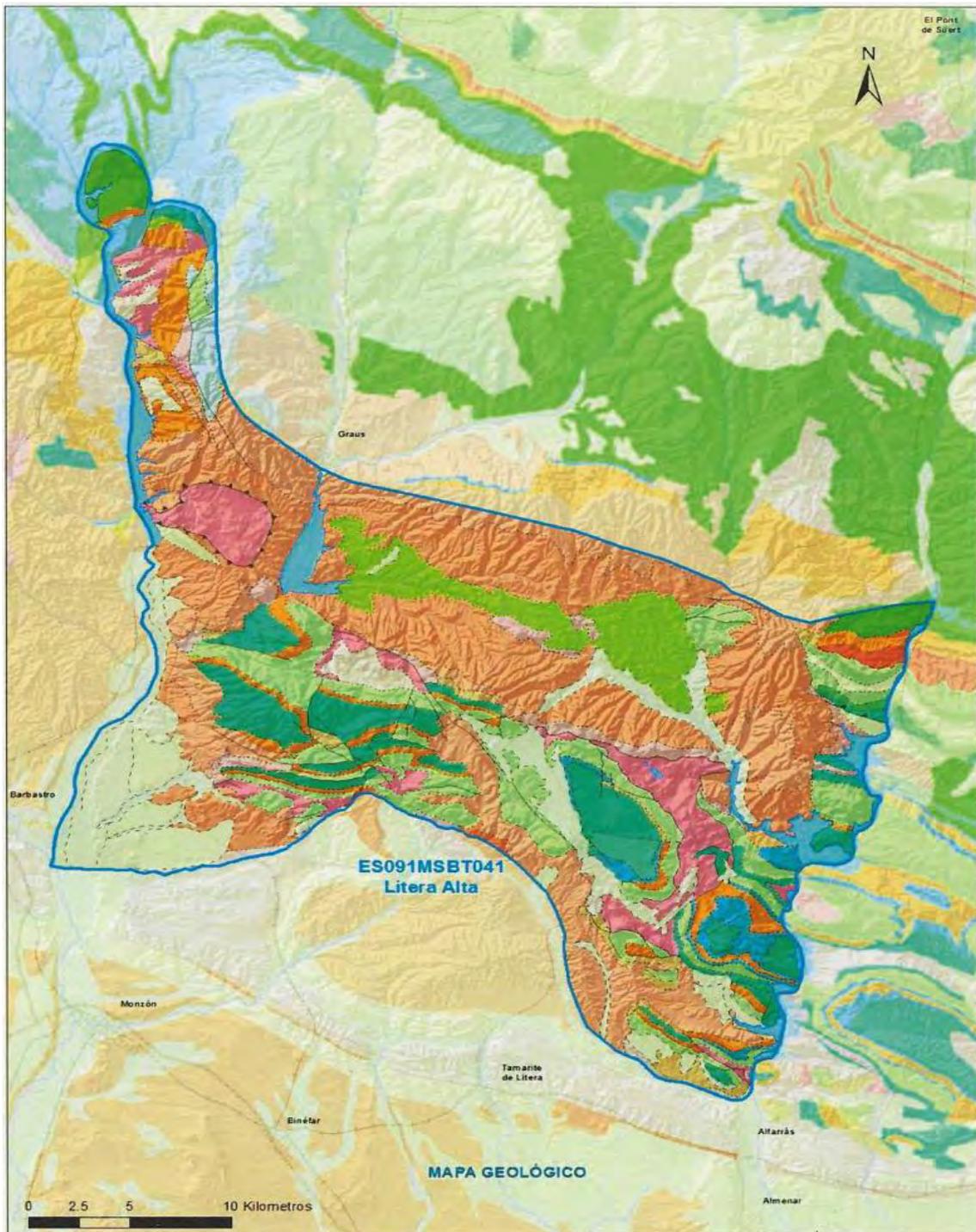
PÉREZ BIELSA, C. (2013). *Funcionamiento hidrogeológico de un humedal hipogénico de origen kárstico en las Sierras Marginales Pirenaicas*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 335 pp.

MATEU, J. J. Y GARCÍA PASCUAL, FRANCISCO. (2004). *Conmemoración del centenario del Canal de Aragón y Cataluña, 1906-2006*.

IBARZ IBARZ, ANTONIO. (2005). *El canal d'Aragó i Catalunya*.

ANEXO I

Mapa geológico de la masa de agua subterránea LITERA ALTA (ES091MSBT041)



LEYENDA



Estructuras

- Anticinal
- Anticinal supuesto
- Sinclinal
- Sinclinal supuesto

Contactos y fallas

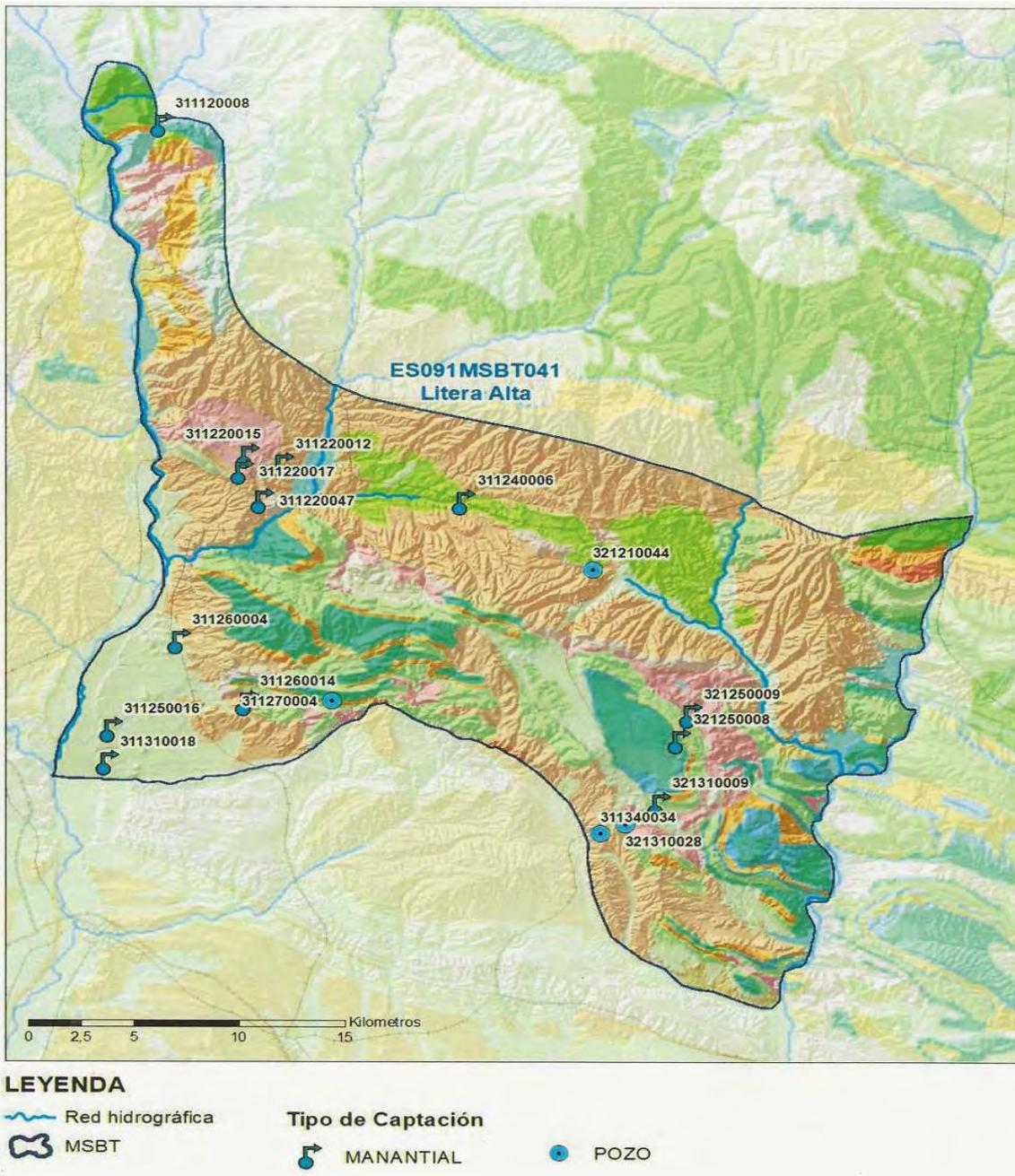
- Contacto concordante
- Contacto concordante supuesto
- Contacto discordante
- Contacto discordante supuesto
- Contacto intrusivo
- Masas de agua
- Límite político
- Falla conocida
- Falla supuesta
- Cabalgamiento conocido
- Cabalgamiento supuesto

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 glacis, 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
355	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
345	Margas y margocalizas
344	Areniscas y lutitas, Areniscas de
340	Calizas, calcarenitas, dolomías y margas
179	Areniscas y conglomerados
177	Lutitas y areniscas (Facies Fiysh)
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. Muschelkalí)
12	Ofitas y rocas volcánoclasticas (Ofitas del Keuper)

ANEXO II

Inventario de Puntos de Agua (IPA) de la masa de agua subterránea LITERA ALTA (ES091MSBT041)





Jaén



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

ORGANIZA



Universidad
de Jaén

Departamento de Geología

COLABORAN



PALEO
ÁGINA

CENTRO DE INVESTIGACIONES PREHISTÓRICAS DE SIERRA MÁGINA



Universidad de Jaén
Vicerrectorado de Universidad
Sostenible y Saludable

UJa.
Sostenibilidad

Aula Verde. Vicerrectorado de
Universidad Sostenible y Saludable

HIDROGEOLOGÍA DEL RÍO CUADROS DE BEDMAR (SIERRA MÁGINA) 23 de marzo de 2024



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024



¡PARTICIPA!



III Concurso de Fotografía
hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024



EL HIDROGEODÍA

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

En la provincia de Jaén, el **Hidrogeodía 2024** se celebrará en el entorno de Bedmar el sábado **23 de marzo de 2024**, con la actividad guiada “**HIDROGEOLOGÍA DEL RÍO CUADROS DE BEDMAR (SIERRA MÁGINA)**”.

Se llevará a cabo una visita guiada por varios puntos representativos del entorno del río Cuadros, analizando la geología y materiales del acuífero que da lugar a los manantiales del río, visita a los manantiales, para pasar posteriormente al área de la cueva del Nacimiento del río Cuadros donde analizaremos la hidrogeología y arqueología de la misma. Para ello seguiremos un itinerario de norte a sur por el río Cuadros (Fig. 2).

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro será a las **9:00 h** en la parada de Autobuses de la Rotonda de los Pavos Reales en el Campus de Las Lagunillas de la Universidad de Jaén (Fig. 1). De aquí partiremos en autobús gratuito, ofrecido por la organización, hacia las distintas paradas propuestas.



Figura 1: Punto de encuentro: parada de autobuses de la Rotonda de los Pavos Reales, UJA (foto tomada de Google Maps).

QUÉ VEREMOS

Los aspectos más relevantes que se abordarán en el itinerario hidrogeológico son:

1. Localización geográfica, geológica e hidrogeológica del entorno de Bedmar.
2. Los diferentes tipos de rocas y localización de rocas acuíferas en la zona.
3. Sedimentos fluviales: terrazas río Cuadros
4. Visita y caracterización de manantiales del nacimiento del río Cuadros Sistillo I y II.
5. Cueva del Nacimiento del río Cuadros: hidrogeología y arqueología.

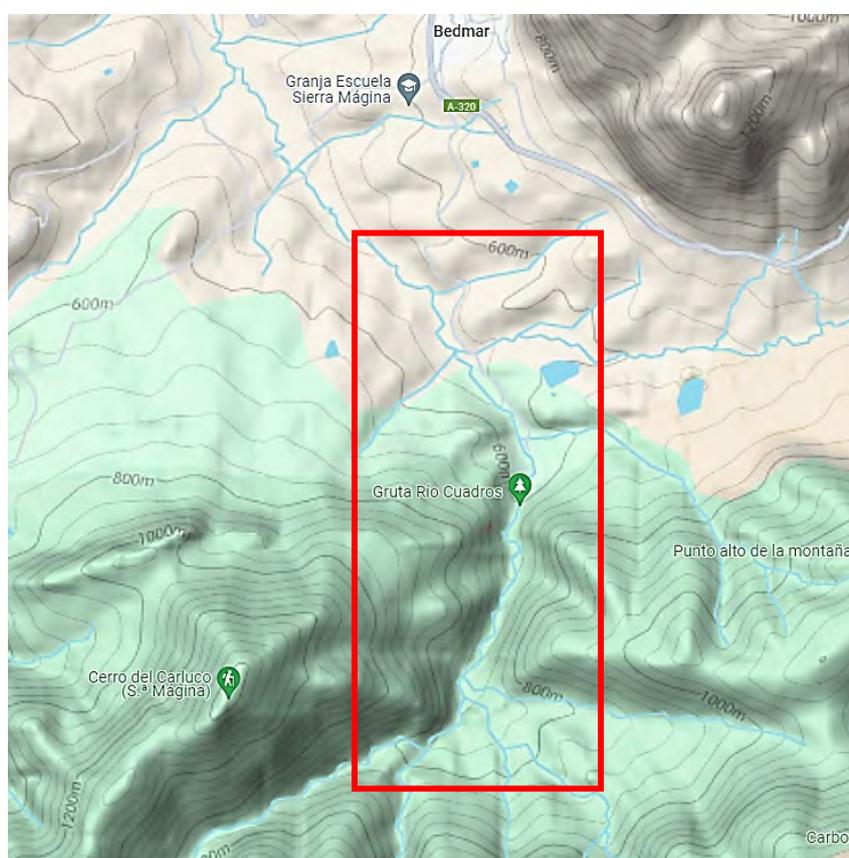


Figura 2: Localización del recorrido del Hidrogeodía'24 Jaén. (Imagen tomada de Google Maps)

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La **Hidrogeología** es la ciencia que estudia las aguas subterráneas y su interacción con las aguas superficiales, así como su prospección, captación y protección. Aspectos como el almacenamiento y flujo del agua subterránea, su cuantificación, composición química, el acceso a la misma, su gestión o su protección ambiental, forman parte de la Hidrogeología.



Figura 3: Concepto de acuífero.

fisuras e incluso por grandes huecos o cavidades. El nivel que alcanza el agua subterránea en el subsuelo es lo que se denomina **nivel freático** o **piezométrico** (Figura 3).

Las **aguas subterráneas** representan el volumen de **agua dulce** más importante del planeta. Se aprovechan para abastecimiento a la población, riego de cultivos, industria, usos recreativos y ambientales.

Un **acuífero** es una formación geológica, roca o sedimento que presenta una red de poros o fisuras en los que el agua puede estar **almacenada** y **circular**, de modo que sea posible su aprovechamiento. Por lo tanto, un acuífero implica una roca que tiene **porosidad** y **permeabilidad**. Así, el agua subterránea de los acuíferos procede de la infiltración, se almacena y se mueve a través de **poros**, **grietas** o

ENTORNO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

En Andalucía se diferencian tres unidades geológicas principales (Fig. 4). Al norte afloran las rocas que forman los relieves de **Sierra Morena**, compuestos principalmente por cuarcitas, pizarras y granitos de edad Paleozoico, es el denominado **Macizo Ibérico o Cordillera Hercínica**. Entre la Cordillera Hercínica y las Zona Externa Bética se encuentra la **Depresión del Guadalquivir**, constituida por rocas sedimentarias mucho más modernas, de edad Neógeno y Cuaternario (desde 23,3 Ma hasta la actualidad) formadas a partir de sedimentos marinos y continentales. La tercera gran unidad corresponde a la **Cordillera Bética**. Está compuesta por rocas mesozoicas y terciarias, que al sur aparecen con mayor deformación debido a la zona de colisión continental de las placas euroasiática y africana. Se trata de la Zona Interna Bética en la que afloran rocas metamórficas deformadas y plegadas que dominan amplias zonas de Granada, Almería o Málaga, tales como Sierra Nevada, Los Filabres o la Serranía de Ronda, entre otros. En el caso de la provincia de Jaén, nos encontramos en las zonas más alejadas de la colisión continental, Zona Externa Bética, principalmente formada por rocas sedimentarias del tipo de calizas, dolomías, arcillas y margas plegadas, pero no metamorfizadas. La Cordillera Bética se extiende por el SE de la Península Ibérica y forma parte del conjunto de cordilleras alpinas que rodean el Mediterráneo tanto por el sur de Europa como por el norte de África. Esta cordillera se comenzó a formar hace unos 34 Ma.

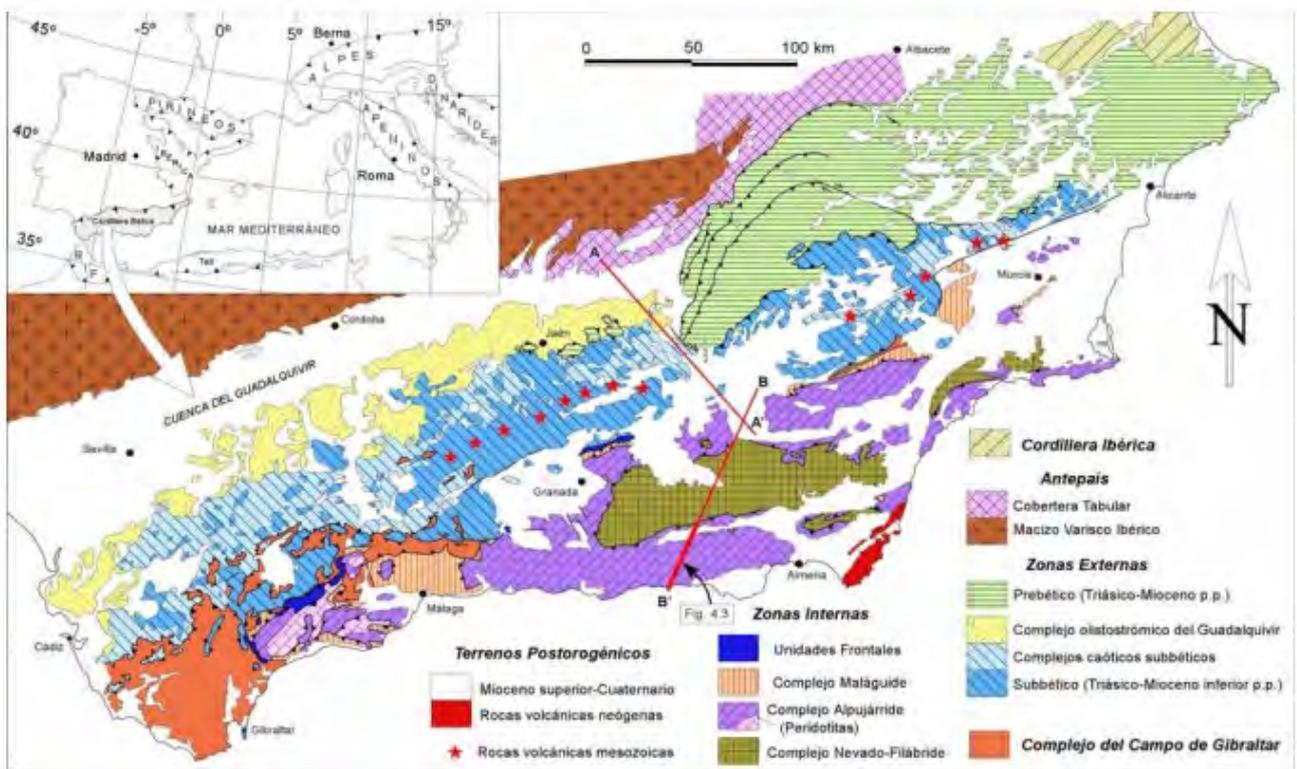


Figura 4: Mapa geológico de Andalucía (Tomado de Vera, 2004).

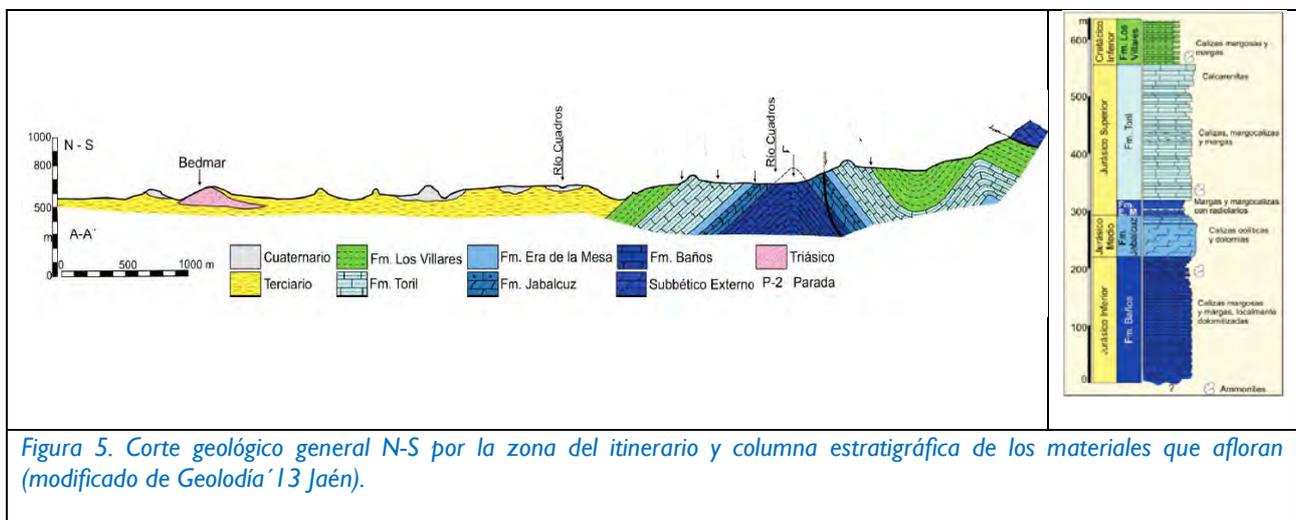


Figura 5. Corte geológico general N-S por la zona del itinerario y columna estratigráfica de los materiales que afloran (modificado de Geología'13 Jaén).

ACUÍFERO DE CÁRCELES-CARLUCCO SIERRA MÁGINA

El macizo de **Sierra Mágina**, situado entre las campiñas del Valle del Guadalquivir y las Sierras Béticas, presenta una forma elongada de relieve abrupto. Su amplitud altimétrica oscila entre 580 m s.n.m. en el río Cuadros hasta 2167 m en el pico Mágina, cota más elevada de la provincia de

Jaén. Desde el punto de vista hidrogeológico se consideran dos acuíferos principales denominados Cárceles-Carluco y Sierra Mágina que conforman la M.A.S. 05.21 “Sierra Mágina”. Los valores medios de precipitación y temperatura son de 700-800 mm/año y 15-17 °C, respectivamente. La evapotranspiración potencial está comprendida entre 770 y 950 mm/año y la lluvia útil entre 350 y 400 mm/año. En la figura 5 se observa un corte geológico donde aparecen los materiales que vamos a encontrar en la excursión.

El **acuífero de Cárceles-Carluco** (Atlas Hidrogeológico Provincia Jaén, 2007; 2011) corresponde a la alineación montañosa de Cárceles-Carluco, con dirección OSO-ENE, que se extiende entre el arroyo de Agua Blanca, próximo a la localidad de Torres y el río Jandulilla (Fig. 6). Se incluyen los afloramientos en los que se sitúan los relieves de Cerro Cárceles (2012 m s.n.m.), Monteagudo (1682 m s.n.m.), Carluco (1455 m s.n.m.) y Carboneras (1511 m s.n.m.) y la Sierra de la Cruz. Los afloramientos permeables ocupan una extensión de 52 km² y están constituidos por una serie de rocas carbonatadas, dolomías y calizas, permeables por karstificación, que abarcan todo el Jurásico, con una potencia que supera los 650 m. Toda la serie esta interconectada hidráulicamente a través de las numerosas e importantes fracturas que la atraviesan. Los límites N, E y O son impermeables y está constituido por margas, calizas y areniscas del Cretácico inferior. El basamento impermeable no llega a aflorar en ningún punto, pero cabe suponer que está formado por materiales impermeables pertenecientes a la Unidad Olistostrómica e incluso a materiales arcillosos, margo-arcillosos y yesíferos del Triásico. Limita al Sur con el acuífero de Sierra Mágina, con el que no hay comunicación hidráulica, considerándose como un límite cerrado. Debido a la presencia de niveles margosos intercalados en la serie y a la existencia de una compleja tectónica, el acuífero se encuentra compartimentado en tres sectores con funcionamiento hidráulico independiente. Estos sectores corresponden a las áreas drenadas por los manantiales principales.

La descarga principal del acuífero de Cárceles- Carluco corresponde a los manantiales del río Cuadros y, en concreto, al manantial de **Sistillo I**, situado en el flanco norte del anticlinal de Cuadros, a cota 628 metros. Presenta un caudal medio de descarga de casi 300 l/s, con máximos >2800 l/s y mínimos de 5 l/s. Aguas arriba se sitúa el manantial de **Sistillo II**, a cota 666 msnm, y relacionado con las calizas tableadas del Jurásico superior que presenta importantes fracturas.

Las aguas del manantial de **Sistillo I** presentan un quimismo peculiar, con conductividades entre 600 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y **facies clorurada sódica o bicarbonatada-clorurada sódico-cálcica** con una importante variabilidad temporal, debido a la existencia de mezclas de aguas de circulación profunda, que han estado en contacto con el sustrato triásico, con otras de circulación más superficial. El manantial de **Sistillo II**, situado a mayor cota, presenta aguas notablemente menos mineralizadas con **conductividades** siempre inferiores a **400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y facies bicarbonatada cálcica**, acorde con las rocas a las que se asocia,

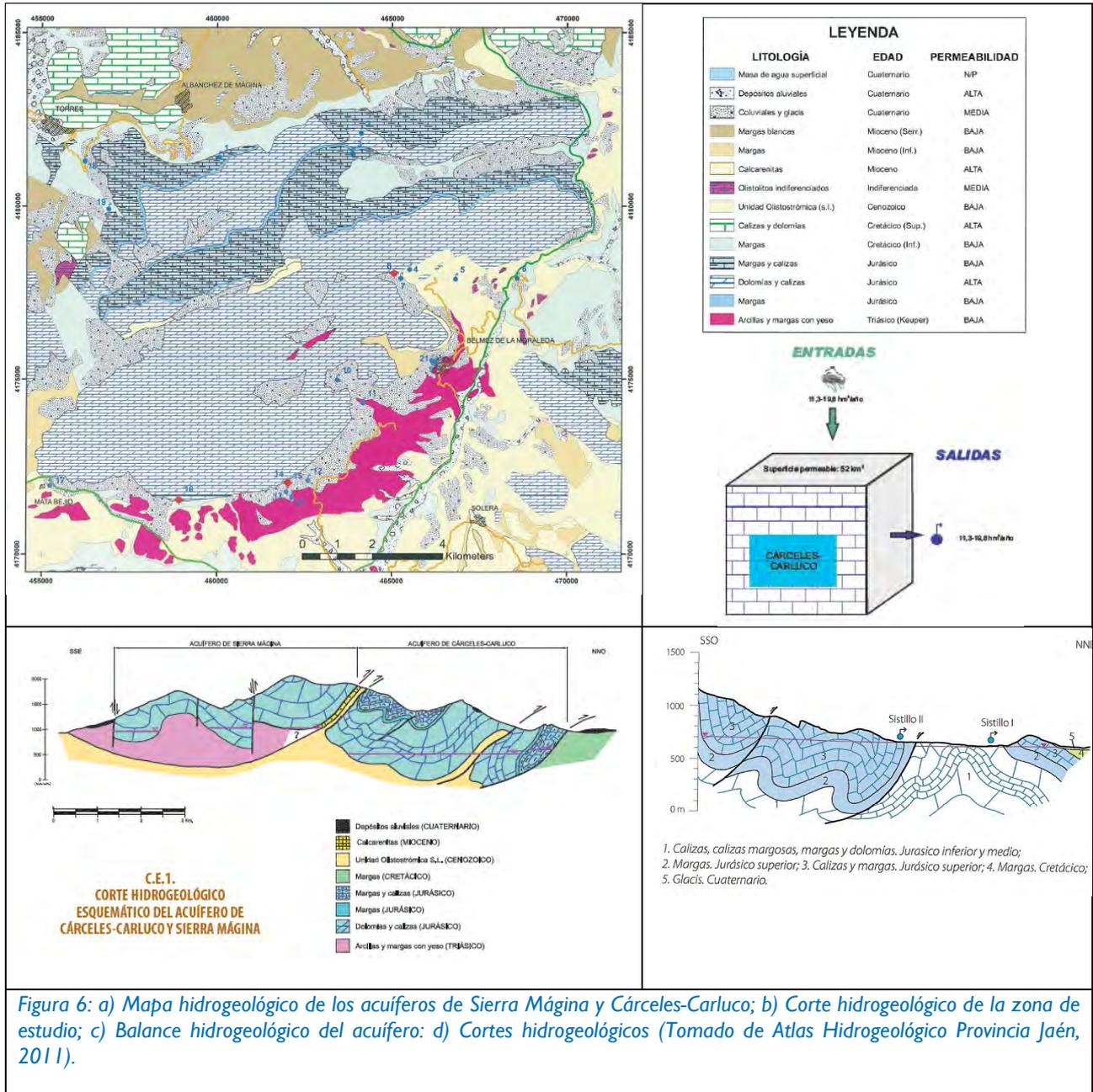


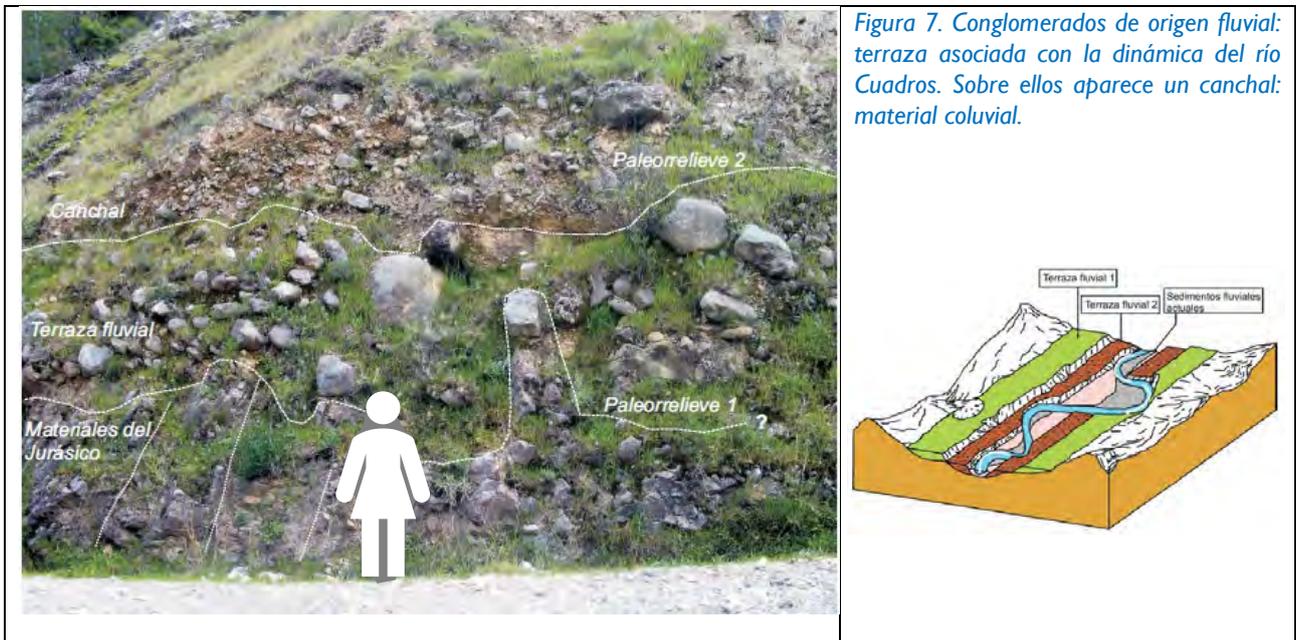
Figura 6: a) Mapa hidrogeológico de los acuíferos de Sierra Mágina y Cárceles-Carlugo; b) Corte hidrogeológico de la zona de estudio; c) Balance hidrogeológico del acuífero; d) Cortes hidrogeológicos (Tomado de Atlas Hidrogeológico Provincia Jaén, 2011).

TERRAZAS FLUVIALES

A lo largo del camino JV-3222 iremos atravesando los diferentes materiales. Es de destacar la presencia de unos materiales compuestos por unos cantos de calizas de tamaño variable, más gruesos hacia abajo y más finos hacia arriba (Fig. 7), en general de formas redondeadas y embebidos en un material más fino. Estos materiales fueron el resultado de la actividad de erosión – transporte – sedimentación del río Cuadros, que los depositó y, debido a su actividad erosiva, se encajó en ellos, erosionándolos también. Por la morfología escalonada que presentan, se les denomina

terrazas fluviales (Fig. 7). Sobre las terrazas fluviales aparecen otros materiales, esta vez compuestos por cantos calizos angulosos sin matriz. Se trata de brechas que se disponen sobre la vertiente de la montaña, dando unos cuerpos sedimentarios que se denominan canchales, derrubios de ladera o abanicos o conos de derrubios, pues adoptan en planta una forma de abanico o cono desplegado.

Un aspecto a destacar es que, en la actualidad, este río circula unos 30 m más abajo que la posición de las terrazas. Esto nos puede dar idea del proceso de encajamiento de este curso fluvial. Por datos obtenidos de la observación de otros afloramientos similares, dichas terrazas debieron de formarse en relación con el último episodio interglaciar del Pleistoceno (parte más antigua del Cuaternario), que finalizó hace unos 112.000 años y que se denomina interglaciar Riss-Würm. Desde entonces, el río Cuadros ha erosionado los materiales por los que circula, encajándose en ellos, hasta alcanzar su posición actual. Si dividimos la diferencia de altura entre la terraza fluvial y la posición actual del río Cuadros, es decir, 30 m, por el número de años que hace que finalizó dicho período y, por tanto, la formación de esa terraza, obtenemos una tasa aproximada del encajamiento de este río de 0,27 m/año, o lo que es igual, de 270 mm/año. Teniendo en cuenta que las magnitudes frecuentes de los procesos geológicos son de pocos milímetros por año, el resultado obtenido es excepcionalmente alto. Esto nos habla de una intensa actividad erosiva de este río, que posiblemente esté favorecida también, por los procesos de levantamiento regional de la Cordillera Bética, como consecuencia del empuje de África desde el sur.



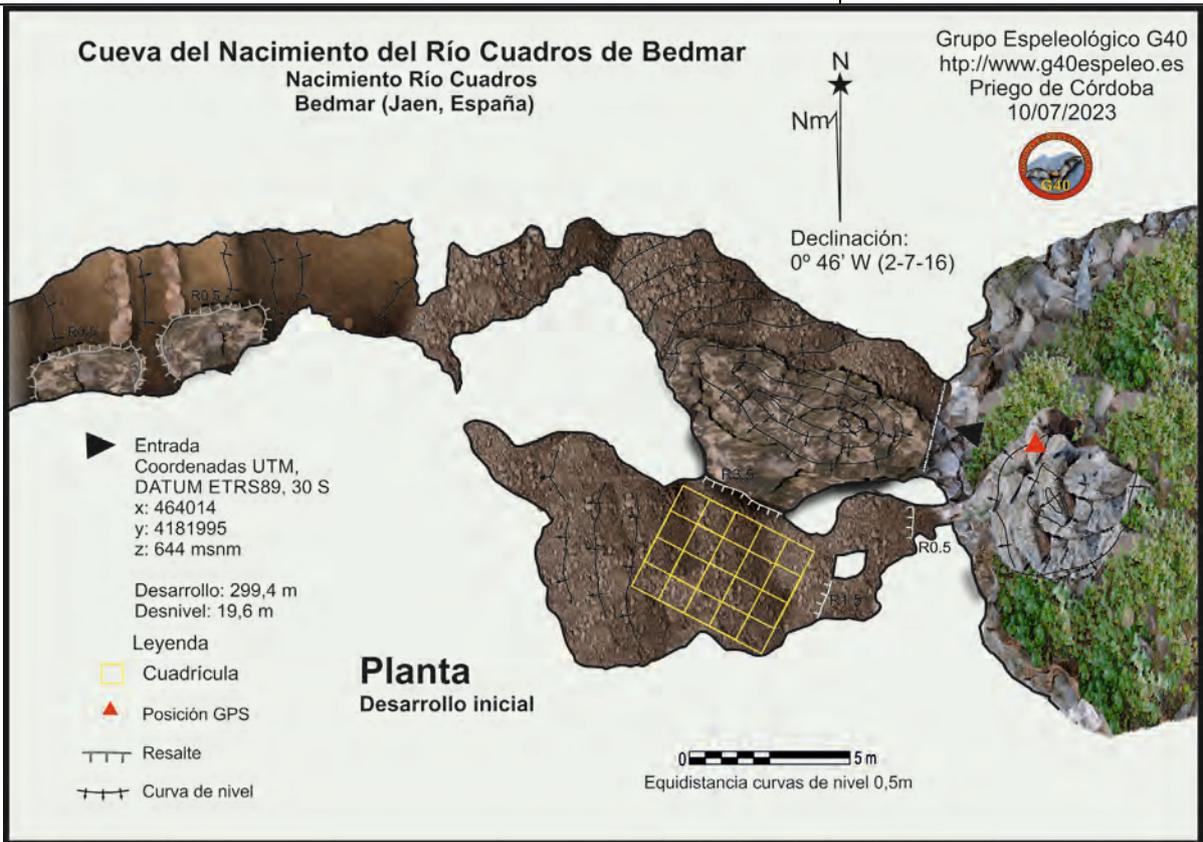


Figura 8. Cueva del Nacimiento del Río Cuadros: panorámica de la cueva; detalle del ídolo cruciforme; planta de la cueva.

CUEVA DEL NACIMIENTO DEL RÍO CUADROS DE BEDMAR

La Cueva del Nacimiento del Río Cuadros es una cavidad kárstica con un desarrollo de 500 m (Fig. 8). En ella, desde 2019, se está llevando a cabo un proyecto de intervención arqueológica bajo la dirección de Marco Antonio Bernal Gómez, promovido por el Ayuntamiento de Bedmar, Caja Rural de Jaén y el Centro Paleomágina. Hasta la actualidad se han documentado tres niveles arqueológicos: Nivel I: revuelto de varios periodos históricos desde el mundo íbero hasta la actualidad, Nivel II: Edad del Cobre/Calcolítico y Nivel III: Neolítico.

En el Nivel II de período Calcolítico se ha descubierto un enterramiento colectivo, con la presencia de más de 30 individuos, con una cronología de 5000 años antes del presente. Junto a los restos humanos se han documentado ajuares como hachas votivas, ídolo cruciforme, puntas de flechas, láminas, restos de cerámicas, cuentas de collar, molinos de mano, así como restos de fauna, semillas, carbones. Con los materiales documentados se está llevando a cabo diferentes estudios: con los restos humanos a parte de sus análisis antropológicos se están haciendo estudios de ADN, isótopos estables; con los restos culturales la tipologías y composición de las cerámicas, los aspectos tecnológicos del material lítico, el uso del espacio a través de la distribución de los mismos; y la reconstrucción paleoecológica a través de los carbones, semillas, polen, microfauna.

AGRADECIMIENTOS

Los organizadores desean expresar su agradecimiento a las instituciones que han apoyado y/o patrocinado el **Hidrogeodía Jaén 2024**: Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). Vicerrectorado de Universidad Sostenible y Saludable de la Universidad de Jaén. Departamento de Geología de la Universidad de Jaén. Paleomágina, Centro de Investigaciones Prehistóricas de Sierra Mágina.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE JAÉN

Los organizadores de la excursión hacen esta actividad de forma voluntaria y desinteresada y ruegan a los asistentes un comportamiento adecuado en los espacios a visitar.

Es importante indicar que la organización no responde de los desperfectos o perjuicios que pudieran ocasionar los asistentes durante la actividad. Además, no se responsabiliza de posibles accidentes o lesiones sufridas por los inscritos a la excursión.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA JAÉN 2018

Rosario Jiménez Espinosa. Profesora de Hidrogeología. Departamento de Geología. Universidad Jaén.

Marco Antonio Bernal Gómez. Arqueólogo gestor del Patrimonio Histórico-Cultural del Ayuntamiento de Bedmar (Jaén). Paleomágina

ELABORACIÓN DE LA GUÍA

Rosario Jiménez Espinosa

PARA SABER MÁS....

- Diputación Provincial de Jaén – ITGE (1997). Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén. 175 pp.
- Diputación Provincial de Jaén – IGME (2011). Actualización del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén. 123 pp.
- Geología. Jaén'13. Isabel Abad, Cristina Fernández, Ginés A. de Gea, Pilar Hernández, Juan Jiménez, Rosario Jiménez, José M. Molina, Luis M. Nieto, Pedro A. Ruiz-Ortiz y África Yebra (2013). Sociedad Geológica de España.
- Rubio, JC, González Ramón, A, López Geta, JA (2007). El agua subterránea en el Parque Natural de Sierra Mágina (Jaén). IGME.
- Vera, J.A. (Ed.). Geología de España; SGE-IGME: Madrid, 2004; p. 890.
- www.conocetusfuentes.com
- https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/ContenidosOrdenacion/red_informacion_ambiental/PDF/Geodiversidad/Geodiversidad_y_Patrimonio_Geologico_Andalucia_2006/capitulo14.pdf
- <http://info.igme.es/visor/>



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGE 5 DÍA
2024

ORGANIZA



**Universidad
de Jaén**

Departamento de Geología

COLABORAN



**PALEO
ÁGINA**

CENTRO DE INVESTIGACIONES PREHISTÓRICAS DE SIERRA MÁGIMA



Universidad de Jaén
Vicerrectorado de Universidad
Sostenible y Saludable

UJa.
Sostenibilidad

Aula Verde. Vicerrectorado de
Universidad Sostenible y Saludable



León

Las Zayas de La Valduerna: soluciones ancestrales a los problemas actuales



Sábado, 6 de abril

9:00 en la plaza del Parque, Destriana



INFORMACIÓN E INSCRIPCIÓN

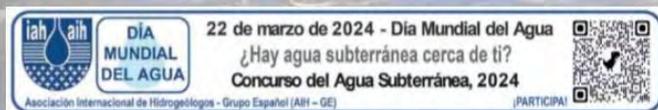
Whatsapp a 616144745

Recomendaciones:

- *Puntualidad*
- *Ropa y calzado cómodo*
- *Protector solar*
- *Llevar agua y merienda*



Transporte en autobús gratuito desde el punto de encuentro



Con el apoyo de:



Comunidades de Regantes: de Destriana y de Robledo. Junta Vecinal de Destriana

Proyecto: Inventario y caracterización de sistemas ancestrales de Siembra y Cosecha de Agua para la adaptación al cambio climático (WaSHa)

El proyecto WaSHa cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Convocatoria de subvenciones para la realización de proyectos que contribuyan a implementar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030).

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) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por hidrogeólogos/as.

En León, el Hidrogeodía 2024 se celebra en la **comarca de La Valduerna**. Se llevará a cabo una visita guiada por varios los siguientes puntos representativos:

- 1) **Mirador de Destriana**
- 2) **Estación de aforos de Velilla**
- 3) **Desviación de la zaya de Destriana**
- 4) **Visita a un pozo que conserva el sistema de cazueletas**
- 5) **Aserradero y molino asociado a la zaya**
- 6) **Desviación de la zaya Robledo**
- 7) **Pozos surgentes de Valle de la Valduerna**
- 8) **Mirador de Castrotierra**



Foto 1. Foto del Hidrogeodía de León 2018 “Ería, retrato de un río Salvaje”.

ITINERARIO

El punto de partida de nuestro recorrido será la plaza del parque de Destriana. El itinerario se realizará en autobús, y el punto final del recorrido volverá a ser el punto de partida (Fig. 1).

La primera parada se realizará en el mirador de Destriana, donde se hará una breve descripción de la geología e hidrogeología de la zona de una forma general. Después, se visitará la estación de aforos de Velilla para explicar su funcionamiento y la entrada del agua al sistema de La Valduerna. En la tercera parada, veremos la derivación de la zaya de Destriana desde el río Duerna y su importancia.

En el camino desde la derivación de la zaya de Destriana hacia la derivación de la zaya de Robledo de la Valduerna, visitaremos; un pozo antiguo que aún conserva el sistema de cazoletas que se utilizaba en esta zona, un molino y un aserradero en el que disfrutaremos de una demostración de su uso in situ.

En la última parte de nuestra jornada pararemos en la derivación de la zaya de Robledo, después veremos los pozos surgentes de Valle de la Valduerna y finalizaremos con las vistas del Mirador de Castrotierra.



Figura 1. Mapa de situación con las paradas del Hidrogeodía de León 2024.

ENTORNO GEOLÓGICO Y ACUIFERO DE LA VALDUERNA

Nos encontramos en la comarca leonesa de La Valduerna, concretamente en el enclave entre los ríos Peces (norte) y Duerna (sur). Esta área, entre ambos ríos, delimita el acuífero interfluvial Duerna-Peces, que ocupa un área de 43,5 km² de afloramientos detríticos permeables (gravas, arenas y limos) con un espesor medio inferior a 10 m (Fig. 2**). Se trata de materiales cuaternarios en los que se incluyen sedimentos de tipo fluvial (fondos de valle, terrazas y llanuras de inundación) y sedimentos aluviales-coluviales.

La recarga del acuífero se produce por la infiltración de: a) el agua de lluvia, b) de parte del agua que circula por las zayas y por el río

Peces y c) por retornos de riego. Las salidas se producen por bombeo y por descarga lateral hacia el río Duerna y el río Tuerto.

Existen más de 180 pozos excavados en esta zona, que se destinan al regadío de los principales cultivos de esta área: trigo, cebada, maíz y patata.

Midiendo la altura a la que se encuentra el agua en estos pozos, los hidrogeólogos podemos hacer mapas (Fig. 2) con las isopiezas, que son las líneas que dibujan la superficie en la que el agua está a la misma altura. Con este mapa, somos capaces de conocer en qué dirección fluye el agua subterránea (flechas azules en el mapa).

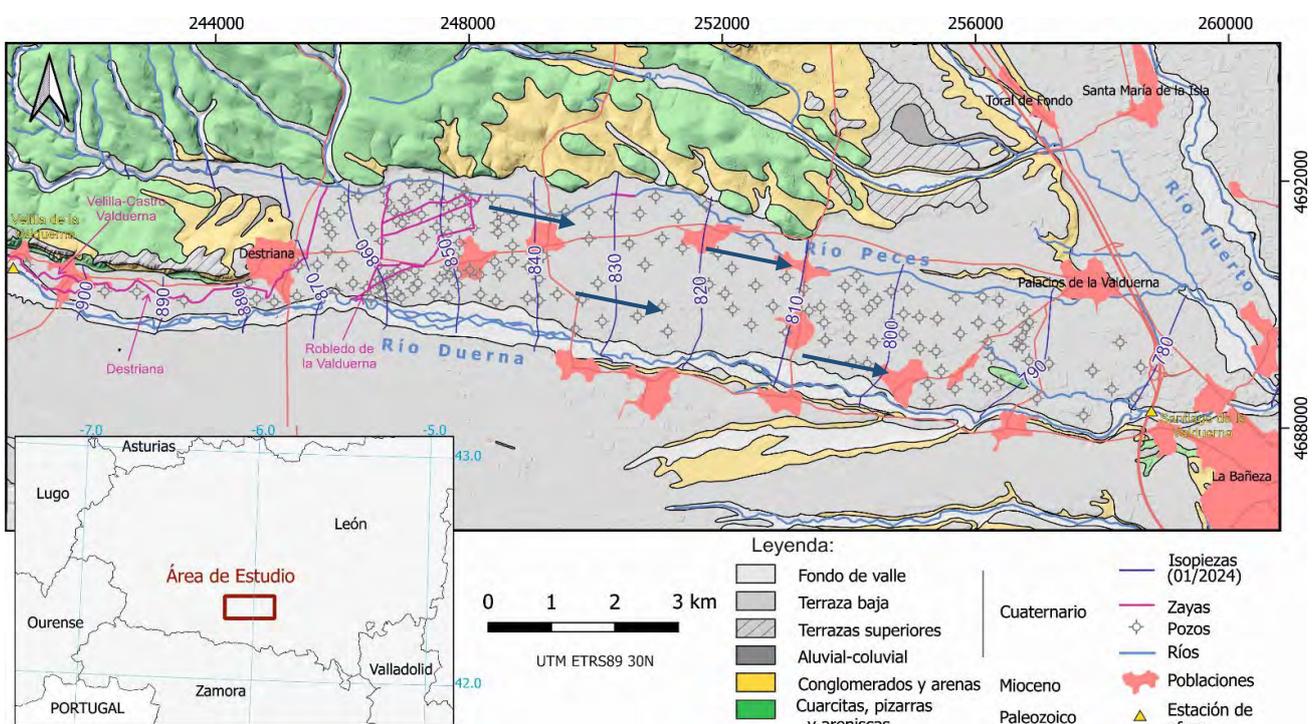


Figura 2. Mapa geológico de la zona a visitar durante el Hidrogeodía de León 2024 (Autor: Carlos Marín).
**Este mapa se puede ver en tamaño más grande al final de la Guía.

LAS ZAYAS

Las zayas, también conocidas como “zaigas o raudas”, consisten en unos canales excavados en el terreno (Foto 2), que derivan el agua de los ríos. Inicialmente se construyeron para facilitar las tareas de riego y transporte del agua en la zona entre el río Duerna y el río Peces. También, el transcurso del agua por las zayas, facilita la recarga del acuífero interfluvial.

En esta zona, las zayas están construidas sobre arenas, gravas y arcillas. Poseen longitudes entre 2 y 6 km, con unas secciones medias de 120 cm de ancho por 70 cm de profundidad. Estas dimensiones, permiten que las zayas tengan capacidad para la circulación de agua con unos caudales comprendidos entre 100 y 250 l/s.

El funcionamiento de las zayas comienza antes de la temporada de riego, momento en el que se desvía el agua del río Duerna, trasvasándola al río Peces. En el transcurso, parte del agua se infiltra desde las zayas al acuífero sobre el que está la zona de riego mientras que otra parte, finalmente, se vierte en el río Peces, que es un **río perdedor** (Fig. 3-Fig3Bis).

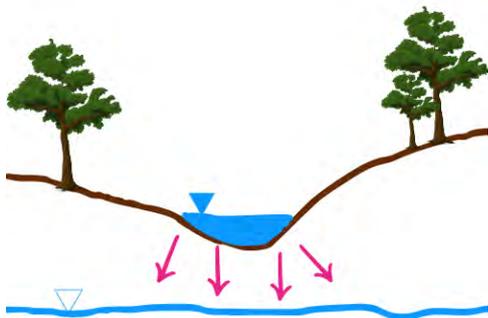


Figura 3. Esquema de río perdedor (Autora: Nuria Naranjo).

Concepto de río ganador-río perdedor

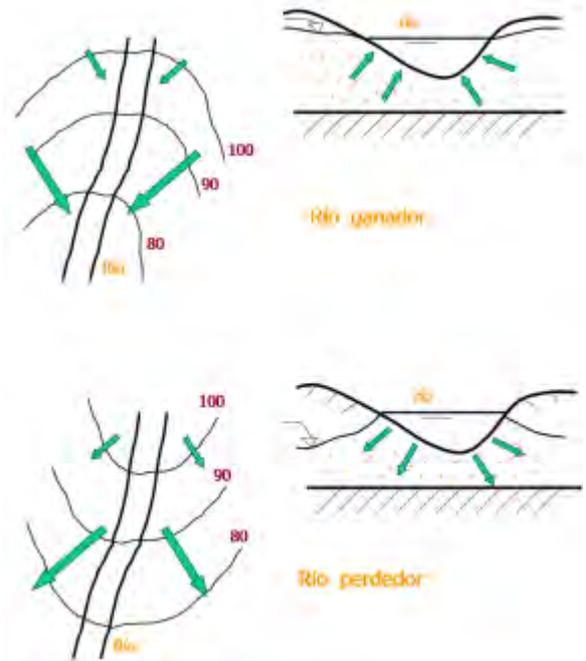


Figura 3. Bis. Relación río-acuífero: ejemplo de río ganador (parte superior) y río perdedor (parte inferior). En ambos casos se muestran dibujos en planta (izquierda) y en perfil (derecha). En color verde se representan las líneas de flujo y en rojo las cotas piezométricas o isopiezas en ms.n.m.

Para conocer la aportación de agua subterránea a un río y viceversa es indispensable determinar el tipo de conexión hidráulica que hay entre ambos.

Esta conexión vendrá controlada por diversos factores: tipo de acuífero, su situación respecto al cauce del río y la situación relativa de los niveles del río y de los niveles piezométricos del acuífero en la zona contigua al río.

Estos factores determinarán cuando un río es ganador (aumenta su caudal por aportaciones subterráneas) o perdedor respecto al acuífero (recarga al acuífero y por lo tanto su caudal disminuye a lo largo del río).

El agua recargada en el acuífero con las zayas y desde el río Peces, más los retornos de riego, permiten que esté disponible para poder extraerla mediante pozos artesanales, excavados a mano, al final de la temporada de riego, cuando ya no es posible derivar el agua desde el río Duerna.

Existen algunos molinos de agua sobre las zayas que datan del siglo XVIII, pero el sistema de zayas es probablemente bastante anterior.



Foto 2. Foto de la zaya de Robledo .(Autor: Victor del Barrio).

Estas zayas tienen una gran importancia ya que albergan numerosos oficios vinculados al agua (molinos, pisones, sierras, fábricas de luz, etc.) y a la agricultura de esta región.

PARADA 1. MIRADOR DE DESTRIANA

En el mirador de Destriana (Foto 3) se comentarán los detalles de la geología de la zona incluida en esta guía y se hará una breve descripción de cómo funcionará la jornada de campo.



Foto 3. Foto del mirador de Destriana . (Autora: Almudena de la Losa).

PARADA 2. ESTACIÓN DE AFOROS: RÍO DUERNA EN VELILLA DE LA VALDUERNA

Las estaciones de aforo son instalaciones que nos permiten medir el caudal (se expresa en volumen por unidad de tiempo) de agua que discurre por el río a lo largo del tiempo. En este caso, la estación “Velilla de la Valduerna” pertenece a la Confederación Hidrográfica del Duero (CHDuero) y fue construida en el año 2013 (Fig. 4, Foto 4). Es una estación de tipo V-flat que consiste en un pequeño azud (de entre 0,5 y 1 m) que permite obtener una alta precisión incluso en medidas de caudales bajos.

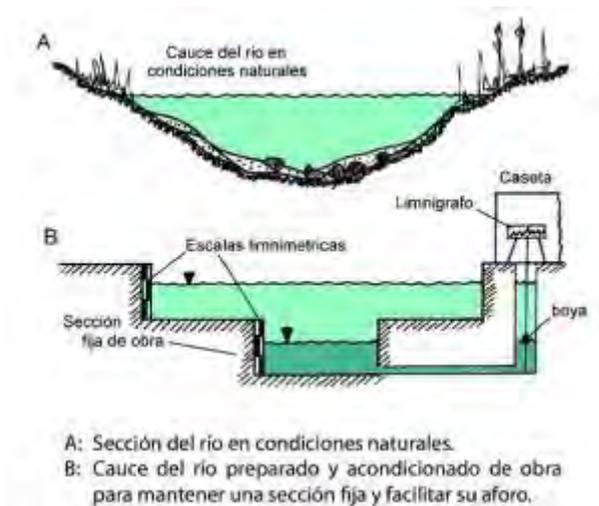


Figura 4. Esquema de estación de aforos tipo.



Foto 4. Estación de aforos Velilla de La Valduerna (Autora: Almudena de la Losa).

Existen diversos tipos de estaciones de aforo. Las que presentan:

- **Escalas limnimétricas:** se trata de escalas graduadas y firmemente sujetas en el suelo, a veces adosadas al pilar de un puente o estructura próxima a la estación. Es necesario que un operario acuda periódicamente a tomar nota de la altura de agua.

- **Limnigrafos:** miden el nivel del río guardando un registro continuo gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. El gráfico que nos proporcionan (altura del agua en función del tiempo) se denomina limnigrama (Fig 5).

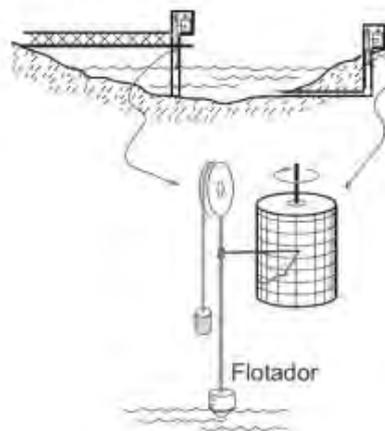


Figura 5. Ejemplo de limnigrafo con flotador clásico instalado. <https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

¿Cómo se mide el caudal?

Los niveles de agua obtenidos necesitamos convertirlos en caudales. El caudal se obtiene aplicando al limnigrama (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 (Fig. 6), 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^3/s) respectivamente.

Existen numerosos métodos para medir el caudal de los ríos y durante la actividad podremos realizar alguna medida del caudal en alguna de las zayas mediante diferentes métodos.

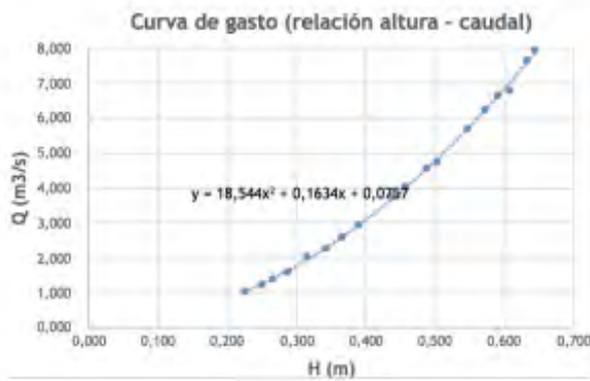


Figura 6. Representación gráfica de una curva de gasto. Esta relación hay que actualizarla periódicamente ya que la sección del cauce puede sufrir variaciones por erosión de la sección transversal o por la deposición de sedimentos.

¿Qué información nos aporta una estación de aforo y cuál es su importancia?

Con la estación de aforos podemos obtener medidas continuas del caudal que discurre por el río que estamos midiendo, a la altura que se encuentra la estación. Sabemos el agua que ha podido recoger y transportar la cuenca hidrográfica de forma superficial a esa altura. Una de las claves que nos aporta esta información es poder conocer los recursos hídricos disponibles que tendremos y así poder gestionarlos mejor.

En la Figura 7, podemos ver cómo la Confederación contabiliza las aportaciones del río Duerna en cada año hidrológico desde la

construcción de la estación y la comparación con la media de los últimos 20 años.

Año Hidrológico	Aportación anual (hm³)
MEDIO	84,8
2013-14	127,18
2014-15	63,09
2015-16	174,92
2016-17	26,90
2017-18	83,93 (en la media)
2018-19	32,86
2019-20	96,26

Figura 7. Datos de la estación de aforos de Velilla de la Valduerna (Origen de los datos: CHDuero).

Como la media histórica es de **84,8 hm³**, los años **2013-14**, **2015-16** y **2019-20** serían años en los que los recursos hídricos están por encima de la media y, sin embargo, los años **2014-15**, **2016-17** y **2018-19** serían **años secos** en los que no se alcanzó la media. Esta es una de las herramientas más básicas con las que las confederaciones hidrográficas pueden contabilizar los recursos hídricos superficiales de su cuenca (Fig. 8).

De forma más detallada, los datos de una estación de aforos también nos aportan información sobre en qué meses llueve o se produce el deshielo e incluso en qué días ocurrieron esas precipitaciones y su cantidad.

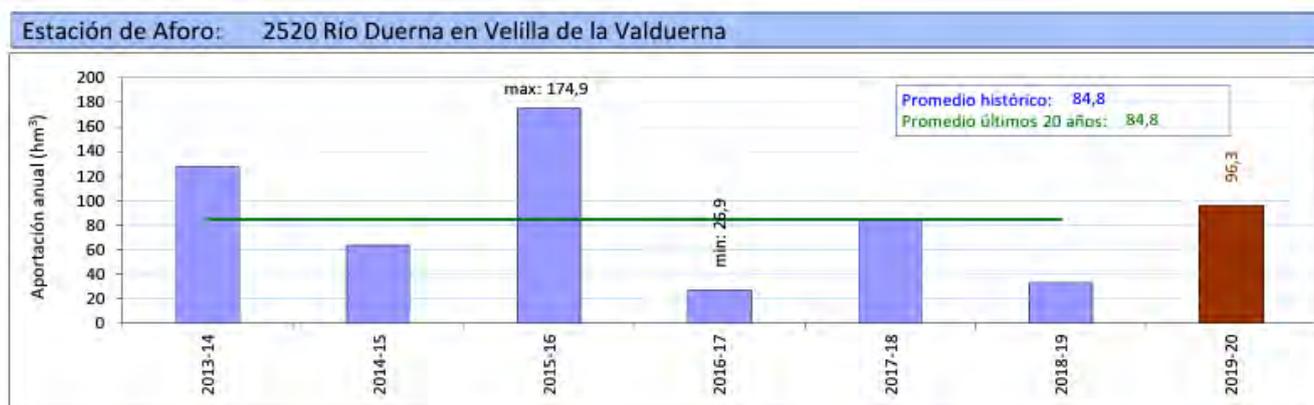


Figura 8. Datos de las aportaciones anuales del río Duerna a su paso por la estación de Velilla de la Valduerna

PARADA 3. DERIVACIÓN DE LA ZAYA DE CASTRILLO DE VALDUERNA

El río Duerna nace en el paraje de las Cabezas del Río, en Pobladura de la Sierra. Es un afluente del río Tuerto que discurre por la provincia de León. Desemboca en el río Tuerto y a pocos metros en el río Órbigo. Tiene una longitud de 54 km y drena una cuenca de unos 317 km². Tanto el río Duerna que da nombre al valle (Valle del Duerna o Valduerna), como el río Peces o del Fresno ya están documentados en la Edad Media por ser referentes auríferos y de abundante pesca. La importancia de este río se remonta a la época romana, ya que usaban sus aguas para lavar ingentes cantidades de tierra con el fin de extraer el oro que contenía.

La mayor parte de los pueblos que conforman esta comarca se beneficiaron desde la Edad Media de las aguas de estos ríos y realizaron infraestructuras como las rauda o zaya que se convirtió ya en el siglo XV en una de las presas o cauces más emblemáticos de la provincia junto a las del río Órbigo.



Foto 5. Derivación del río Duerna a la zaya de Castrillo de la Valduerna.

El trazado de estas zayas fue diseñado para diferentes aprovechamientos en esta región como molinos, pisones y sierras (Fig. 9). Para pasar el agua de unos cursos a otros se construyeron derivaciones que pueden abrirse en época de riego (Foto 5) y cerrarse el resto de la temporada. Aunque actualmente muchas de estas actividades ya están en desuso, la función de estas zayas tiene un papel fundamental en la recarga del acuífero interfluvial entre el río Duerna y el río Peces y su explotación en las épocas de estiaje cuando no se puede hacer uso de las aguas superficiales. Este hecho es fundamental en la actividad agrícola de la zona.

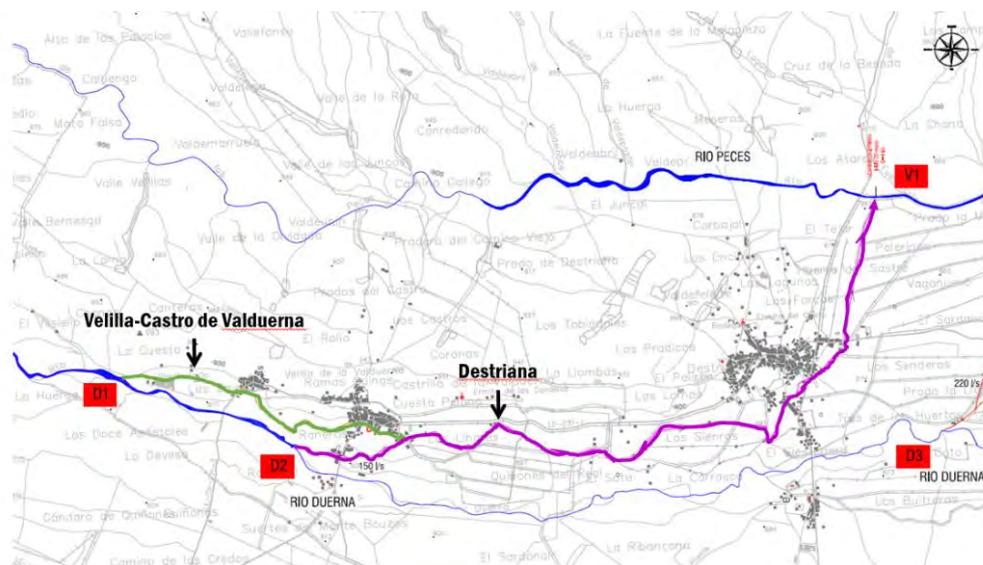


Figura 9. Mapa de situación de las zayas de Velillas-Castrillo de la Valduerna y Destriana.

PARADA 4. POZO TRADICIONAL CON SISTEMA DE CAZOLETAS

En la comarca de La Valduerna aún podemos encontrar una mezcla de sistemas modernos de extracción de agua en los pozos, como podrían ser las bombas eléctricas, con sistemas antiguos. Es el caso concreto del sistema de cazoletas que aún es utilizado por algunos usuarios de la región.

Este sistema consiste en una maquinaria de engranajes (Foto 6), accionados en el pasado mediante la fuerza de los animales para la extracción de agua de los pozos (Fig. 10).

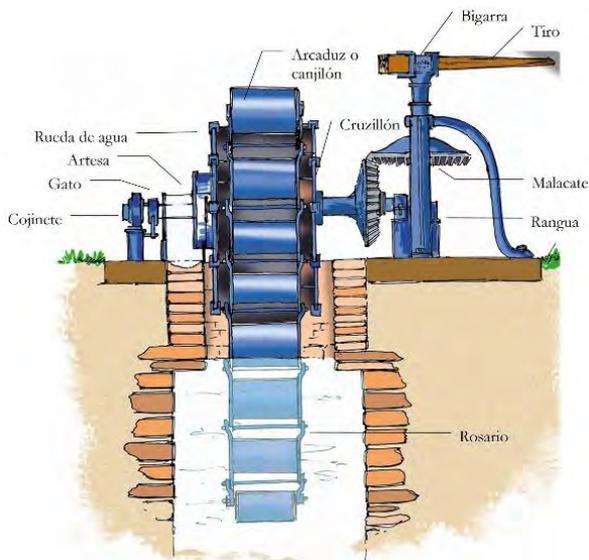


Figura 10. Esquema de mecanismo de extracción tradicional de agua sin maquinaria eléctrica.

La rueda principal posee unas cazoletas o recipientes que se llenan de agua al bajar por el brocal del pozo y se vierten en un canal o depósito a la altura de la superficie para su uso. Este tipo de pozos actualmente se encuentra en desuso y se realiza la extracción del agua del pozo mediante electrobombas y se riega mediante aspersores.



Foto 6. Mecanismo de extracción de agua artesanal de tipo cazoleta en La Valduerna (Autora: Almudena de la Losa)

PARADA 5. DERIVACIÓN DE LA ZAYA DE ROBLEDO DE LA VALDUERNA

Pararemos brevemente para conocer la Derivación de la Zaya de Robledo de Valduerna (Fig. 11). De gran importancia al igual que la de Destriana.

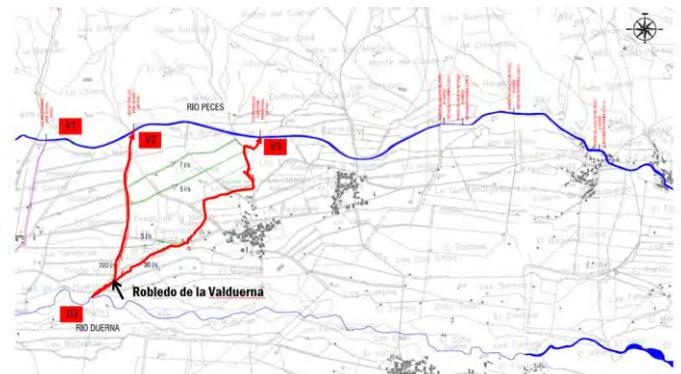


Figura 11. Mapa de situación de la Derivación de la zaya de Robledo de la Valduerna

PARADA 6A. EL ASERRADERO DE BERTO CORDERO

La comarca de la Valduerna cuenta con un excepcional conjunto etnológico asociado a las zayas de Castrillo y Velilla de la Valduerna. En Castrillo de la Valduerna hay dos zayas autogestionadas desde tiempo inmemorial por las gentes de Castrillo y Velilla (zaya de Castrillo), las gentes de Destriana (zaya de Destriana) y en Robledo también existe una zaya (zaya de Robledo). Los pueblos de Velilla y Castrillo de la Valduerna cuentan con la concesión de una presa sobre el río Duerna que abastece de agua a la Zaya, canal de riego natural, sobre el que se asienta el conjunto etnológico de las zayas de Castrillo y Velilla de la Valduerna, compuesto por diez molinos, dos aserraderos y dos pisones o batanes y numerosos elementos etnográficos o ingenios hidráulicos de valor patrimonial. La presencia continua de agua en este cauce es imprescindible para la conservación de estos bienes ya que algunos de sus elementos de madera necesitan de la inmersión continua y permanente para su preservación. Muchas de estas edificaciones se datan sobre el siglo XV. Entre estas edificaciones, se conserva, aún en funcionamiento, el aserradero de Berto Cordero, la tercera generación que regenta este negocio. Estos aserraderos utilizan la fuerza motriz del agua para hacer funcionar las sierras.

Con un sistema de turbinas, que funciona como un sifón, mueve 14 aletas que van conectadas a una transmisión que genera el movimiento de la maquinaria para el aserradero (Fig. 12). Todo esto es posible por la derivación del agua del río Duerna.

Además, en el estudio llevado a cabo por el Ayuntamiento de Castrillo para poner en valor las infraestructuras existentes, se manifestó que es muy importante mantener las zayas en funcionamiento para conservar los mecanismos de acción de molinos y fábricas de luz, construidas y diseñadas para estar bajo el agua. Por este motivo, en 2022 el Ayuntamiento también decide solicitar a la CHDuero la declaración de masa de agua artificial del sistema de zayas, y de esta forma, intentar garantizar el curso de agua continuo para conservar este sistema de recarga artificial creado y cuidado por nuestros antepasados

(<https://www.diariodeleon.es/leon/provincia/220328/598638/condena-chd-patrimonio-valduerna.html>).



Figura 12. Sistema de turbinas del aserradero de Berto.

PARADA 7. POZOS SURGENTES DE VALLE DE LA VALDUERNA

En la zona de la Valduerna vamos a diferenciar dos tipos de acuíferos: un acuífero superficial y otro profundo.

El **acuífero superficial** es de carácter libre, cuyas aguas están sometidas únicamente a la presión atmosférica. (Fig. 15). En esta zona este acuífero está representado por materiales cuaternarios aluviales, en general de poco espesor, y la mayoría de los pozos se localizan en este sistema acuífero (Fig. 16).

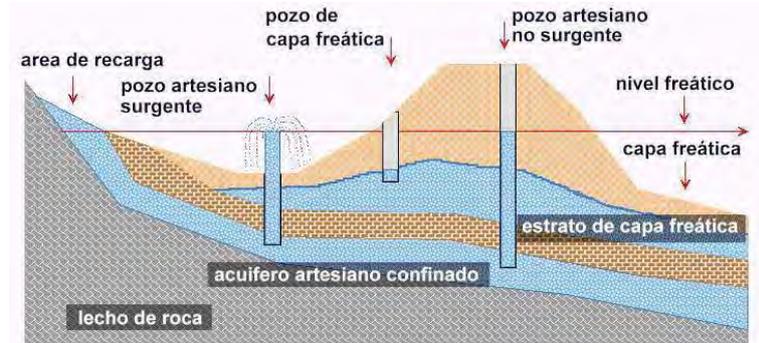


Figura 15. Esquema de tipos de acuíferos.

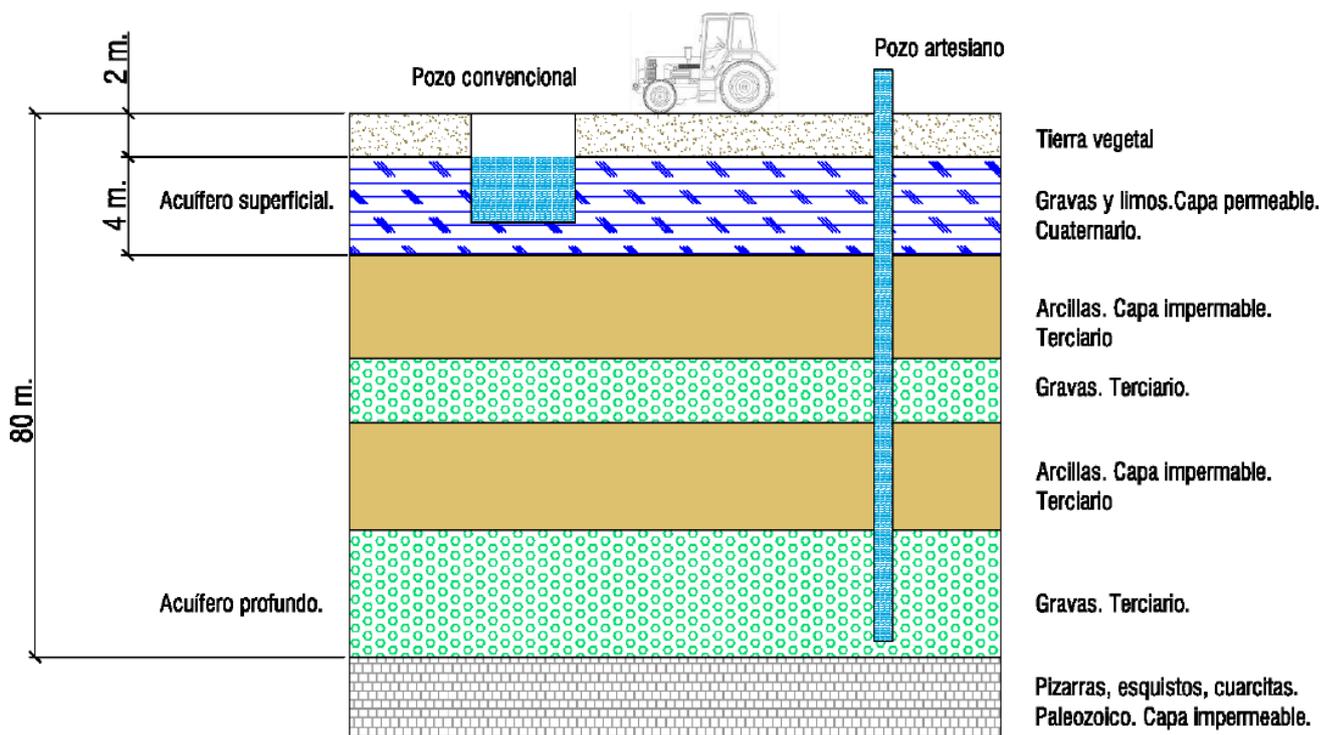


Figura 16. Esquema del terreno para la comparación de pozo artesanal y pozo artesiano (Autor: Jose Ángel Ventura).

El **acuífero profundo** es de carácter confinado, encontrándose los pozos en torno a 80-90 m de profundidad, dando lugar a pozos de machina o artesianos o surgentes.

Un pozo surgente es aquel en el que el agua asciende por encima del terreno de forma natural, sin ningún sistema de extracción que bombee el agua para que salga a la superficie. Este fenómeno se debe a que el agua está bajo una presión mayor a la atmosférica y cuando se libera la presión el agua asciende.



Foto 8. Pozo surgente de Valle de la Valduerna (Autora: Almudena de la Losa).



Foto 9. Pozo surgente en la comarca de la Valduerna (Autor: Jorge Jódar).

Concretamente en la comarca de La Valduerna existen pozos artesianos con un caudal de 4-5 l/s en Valle, Riñaltes y Radelga, del municipio de Villamontán de Valduerna (Fotos 8 y 9). Además de encontrarse pozos de este tipo en Palacios de la Valduerna. Estos pozos dejan salir del agua del acuífero más profundo, que se encuentra confinado bajo las capas superiores (Fig. 16).

PARADA 8. MIRADOR DE CASTROTIERRA

En el Mirador de Castrotierra (Foto 10) pondremos fin a la jornada, con una vista panorámica de la zona. Podremos aprovechar el momento para preguntar las dudas que nos surjan.

Finalizaremos el día retornando a nuestro punto de encuentro inicial.



Foto 10. Vistas desde el mirador de Castrotierra (Autora: Almudena de la Losa).

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- LEÓN 2024

- Se ruega puntualidad.
- Llevar bebida y algo para comer (bocadillo).
- Llevar calzado cómodo para caminar.
- Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc.
- Muy recomendable llevar cámara de fotos.
- El lugar de finalización de la excursión será en la Plaza del Parque de Destriana
- La hora de llegada es aproximada (14:30 – 15:00).

AGRADECIMIENTOS

El proyecto WaSHa cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Convocatoria de subvenciones para la realización de proyectos que contribuyan a implementar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030).

La realización de esta jornada tampoco hubiera sido posible sin la colaboración de: El Instituto Geológico y Minero de España-CSIC (CN-IGME CSIC), el Ayuntamiento de Destriana, La empresa Rajorsa, en especial a Jaime Rodríguez García biotecnólogo (grupo Soaga, León), la Comunidad de Regantes de Destriana, en especial por la ayuda prestada por Alfonso Valderrey Berciano, la Comunidad de Regantes de Robledo de la Valduerna representada por Alfonso Pérez Ferrer de Robledo, y la Junta Vecinal de Destriana. Además, queremos mostrar nuestro agradecimiento a Berto Cordero y Daniel Prieto vecinos de Destriana por mostrarnos su aserradero y molino.

Por último, y no menos importante, agradecemos a la Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español por promover el Hidrogeodía desde el año 2017 y financiar el autocar que nos acompañará durante la jornada.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA LEÓN 2024

Almudena de la Losa Román (IGME-CSIC)

Nuria Naranjo (IGME-CSIC)

Sergio Martos Rosillo (IGME-CSIC)

Carlos Marín Lechado (IGME-CSIC)

Antonio González Ramón (IGME-CSIC)

José María Ruiz Hernández (IGME-CSIC)

José Ángel Ventura (Provilacer)

Carlos Venturini (Profesional libre)

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

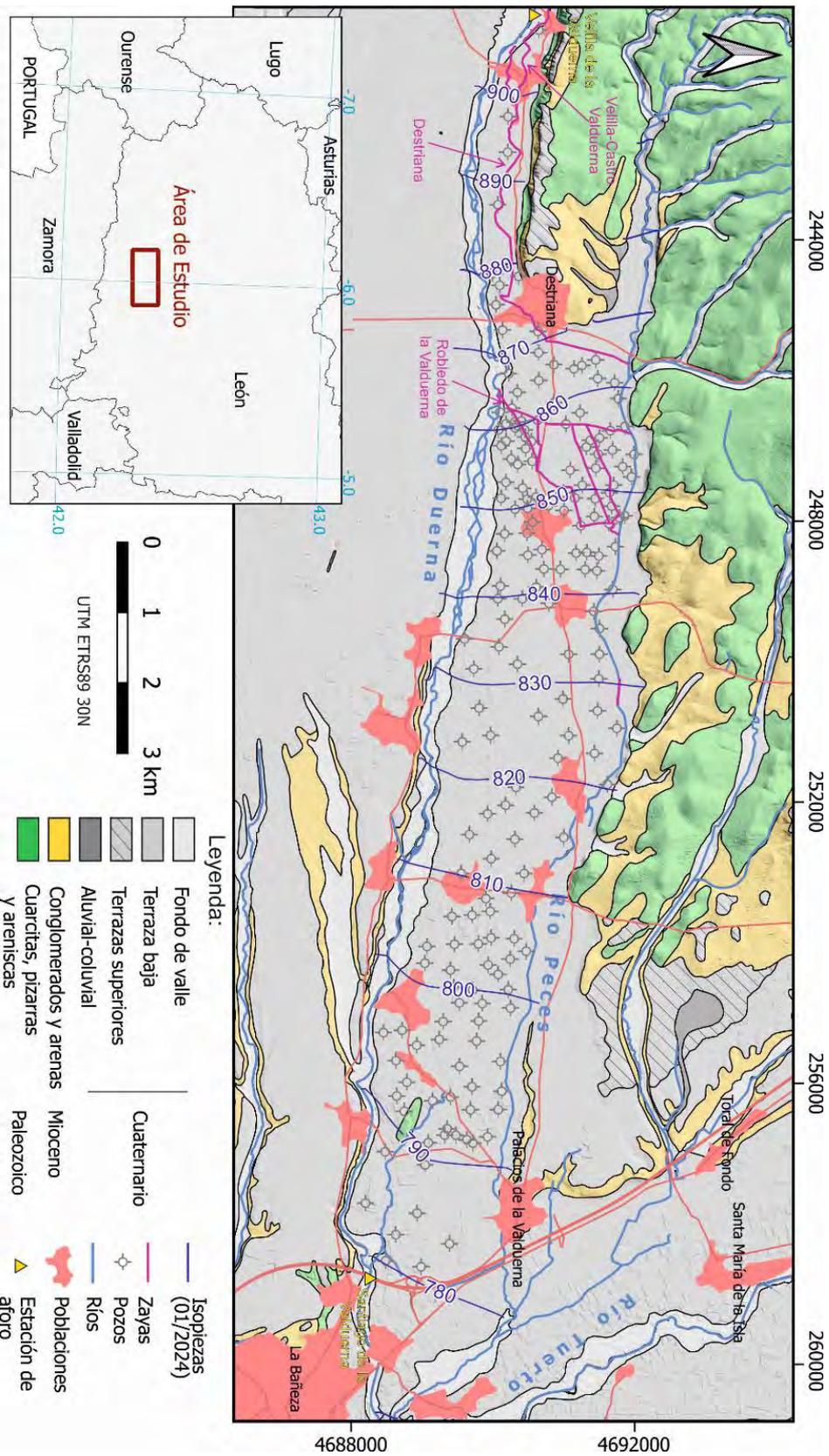


Figura 2. Mapa geológico de la zona a visitar durante el Hidrogeodía de León 2024 (Autor: Carlos Marín).

PARA SABER MÁS....

CHD (Confederación Hidrográfica del Duero). (2021). Caracterización geológica e hidrogeológica preliminar de los recursos hídricos del sistema hidrológico de la Valduerna (León). Interfluvio de los ríos Duerna-Peces.

<https://www.diariodeleon.es/opinion/tribunas/180418/992094/valduerna-problema-regadio.html>

https://www.academia.edu/36738919/Sobre_el_origen_y_difusi%C3%B3n_de_los_Molinos_de_Regolfo

Laureano M. Rubio Pérez (1997). Agua, regadío y conflicto social en la provincia de León durante la Edad Moderna. Estudios humanísticos, Geografía, historia y arte. ISSN 0213-1390. N° 19, 1997. 87-114 pp.

Pablo José Zapico Gutierrez (2016). Inventario de los molinos de la provincia de León en el Catastro de la Ensenada y en los diccionarios de Miñano y Madoz. Universidad de Valladolid. Tesis Doctoral. 425 pp.



Lleida



Universitat de Lleida



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

EXCURSIÓN:

MANANTIALES DE LOS ACUÍFEROS CARBONATADOS DE LOS PIRINEOS ENTRE EL RÍO SEGRE Y LA RIBERA SALADA (LLEIDA)

23 DE MARZO DE 2024

PROFESORADO: JOSEP MARIA MÀSICH, MANEL PASCUAL, CARLES BALASCH Y JOSEP MARIA MATA-PERELLÓ



VISITA GUIADA CON LAS SIGUIENTES PARADAS

1. OLIANA
2. FONTS DE PERAMOLA
3. FONT BORDONERA
4. FONT DE CAL SALA I SANT QUINTÍ
5. SALÍ DE CAMBRILS

INSCRIPCIÓN PREVIA (GRATUITA)

- **Imprescindible reserva previa** por correo electrónico a: 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 30 participantes.
- Más información en:
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>

HORARIO Y TRANSPORTE (GRATUITO)

- **Hora y lugar de salida:** 8.00 h. Camp d'Esports (Lleida).
- **Comida:** Cambrils de Muntanya. La inscripción no incluye la comida que ira a cargo de cada participante (opción de picnic). Indicar en el mail de inscripción.
- **Hora y lugar de regreso:** 19.30h. Camp d'Esports (Lleida).

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024

Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE) [PARTICIPA]

HIDROGEODÍA 2024

III Concurso de Fotografía
hidrogeológica AIH- Hidrogeodia 2024

Universitat de Lleida
Biblioteca i Documentació
Biblioteca del CAFIV

Universitat de Lleida
Departament de Química, Física
i Ciències Ambientals i del Sòl

Universitat de Lleida
Vicerectorat de Cultura
i Extensió Universitària



PARC GEOLÒGIC I
MINER
CONTRAFORTS DEL
PIRINEU



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 esta, 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 tercer año consecutivo.

La presente guía resume el contenido de la excursión que se realizará el día **23 de marzo de 2024** 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 o similar exceptuando alguna caminata para acceder al lugar de interés. 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 8'00 h se saldrá del aparcamiento del Camp d'Esports de Lleida. Se parará a

desayunar en el Hotel Cal Petit de Oliana donde se hará la presentación de la jornada.

A las 15'00 h se parará a comer en el restaurante Ca l'Agustí de Cambrils (Termino Municipal de Odèn). 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 relativamente fáciles, se recomienda usar ropa y calzado cómodo de campo y estar informados de la previsión meteorológica y adecuar la ropa de abrigo a la misma.

La jornada de 2024 se presenta bajo el título: **MANANTIALES DE LOS ACUÍFEROS CARBONATADOS DE LOS PIRINEOS ENTRE EL RIO SEGRE Y LA RIBERA SALADA (LLEIDA)**.

La zona que se visitará comprende el tramo medio de la cuenca del río Segre entre Oliana y Organyà, y la margen derecha de la cuenca media de la Ribera Salada.

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 alguna de las surgencias más espectaculares que drenan a los mismos. La ruta que se seguirá se indica en la figura 1, y consta de las siguientes paradas:

PARADA 1. Hotel Cal Petit.

PARADA 2: Fonts de Peramola y aluvial del Segre.

PARADA 3: Font Bordonera.

PARADA 4: Font de Sant Quintí.

PARADA 5: Anticlinal d'Alinyà, salines y tartera de Cambrils.

Los acuíferos que se explicarán 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:

- Calizas y dolomías (jurásicas y del Cretácico Superior) de las Sierras Marginales en la zona de cabalgamientos imbricados en rampa.
- Conglomerados del Eoceno y Oligoceno sintectónicos de las Sierras Marginales en la zona de cabalgamientos imbricados en rampa.
- Gravas y arenas cuaternarias de los llanos aluviales de Oliana.
- Calizas del Cretácico Superior del Sinclinal de Santa Fe (Font Bordonera y su relación con el anticlinal de Sant Corneli en la cuenca del Noguera Pallaresa.
- Carbonatos del Port del Comte.
- Conglomerados del Port del Comte.

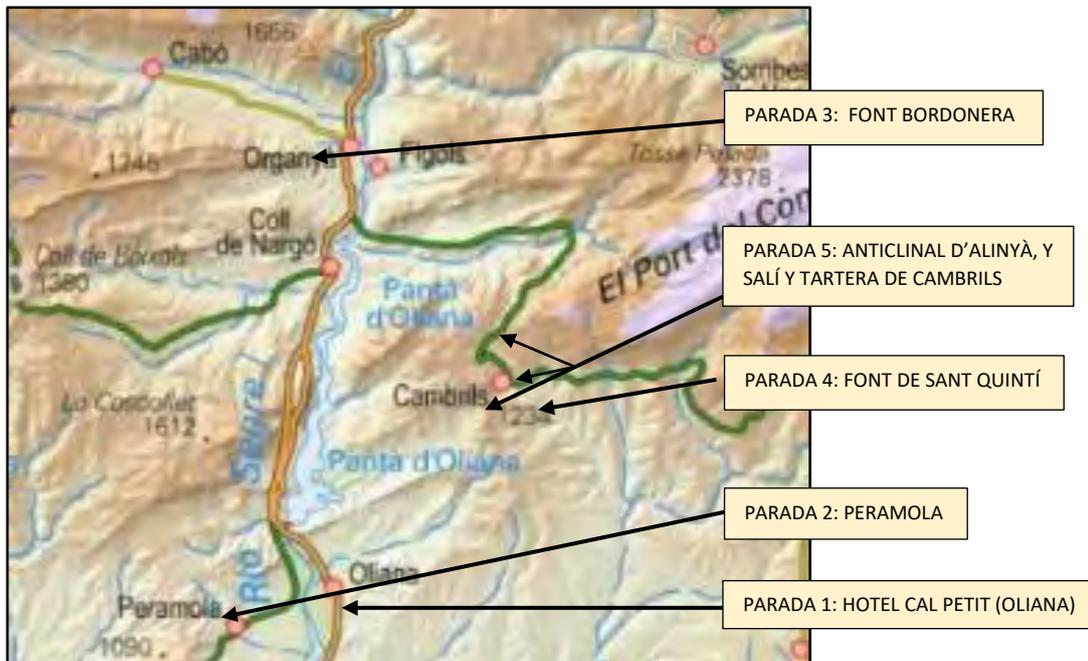


Figura 1. Paradas de la excursión conmemorativa del Día Mundial del Agua 2024 (HIDROGEOLOGÍA).

PARADA 1. HOTEL CAL PETIT (OLIANA). EXPLICACIONES INTRODUCTORIAS Y GENERALES

En las cercanías del Río Segre, en los exteriores del Hotel Cal Petit, al Sur de Oliana, 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

Como se ha mencionado, la parte media de la cuenca del Segre y de la Ribera Salada que se visitará durante la excursión, se sitúa en la parte oriental de la provincia de Lleida.

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 COLISIÓN DE CONTINENTES

La fase compresiva se ha de contextualizar en el proceso de choque 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).



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.

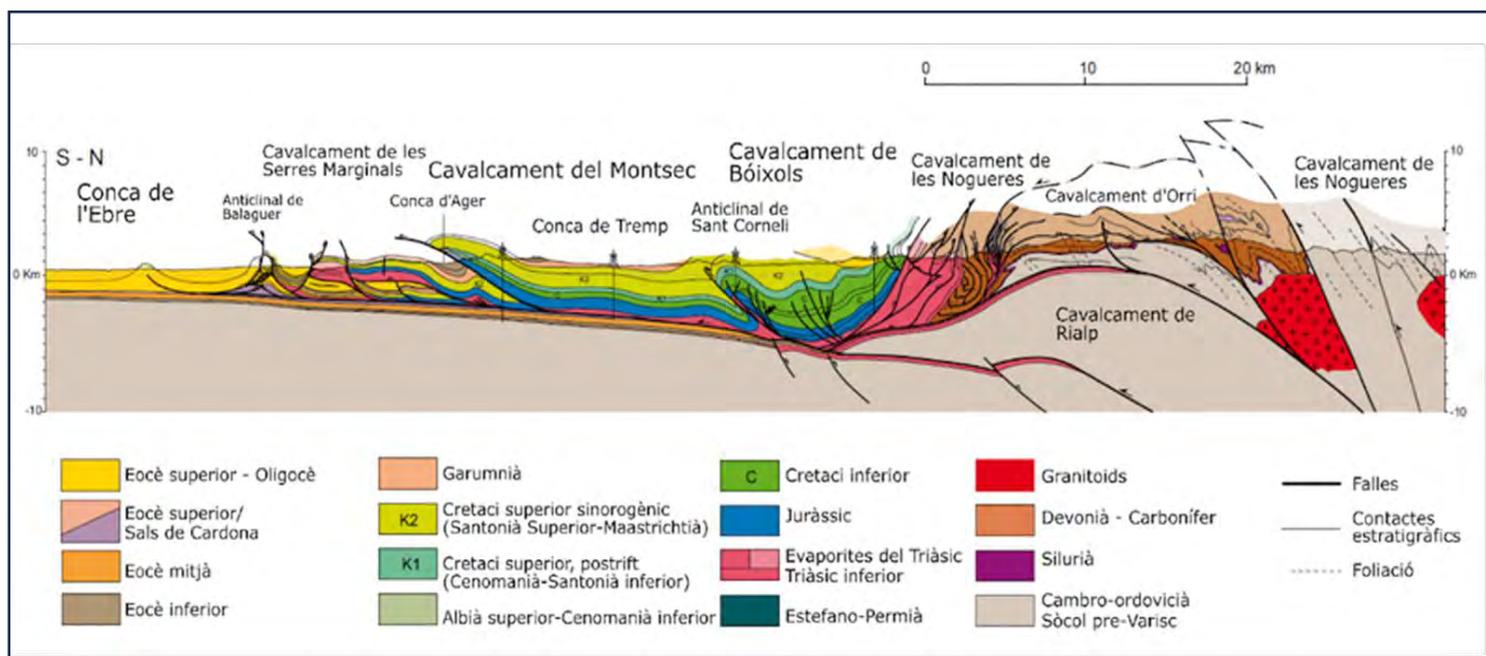


Figura 3. Parte meridional del perfil ECORS (S-N) mostrando los sedimentos del Triásico, Jurásico, Cretáceo, Eoceno y Oligoceno plegados como consecuencia de la orogenia Alpina (de IGCC, 2010). Obsérvese que el corte pasa por la cuenca de Tremp, Vall d'Àger y Balaguer, es decir al Oeste de la zona que se visitará.

La figura 3 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 4). Estos sedimentos se observarán durante la excursión mostrando disposiciones más complejas que la del esquema.

En la figura 3 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, y hacia el Este los cabalgamientos en rampa imbricados de Artesa de Segre y Montargull (que son objeto de explicación diferenciada en esta guía), etc.

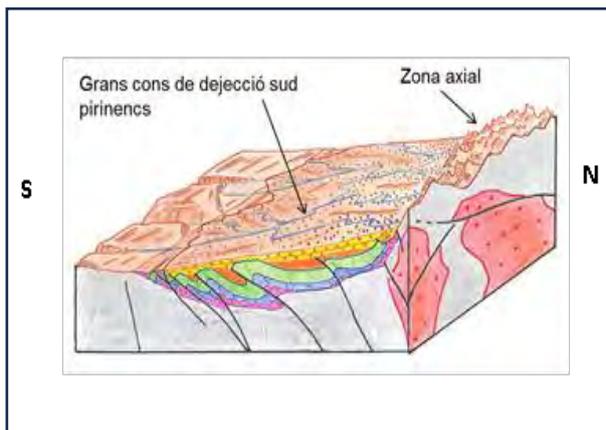


Figura 4. Esquema simplificado de la etapa paleógena de la formación de los Pirineos (hace entre 25 y 40 millones de años). La figura muestra los plegamientos i cabalgamientos de los sedimentos mesozoicos (Sierras marginales al sur, Montsec en medio y Bóixols al norte), las cumbres que se han ido formando 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).

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**. A este dominio estructural pertenece el sinclinal de

santa Fe (Font Bordonera) que se visitará durante el Hidrogeodia 2024.

LOS CABALGAMIENTOS EN RAMPAS IMBRICADAS DE LAS SIERRAS MARGINALES DE LOS PIRINEOS LERIDANOS

El itinerario del Hidrogeodía de 2024 es complementario a los itinerarios de los Hidrogeodías de 2022 y 2023. En todas las rutas se han explicado diferentes acuíferos vinculados a las formaciones mesozoicas y cenozoicas carbonatadas de los Pirineos leridanos. Este año se visitarán las formaciones más orientales de la provincia. Las estructuras que se observarán son bastante más complejas que las visitadas en los años anteriores. De la estructura mostrada en el corte geológico de la figura 3 (perfil ECORS), hacia el Este, se pasa a una estructura mucho más corta, pero no por eso más simple (perfil Pedraforca, figura 9).

Entre estas dos estructuras hay una compleja disposición de accidentes tectónicos de tránsito. En esta guía se hará una breve explicación simplificada pese a su complejidad.

El mapa geológico de la figura 5 permite observar la totalidad de las grandes Unidades sedimentarias de los Pirineos. En el mapa se sitúan los dos perfiles mencionados (ECORS y Pedraforca) y entre ellos se encuadra la zona visitada en la que se localizan formaciones que van desde el Triásico hasta el Oligoceno.

Esta zona de transición se realiza mediante un sistema complejo

de cabalgamientos imbricados denominados “en rampa” que equivalen a los cabalgamientos más meridionales de las Sierras Marginales (Camarasa, Montroig, etc.) hasta el del Montsec (figura 6).

La figura 7 muestra la situación de los diferentes frentes estructurales a lo largo de la historia geológica en millones de años, hasta la actualidad.

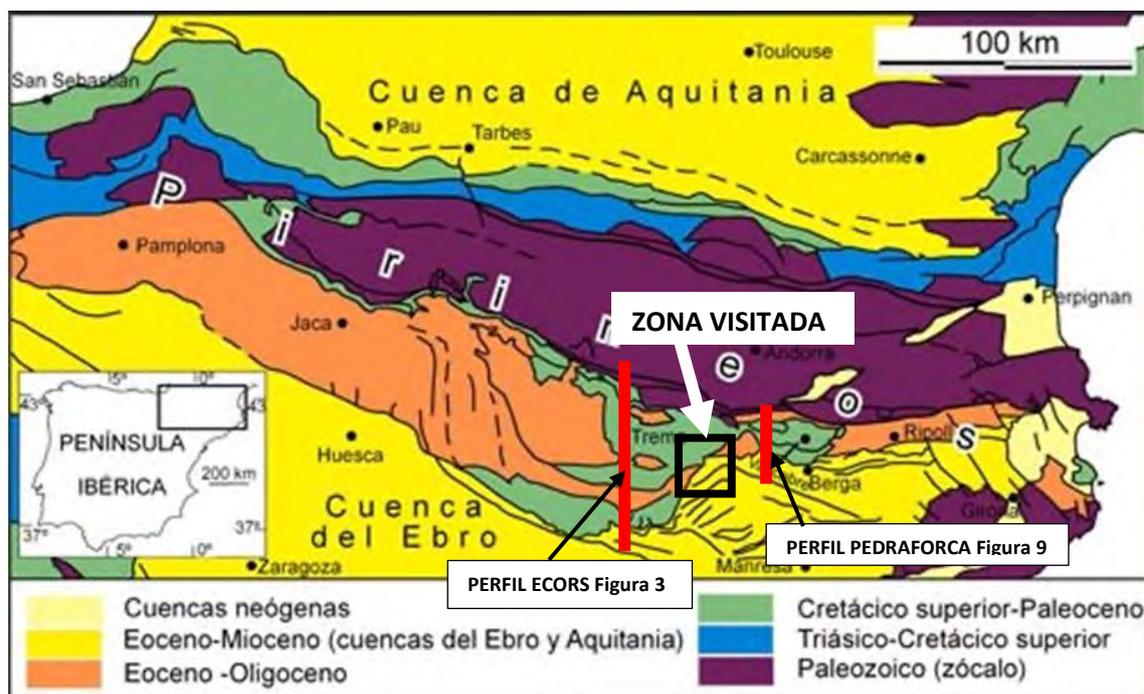


Figura 5. Mapa geológico de los Pirineos. Se encuadra la zona visitada durante el Hidrogeodia 2024. Dentro del cuadro se puede observar que las formaciones geológicas van des del Jurásico/Cretácico (Verde) hasta el Mioceno de la cuenca del Ebro (amarillo). La separación entre ambos colores se orienta en dirección NE-SW. Al mismo tiempo, en los materiales Eoceno/Miocenicos representados en amarillo, se indica la orientación de las deformaciones que los afectan. También se indica la situación de los perfiles ECORS y Pedraforca (en rojo).

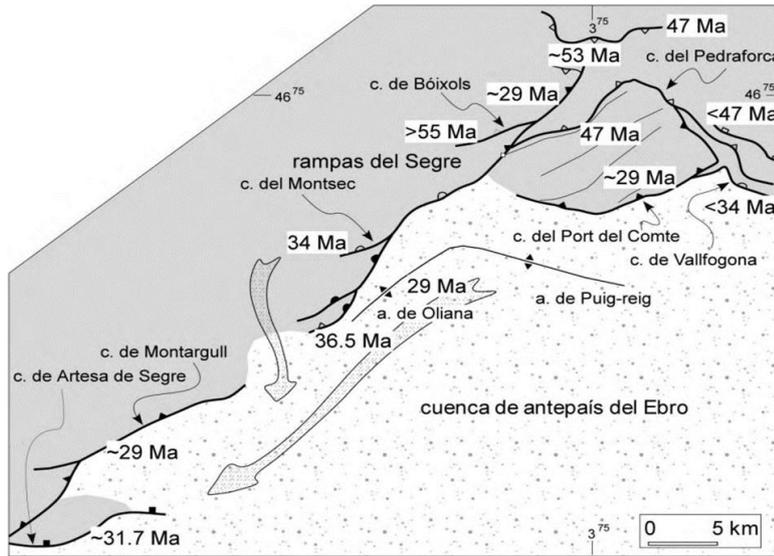


Figura 6. Mapa evolutivo de la distribución de los cabalgamientos imbricados entre Artesa de Segre y Port del Comte/Pedraforca. Los números indican millones de años des de que se produjo el emplazamiento actual de cada cabalgamiento (de Vergés, 1995).

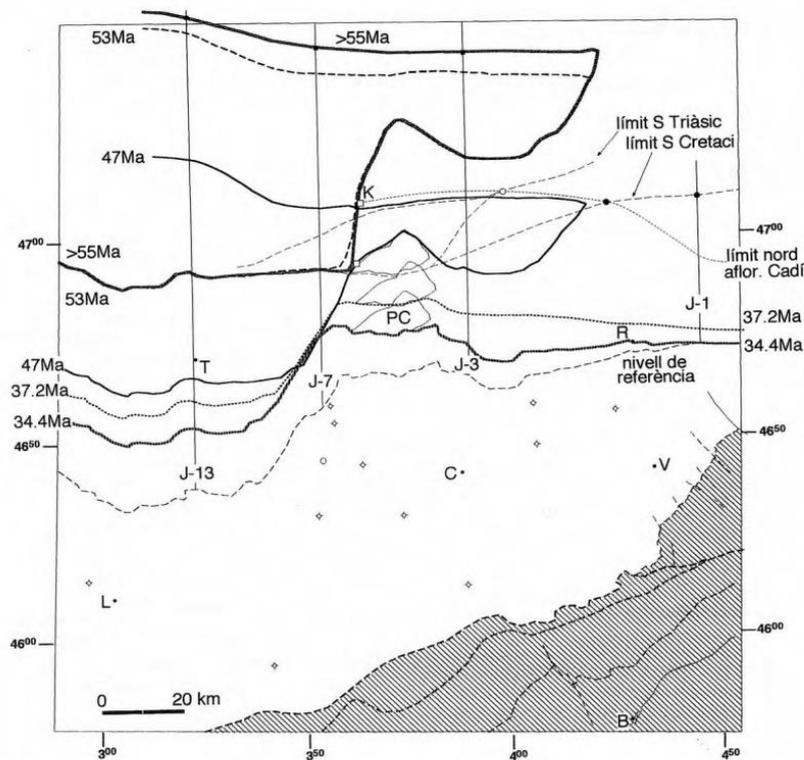


Figura 7. Esquema estructural de la zona visitada donde se han dibujado los diferentes cabalgamientos del sistema imbricado y las edades de fosilización de cada segmento de los mismos. La traza de los cabalgamientos se puede seguir a lo largo de los segmentos del Pedraforca, del Segre i d'Artesa. (de Vergés, 1995).

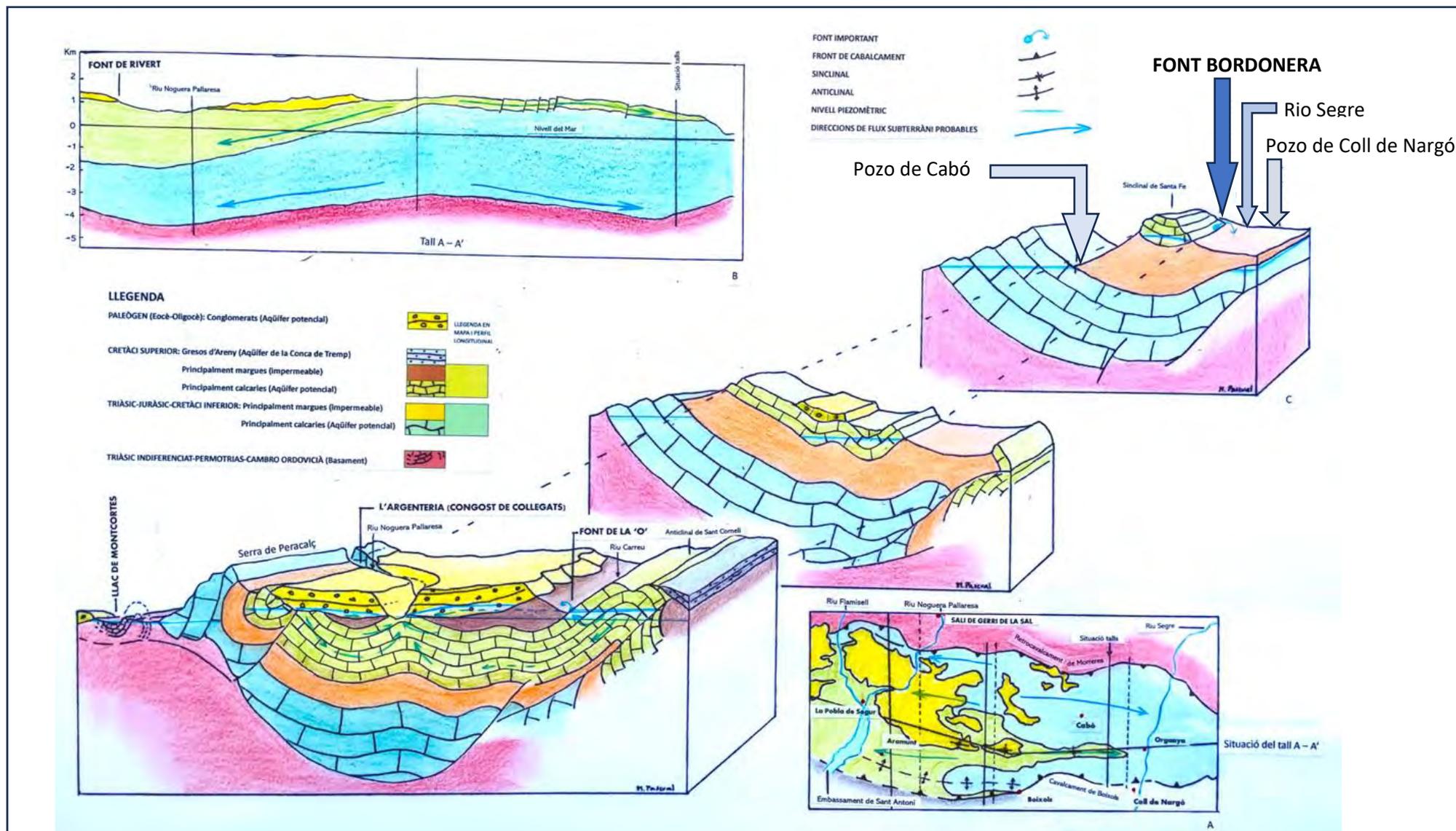


Figura 8. Composición esquemática ilustrativa de la 'hidrogeología' del dominio cabalgante de Bóixols. A/ mapa de situación geológica de la lámina (simplificado de García Senz, 2002), con indicación de la situación de los perfiles tridimensionales y longitudinal, y direcciones del flujo de agua subterránea 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).

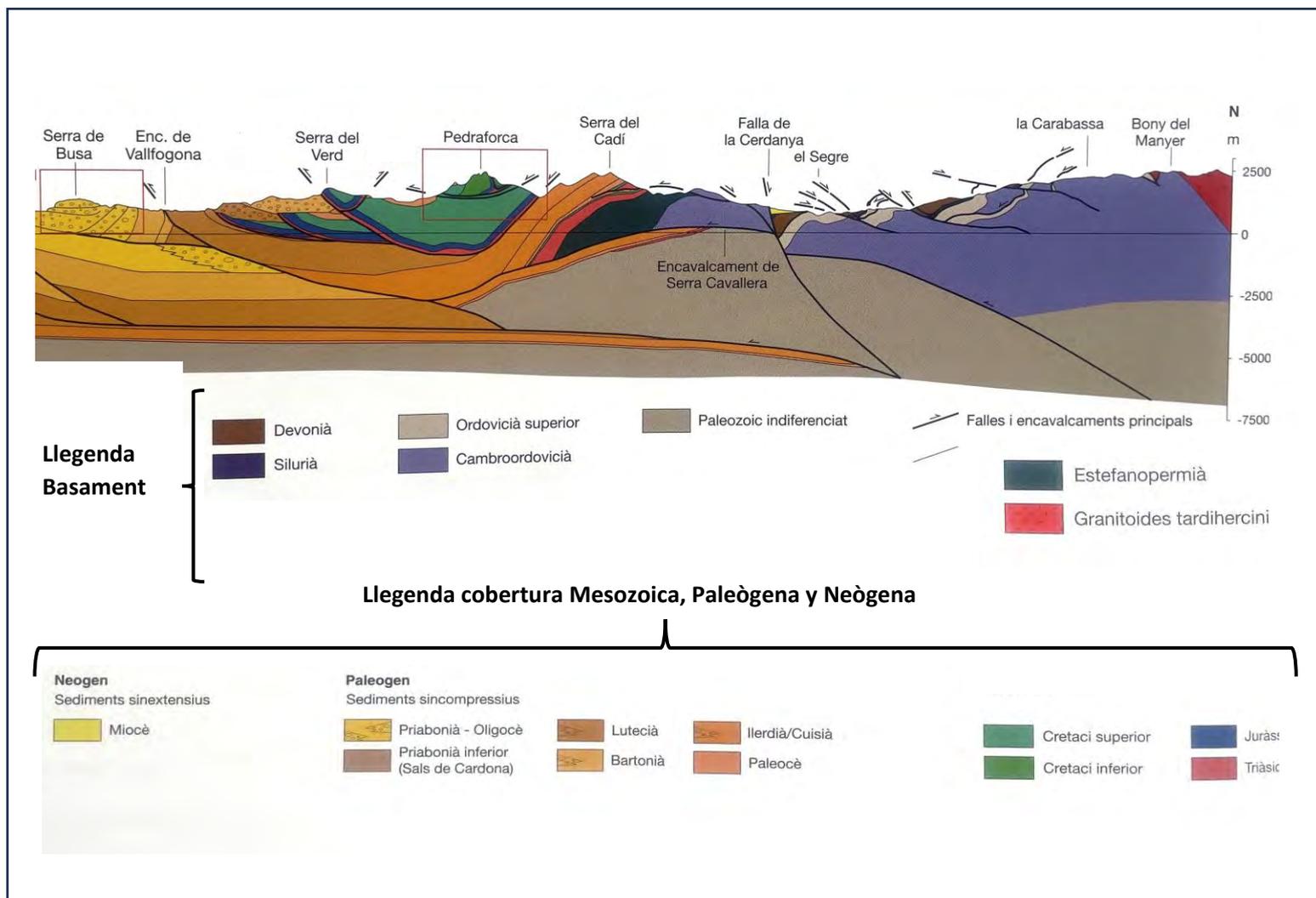


Figura 9. Corte geològic S-N de los Pirineos meridionales pasando por la Cerdanya, Cadí y Pedraforca. Situación en Figura 5 (de IGCC, 2010).

SITUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

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 escaso 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 (incluyendo 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 8.

Ambos acuíferos carbonatados del Cretácico inferior y superior vierten en sentidos contrarios hacia los ríos Segre y Noguera Pallaresa, aproximadamente des de la divisoria de aguas superficiales (ver perfil longitudinal de la figura 8). 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 10) y de Coll de Nargó en la cuenca del Segre (ver emplazamiento en figura 8), y de la Roca Argenteria en la cuenca del Noguera (visitada en el Hidrogeodia de 2023).

Las descargas más importantes conocidas del acuífero calcáreo del Cretácico superior son la Font Bordonera en la cuenca del Segre (que se visitará en la presente edición) y la

Font de la ‘O’ en la de la Noguera Pallaresa (que se visitó en 2023). En los esquemas de la figura 8 se indican los posibles niveles piezométricos y las direcciones probables de los diferentes flujos del dominio de la Unidad cabalgante de Boixols.

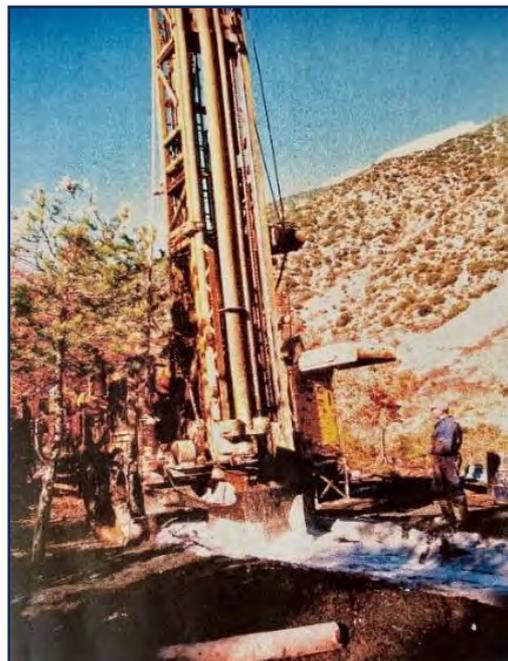


Figura 10. Perforación del sondeo de Cabó situado a unos 250 m al oeste del núcleo del Vilar. Al fondo de la foto calizas del Cretácico inferior (Barremiense) del sinclinal de Cabó – Collegats (flanco norte buzando hacia el sur). El sondeo tiene una profundidad de 293 m. Hasta los 85 m se perforaron 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 m³/h (Pascual, 1993).

En la excursión de esta edición del Hidrogeodia se visitan el sistema de acuíferos carbonatados del dominio de las Sierras marginales en su versión de cabalgamientos imbricados en rampa, el

acuífero del Cretácico superior del extremo oriental del dominio de Boixols y los acuíferos de las formaciones del Port del Comte. También se explicará un breve ejemplo de la utilidad de la hidrogeología para la localización de presuntos responsables de episodios de contaminación de aguas subterráneas.

PARADA 2. EL ACUÍFERO CUATERNARIO DE OLIANA Y LES FONTS DE PERAMOLA

La primera parte de la parada explica un problema de contaminación que afectó al acuífero aluvial libre en 1995 y supuso la interrupción del abastecimiento público de la población de Oliana. La segunda parte plantea el potencial hídrico de un complejo acuífero que se puede catalogar como de “**nuevas reservas hidrológicas**”, en el sentido de que pueden representar recursos importantes poco conocidos, útiles en la planificación hidrológica, para satisfacer demandas futuras o demandas no satisfechas durante episodios de sequía.

EL ACUÍFERO CUATERNARIO DE OLIANA. CONTAMINACIÓN POR TETRACLOROETANO

A las 12 h del día 12 de julio de 2005 se produjo una contaminación del pozo de abastecimiento público de Oliana por tetracloroetano, lo cual obligó a suspender el abastecimiento público de la población.

Fondària nivell aigua (m)	Cota del pou (msnm)	Cota nivell aigua (msnm)	Tetracloroetè (ppb)
23.95	477.00	453.05	≤ 0,5
12.90	473.00	460.10	7.1
11.80	441.50	429.70	0.57
22.20	454.70	432.50	28.8
16.30 (13/07/05)	442.87	426.57 (13/07/05)	23.3 (13/07/05)
13.90 (25/07/05)		428.97 (25/07/05)	22.4 (25/07/05)
16.19	448.00	431.81	17.6 (+2,52 de tricoloratà = 20,10)
10.20	441.31	431.11	13.6
9.40	442.89	433.49	46.02 (anàlisi Ajuntament)
35.10	491.00	455.90	≤ 0,5
23.90	483.00	459.10	≤ 0,5
8.90	458.00	449.10	≤ 0,5
1.40	440.50	439.10	≤ 0,5
11.90	468.00	456.10	≤ 0,5
11.30	440.00	428.70	82.00
			≤ 0,5

Tabla 1: Lista de pozos estudiados mostrando los datos de niveles y de concentraciones de tetracloroetano en el acuífero aluvial de Segre en Oliana (julio de 2005).

El pozo de abastecimiento de Oliana explota unos sedimentos aluviales de la margen izquierda del río Segre, aguas abajo del embalse de Oliana. Está formado por unas decenas de metros de gravas, arenas y limos cuaternarios que descansan sobre margas impermeables (margas de Igualada) (Figuras 11 y 12). A medida que aumenta la distancia al río, hacia los relieves más elevados, los sedimentos aluviales van cambiando lateralmente a sedimentos de pie de monte (barrancos de Reixa y Valldan).

En base a la litología, espesor y caudales de los pozos se estimaron unos parámetros hidráulicos del acuífero de:

Aluvial:

Transmisividad (T): 1500 m²/día

Permeabilidad (k): 75 m/día

Porosidad eficaz (m_e): 0,1

Pie de monte:

Transmisividad (T): 50 m²/día

Permeabilidad (k): 2,5 m/día

Porosidad eficaz (m_e): 0,1

Caudal específico medio en los pozos (q):

54 m³/h/m de descenso.

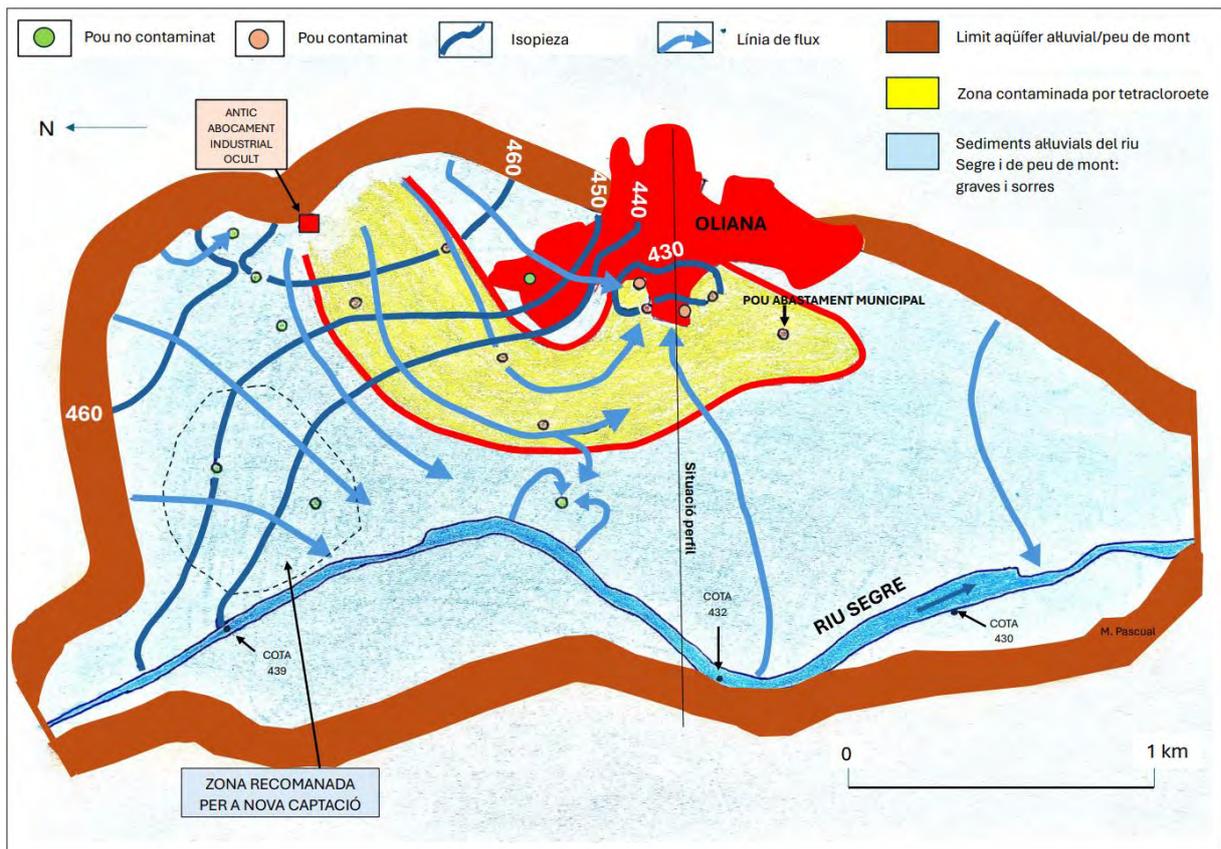


Figura 11. Mapa hidrogeológico del acuífero aluvial del río Segre a su paso por Oliana. Se indican los límites del acuífero, las isopiezas (curvas de nivel de la superficie freática). Los números indican la cota sobre el nivel del mar de la isolínea), direcciones del flujo de agua subterránea (azul claro), zona contaminada por tetracloroete (amarillo) y zona más favorable para la captación de agua subterránea potable para el abastecimiento público alternativo (Pascual, 2005).

Con los datos de niveles de agua en los pozos (tabla 1) se confeccionó el mapa piezométrico de la figura 11, que permitió calcular los gradientes hidráulicos y velocidades de flujo. Mediante la aplicación de la ley de Darcy, resultaron velocidades entre 0,2 m/día en los pies de monte y de entre 0,7 y 12 m/día en el aluvial.

A partir de la piezometría de los datos analíticos y de las estimaciones realizadas se dedujo que el agua subterránea fluye desde la parte alta de los pies de monte, de permeabilidades más bajas, hacia el río Segre a través del aluvial con permeabilidades mayores y gradientes más suaves.

Finalmente, con las velocidades y direcciones del flujo subterráneo se dedujo que un posible contaminante tardaría en llegar al pozo de abastecimiento de Oliana:

Desde zona industrial (W de Oliana): 1-2 meses.
 Desde zona más lejana al pozo aguas arriba del flujo subterráneo (500 m al N de Oliana): 10 años.
 Desde el río Segre: 4 años.

Dado que ni la actividad industrial, ni cualquier otra en 2005, podían justificar la contaminación de los 8 pozos afectados, se procedió a delimitar la zona de pozos contaminados (en amarillo en la figura 11). Aguas arriba de la zona mencionada justo a la distancia en que un contaminante

tardaría 10 años en llegar al pozo de abastecimiento de

carbonatadas, principalmente calizas, dolomías y conglomerados con matriz

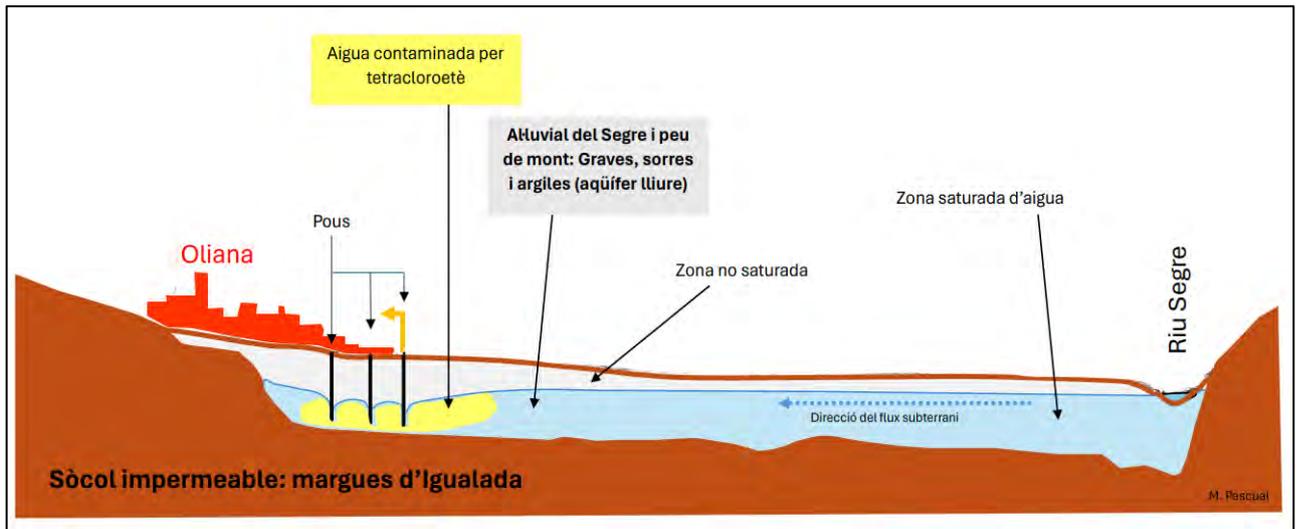


Figura 12. Corte ilustrativo del funcionamiento hidráulico del aluvial del río Segre entre el río y la población de Oliana (situación en figura 11). Se puede observar la zona con nivel freático deprimido por los bombeos y a su vez contaminada por tetracloroetano.

Oliana, en colaboración con los Mossos d'Esquadra, se descubrió un antiguo vertedero industrial con tetracloroetano, oculto y cubierto de tierra, perteneciente a una entidad aún hoy en actividad. Se confirmó que, en aquellas fechas, ese vertedero se había emplazado hacía 10 años.

Paralelamente, para restablecer el suministro de agua potable, se recomendó al Ayuntamiento la perforación de un nuevo pozo en la zona señalada en la figura 11, que no se veía afectada por contaminaciones y la posibilidad que las tuviera, eran bajas.

carbonatadas. Por esta razón, en esta guía, se redacta una breve explicación de esta tipología de acuíferos.

FUNDAMENTOS SOBRE LOS ACUÍFEROS EN ROCAS CARBONATADAS

Estos acuíferos son los formados por calizas, con calcita como mineral principal predominante (CO_3Ca), y/o dolomías, con dolomita como mineral principal ($2(\text{CO}_3^{2-})\text{CaMg}$), aunque en este caso también se pueden incluir las formaciones de conglomerados con matriz carbonatada, como se verá durante la excursión. 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 14 ilustra las formas que caracterizan a los sistemas cársticos,

LES FONTS DE PERAMOLA

Durante esta y siguientes paradas se explicarán acuíferos en rocas

mientras que la figura 13 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.

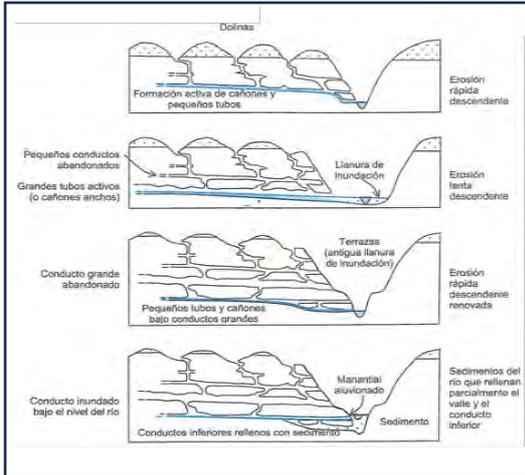


Figura 13. Esquema ilustrativo de la evolución de un sistema cárstico debido a variaciones del nivel de base asociado a un cauce fluvial que lo atraviesa (Custodio y Llamas, 1983; FCiHS, 2009).

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:

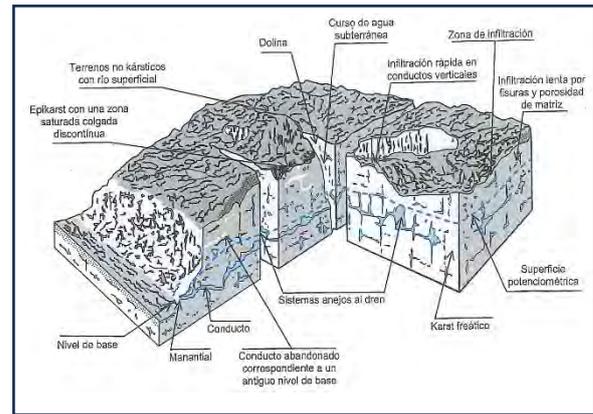
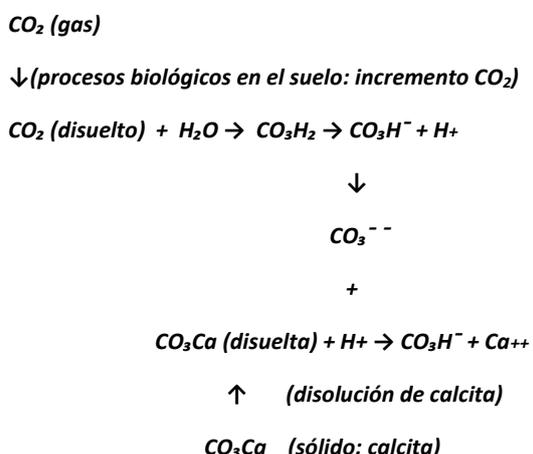


Figura 14. Esquema ilustrativo de las principales formas superficiales e internas generadas en los acuíferos carbonatados (Custodio y Llamas, 1983; FCiHS, 2009)

ACUIFEROS MESOZOICOS Y PALEOGENOS DE LA ZONA DE CABALGAMIENTOS IMBRICADOS DE LAS SIERRAS MARGINALES

La zona de les Fonts de Peramola és una de las zonas de descarga de los acuíferos carbonatados constituidos por las calizas y dolomías de los complejos cabalgamientos imbricados de las Sierras Marginales.

La figura 15 és el mapa geológico de la zona de Oliana y Peramola, que correspondería con la parte SW del encuadramiento de la figura 5. En el mapa se diferencian los materiales mesozoicos afectados por los cabalgamientos de la Sierras Marginales (en azul) y del Montsec (en verde), de los materiales paleógenos (conglomerados en amarillo y marrones, y margas en gris).

Los materiales paleógenos conforman un gran sinclinal (sinclinal de Oliana) que se ha formado por el empuje de los sedimentos mesozoicos cabalgantes.

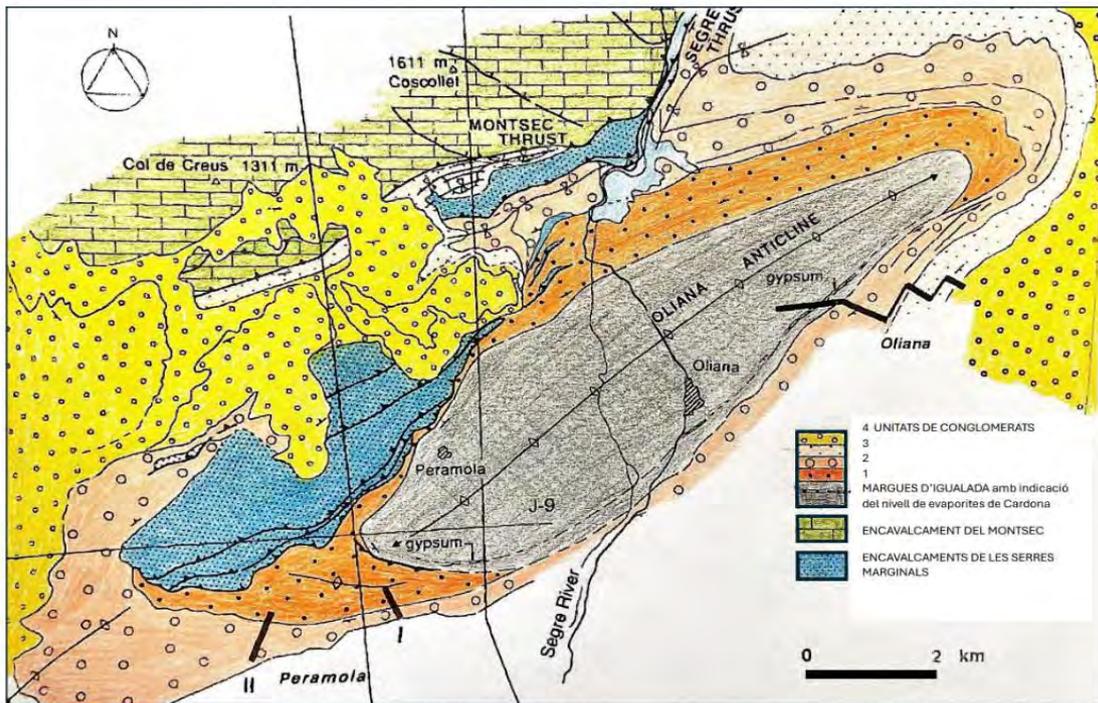


Figura 15. Mapa geològic del Anticlinal de Oliana i de les làmines tectòniques de les Sierras Marginales i del Montsec, en la zona de rampes obliques del Segre. Les relacions geomètriques de corte entre les diferents unitats de conglomerats paleògenos i de els diferents cabalgaments i pliegues ha permès als investigadors la deducció d'una seqüència de cabalgaments. La datació dels conglomerats permet conèixer la duració del moviment de cada cabalgament (de Vergés, 1993 i Burbank et al. 1992).

La figura 16 és un corte únicament indicatiu, sense escala, de direcció NW-SE del mapa de la figura 15. En l'extrem NW se aprecia el cabalgament de les calizes del Cretaci superior del Montsec per encima dels materials que formen els cabalgaments de les Sierras marginals. La base de despegue són els yesos i limolites del Keuper (en vermell) que separen a tot el conjunt carbonatado mesozoic (Juràsic en blau, Cretaci superior en verd), dels sediments paleògenos subjacents (unitats de conglomerats i les margues de Igualada). En l'extrem SE es observa l'anticlinal de Oliana, format per materials paleògenos, i en el seu nucli les denominades margues de Igualada.

En la figura 16 se diferencien els materials que són permeables i poden constituir importants acuífers carbonatats (fisurats i/o carstificats). També s'indiquen els que tenen un interès local i els materials impermeables. El coneixement hidrogeològic d'aquestes formacions és escàs i el seu estudi té importància com a "Noves Reserves Hidrològiques" de cara a la Planificació Hidrològica i al seu ús en èpoques de sequia com la present.

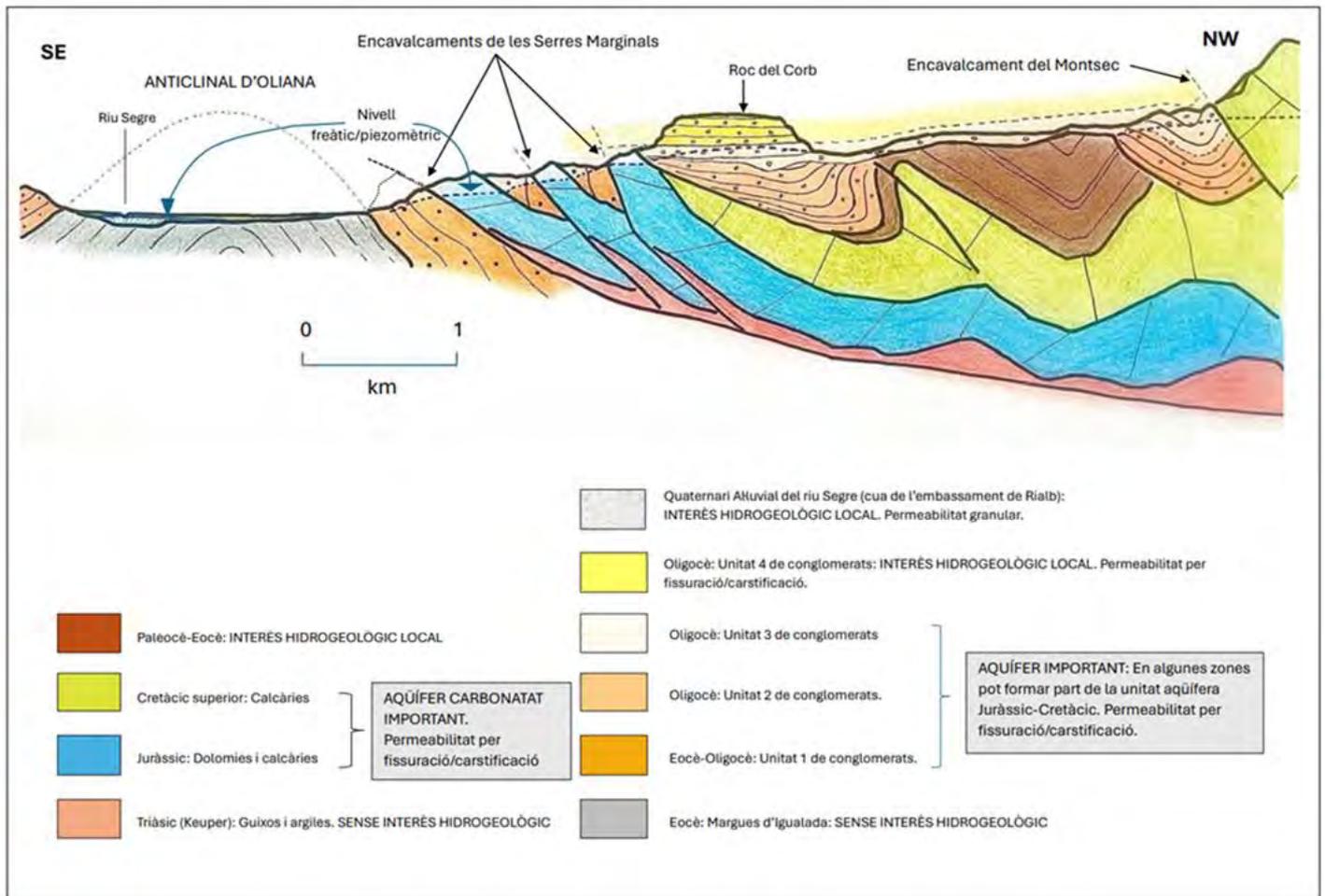


Figura 16. Corte hidrogeològic donde se observan las relaciones geométricas existentes entre el conjunto acuífero de las Sierras Marginales y el anticlinal de Oliana, el núcleo del cual, constituido por las margas de Igualada, es impermeable (basado en Vergés 1993). Las formaciones de importancia hidrogeológica se pueden considerar como **Nuevas Reservas Hidrológicas**.



Figura 17. Conglomerados oligocénicos de la Unidad 4 de la figura 16.

LAS FUENTES/LES FONTS

El municipio de Peramola es rico en fuentes, ya sean permanentes o intermitentes, actuales o perdidas, arregladas o abandonadas. Su número ronda las 150 y vierten sus aguas al río Segre.

Muchas de ellas están asociadas a masías a las cuales abastecían de agua para sus necesidades básicas (de boca, limpieza, riego) y, posteriormente algunas fuentes adquirieron un importante componente social como puntos de reunión para eventos lúdicos.

A mediados de 2010 se inauguró el “Cami de les Fonts” que recorreremos en esta edición del Hidrogeodia. Es un recorrido circular de cerca de dos kilómetros que permite visitar algunas de las fuentes más cercanas a Peramola y adentrarnos en un barranco en el que cuando los niveles de agua subterránea en el complejo de acuíferos carbonatados de las Sierras marginales suben, actúa de descarga con abundante caudal.

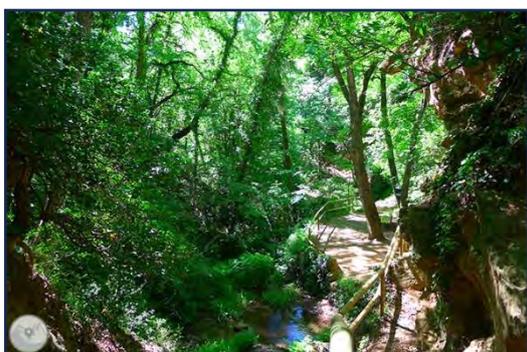


Figura 18. Paraje de “les Fonts de Peramola”



Figura 19. La riqueza de agua en Peramola se observa dentro de su casco urbano, aunque no haya río.



Figura 20. Camí de “les Fonts de Peramola”

PARADA 3. LA FONT BORDONERA

Al Oeste de Organyà, siguiendo la carretera que conduce a Cabó, por el desvío en dirección a Montanisell, después de haber recorrido unos 4 km, se encuentra la Font de la Bordonera, una de las más importantes surgencias del valle del río Segre. La fuente aflora las aguas a pie de la colina de Santa Fe, pero muy por encima del barranco de Fontanet, afluente del río Muntanya, que finalmente vierte al río Segre. El aspecto del paisaje no hace sospechar de su presencia hasta muy cerca de la misma. Brota repentinamente desde el interior del macizo calcáreo que se alza imponentemente encima mismo.

La colina de Santa Fe forma parte de una loma, que, orientada de este a oeste, va desde Boumort hasta Organyà, donde el valle del Segre lo interrumpe. Por el lado norte, la cordillera está limitada paralelamente por el valle de Cabó, primero, y la cordillera de Prada, aún más al norte. Por el sur, a la sierra de Santa Fe la limitan los ríos Carreu, afluente del Noguera Pallaresa y el río de Muntanya, afluente del río Segre, y aún más al sur, la montaña de Nargó.

La figura 8 muestra, esquemáticamente, la geometría de la lámina cabalgante entre el río Noguera Pallaresa y el río Segre. El mapa de la figura 8 ilustra en planta los límites norte y sur de la lámina cabalgante de Bóixols y los afloramientos del Cretácico inferior, Jurásico y Triásico, 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 8 que va del río Segre al Río Noguera Pallaresa 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.

En el sentido N-S, el dominio o lámina cabalgante de Bóixols es la unidad más corta, 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 (figura 3). 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).

La figura 21 ilustra la morfología de este conjunto de cordilleras y valles que rodean a la fuente, así como los rasgos básicos de la geología que condiciona su existencia.

En la montaña de Nargó y en la de Prada, en la base, afloran las calizas más antiguas del cretácico inferior (permeables), seguidas de las margas-margocalizas (poco permeables) y finalmente las calizas permeables cenomanienses (Cretácico superior). La orientación del sinclinal, desde Boumort hasta Organyà, es de este a oeste.

Su recarga se produce por la infiltración directa del agua de lluvia sobre esta "teja sinclinal" que forman las calizas cenomanienses (Cretácico superior). En general, la base impermeable de las mismas son las margas del Aptiense. En el área de la Font Bordonera, debido al contacto discordante del Cretácico superior sobre el inferior, las calizas del

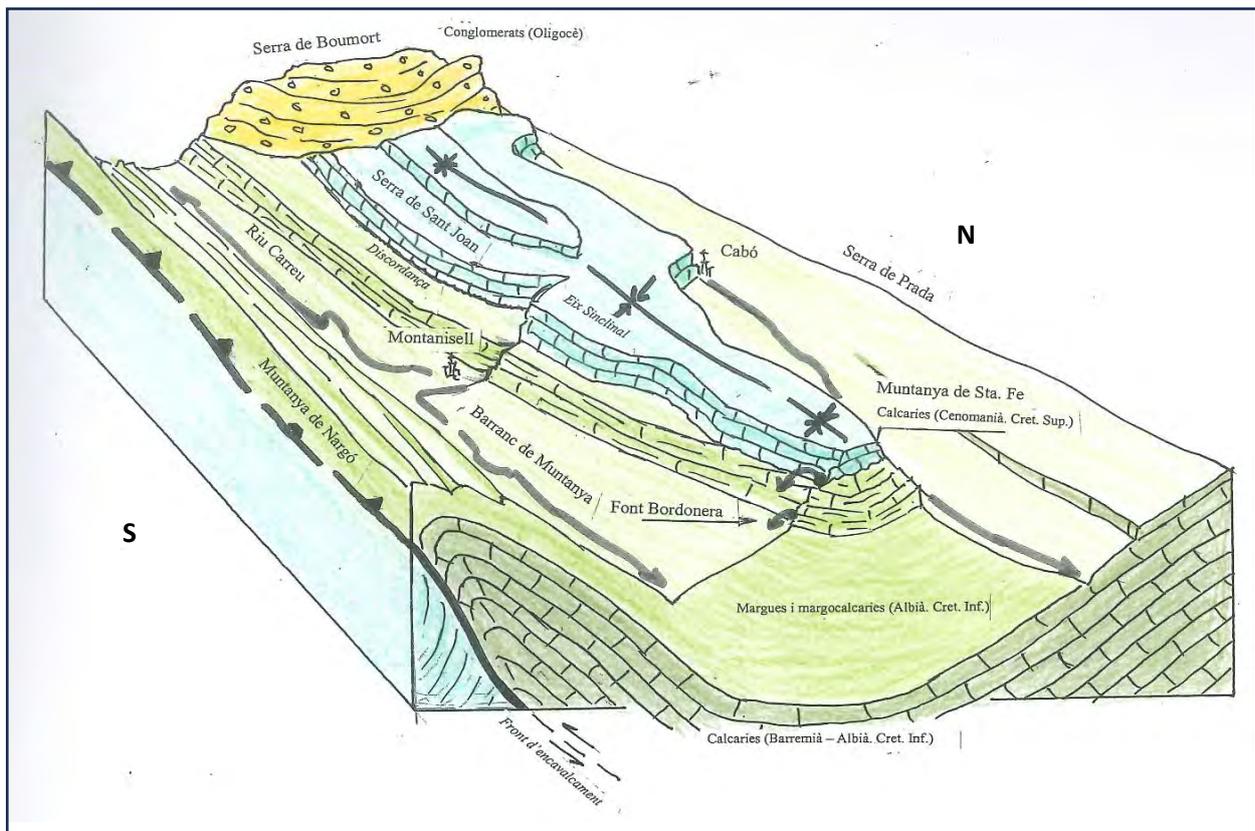


Figura 21. Esquema tridimensional de la estructura geológica que origina la Font Bordonera. El esquema es adimensional únicamente ilustrativo.

Las calizas del Cenomaniense que coronan la serie forman la loma de Santa Fe. Con una disposición en forma de teja inclinada suavemente hacia el este, constituyen el acuífero cárstico que descarga por la Font Bordonera en su extremo más oriental (fotos de las figuras 22, 23 y 24).

Cenomaniense pasan a descansar sobre margocalizas, en lugar de hacerlo sobre margas como lo hace en el resto del sinclinal. La inclinación de las calizas cenomanienses hacia el sur y la base de las margocalizas (algo permeables) son las responsables del alumbramiento de las aguas en el lugar donde lo hacen. La recarga también puede proceder de los

conglomerados de la sierra de Boumort en el extremo oeste.

Balash et al. (1984), y estos mismos autores en años posteriores en trabajos inéditos de espeleología, estudian por primera vez el funcionamiento de la fuente y las características fisicoquímicas y caudales de sus aguas. Los caudales que surgen de la Font Bordonera son muy variables. En periodos secos el caudal puede ser inferior al centenar de l/s, siendo los caudales más habituales próximos a $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ($11 \text{ hm}^3/\text{año}$). Sin embargo, ante lluvias importantes e intensas, la respuesta del sistema es muy rápida. Si las lluvias son suficientemente importantes, el caudal puede pasar, en cuestión de horas, de algunos centenares de l/s a decenas de m^3/s (un orden de magnitud superior). Las fotos de la figura 22 muestran momentos contrastados de caudal.

Del mismo modo, el agotamiento del caudal es exponencial, rápido en las primeras horas y/o días, y en los últimos días (más allá de los 20 días) ya mucho más lento, hasta alcanzar el caudal de base. Es muy probable que vías importantes de circulación estén siempre saturadas (aproximadamente siguiendo grandes oquedades orientadas de oeste a este según la dirección del eje del anticlinal) debajo del nivel de la fuente y que el volumen de agua almacenada sea lo suficientemente importante para garantizar los caudales de base.

Los márgenes del barranco de Fontanet, situado inmediatamente aguas abajo de

la surgencia, están rellenos de importantes espesores de tobas



Figura 22. Época lluviosa. La surgencia inundando las escaleras de acceso.

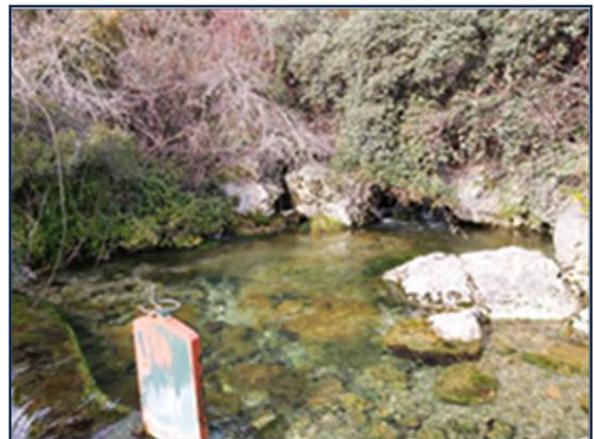


Figura 23. Detalle de la surgencia.

calcáreas. Las aguas alumbradas han disuelto masas de calizas del Cenomaniense, construyendo el sistema cárstico subterráneo y precipitándolas en el barranco de Fontanet, a la salida. No obstante, el barranco se ha encajado en las tobas dejando aflorar la base margocaliza del Aptiense, lo que puede explicarse por los cambios del nivel de base de los ríos, impuesto, a su vez, por

el nivel de los océanos en épocas glaciares durante el Cuaternario.

Seguramente, en las últimas glaciaciones con el nivel del mar más bajo, las redes de drenaje subterráneas cambiaron el nivel de base de la misma

manera que los cursos fluviales. Sin embargo, en épocas con menos presencia de CO₂ en la atmósfera, la precipitación de carbonatos en las surgencias sería menor.



Figura 24. Salto de la surgencia hacia el barranco de Fontanet. El substrato del salto está formado por espectaculares y gruesas tobas calcáreas.

PARADA 4. FONT DE CAL SALA I SANT QUINTÍ. POU ABASTAMENT CAMBRILS.

El macizo del Port del Comte con una extensión de 130 km², se encuentra situado en los Pirineos centrales y se extiende en el margen noroccidental de la comarca de El Solsonès y en una pequeña área de la comarca de Alt Urgell. Presenta un relieve es muy abrupto y queda configurado por la Serra de Querol, la Serra de Campelles – Serra Port del Comte y la Muntanya d'Alinyà, oscilando su topografía desde los 2.387 m.a.s.l. en El Pedró dels Quatre Batlles a los 900 m.a.s.l. en la base del macizo. Constituye la divisoria de aguas entre la cuenca del río Segre y el río Cardener, siendo drenado, el sector norte, hacia el río Segre, a través del río d'Alinyà - río Perles; mientras que el sector sur drena hacia el río Segre a través de los ríos Fred y Canalda que en Aigües Junes dan lugar a la Ribera Salada. El sector este del macizo drena directamente al río Cardener de la cuenca del río Llobregat. La divisoria de aguas entre las Cuencas Internas de Catalunya y la Cuenca del Ebro se sitúa en el macizo de El Port de Comte.



Figura 25. Situación de la Font de Cal Sala y la Font de Sant Quintí y el salt de El Racó.

Los materiales mayoritarios de El Port del Comte son carbonatados, donde se desarrolla uno de los principales acuíferos cársticos del Pirineo de Lleida que incide en el drenaje general de la zona. Las precipitaciones, en forma de lluvia y nieve, en las cotas superiores del macizo, modelan su geomorfología; desarrollándose numerosas dolinas (denominadas bòfies en la zona) y áreas de lapiaz, infiltrándose en el sistema cárstico, sistema drenado por numerosas fuentes que alimentan los ríos mencionados anteriormente.

Geológicamente, el macizo de El Port del Comte se encuentra delimitado entre el manto del Cadí, al E, las láminas tectónicas de las Sierras Marginales, los mantos del Montsec y Bóixols, al NE y SW con recubrimientos en algunos tramos por los conglomerados terciarios, y por los conglomerados terciarios de la cuenca del Ebro, al S.

El macizo del Port del Comte constituye una lámina desplazada hacia el sur a nivel de los materiales plásticos del Keuper y presenta una serie estratigráfica de espesor superior a los 1.000 metros que comprende materiales del Cretácico superior, del Paleoceno superior y del Eoceno inferior. Los materiales del Cretácico superior corresponden, mayoritariamente, a la facies Garumniense y se encuentran constituidos por calizas micríticas, lutitas y arcillas rojas y un nivel de calizas arenosas. Los materiales del Paleoceno inferior se encuentran constituidos por calizas con alveolinas y el Eoceno inferior por calizas micríticas separados estos dos últimos conjuntos por un nivel de margas grises. El conjunto de

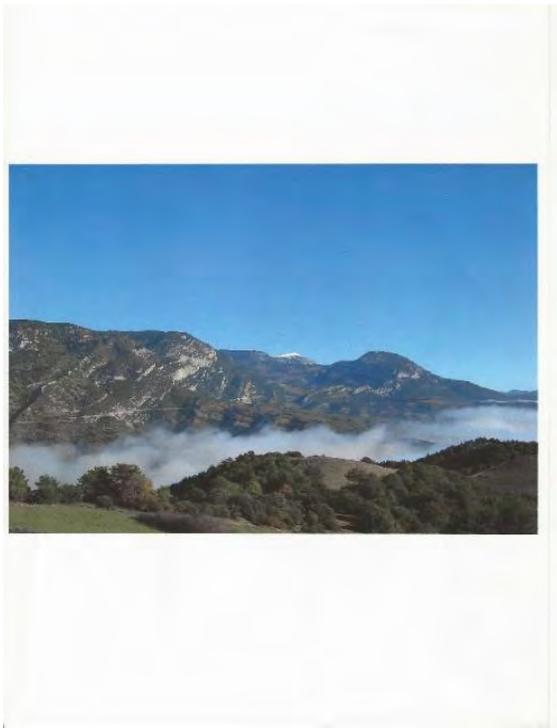


Figura 26. Panorámica del macizo Port del Comte. Arriba vista de la unidad Serra Querol, Port del Comte y Pla de la Bòfia. En el centro la unidad Serra Campelles – Serra Port del Comte y Muntanya Alinyà. Abajo sinclinal que facilita el drenaje hacia la Font de Cal Sala y la Font de Sant Quintí situadas en la base del Tossal de Cambrils.

materiales del Paleoceno superior – Eoceno inferior pertenecen al *Ilerdiense*. Coronando la serie afloran, en pequeños afloramientos, calizas micríticas del Eoceno medio (*Luteciense*).

La estructura interna del macizo presenta dos unidades bien diferenciadas que condicionan el drenaje de las aguas subterráneas de todo el conjunto. La unidad sur forma los relieves de la Serra de Querol, del Port del Comte y del Pla de la Bòfia la conjunción de dos anticlinales separados por un sinclinal todos ellos de dirección NE-SW. La unidad norte forma los relieves de la Serra de Campelles – Serra del Port del Comte y la Muntanya d’Alinyà la conjunción de dos anticlinales separados por un anticlinal de dirección también NE – SW y de mayor longitud que las estructuras de la unidad sur. La máxima altitud de esta unidad es el Tossal de Cambrils con 1.803 m.a.s.l.

Las dos unidades se encuentran separadas por el río de Odén – La Covil, en cuyo trazado se desarrolla un anticlinal, llegando a aflorar los materiales de la facies Keuper en el sector de El Montnou, debido al buzamiento del eje del anticlinal hacia el NE.

Los materiales carbonatados del Paleoceno – Eoceno (calizas con alveolinas y calizas micríticas del *Ilerdiense*) que se encuentran intensamente karstificados forman el principal acuífero del macizo de El Port del Comte. Las dos unidades diferenciadas en el macizo presentan acuíferos kársticos con funcionamiento individualizado. La recarga se produce



Figura 27. Font de Cal Sala i el salt del Racó. Foto Alfred Montserrat.

en las cotas superiores de ambas unidades por infiltración del agua procedente de la lluvia y de la fusión de la nieve. El desarrollo de morfologías exocársticas es abundante en el Pla de la Bòfia, pudiéndose observar diversas dolinas (bòfias denominadas en la zona) y cavidades con diámetros

comprendidos entre los 5 y los 200 m. y de desarrollo vertical. La escorrentía superficial es prácticamente inexistente dado que las dolinas y cuevas facilitan el drenaje rápidamente de toda el agua precipitada sobre dicha superficie hacia el sistema cárstico desarrollado en vertical hasta alcanzar el nivel de drenaje.

El drenaje del sistema cárstico se produce de forma individualizada en cada una de las unidades que se divide el macizo y se halla condicionado por su estructura, caracterizada, como ya hemos mencionado, por diversos anticlinales y sinclinales que afectan a todo el conjunto de materiales del macizo.

Así, la unidad que conforman la Serra de Querol y el Pla de la Bòfia, unidad que se extiende en el sector SE del macizo, drena, mayoritariamente, hacia el río Cardener a través de Les Fonts del Cardener con un caudal de medio de 350 l/s y una oscilación de caudal comprendida entre los 60 l/s y los 900 l/s. El caudal máximo se observó en el año 1992 con 2.000 l/s, entrando en funcionamiento un "trop plein", situado a unos 50 metros por encima de Les Fonts del Cardener. La inclinación del eje de los sinclinales y anticlinales hacia el NE y la presencia de una fractura en el margen NE de la unidad de El Port de Compte que sitúa a los materiales impermeables del Keuper (arcillas) junto a las calizas del Paleoceno-Eoceno facilita el drenaje en dicha dirección NE y su emergencia en Les Fonts del Llobregat. Los recursos renovables de este sector del acuífero son de unos 8,8 hm³/año. Las aguas son de naturaleza bicarbonatada cálcica y la conductividad



Figura 28. Font de Sant Quintí. Explotación de la gruta, foto Alfred Montserrat

oscila entre los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La presencia de pequeños niveles de margas intercalados en el conjunto de calizas que constituyen el acuífero del Pla de la Bòfica ocasiona la aparición de pequeños manantiales locales en diversas cotas del macizo. Así, encontramos las fuentes del Duc, Estivella y Arderich a la cota 2.200 m.a.s.l.

El cambio de inclinación del eje de las estructuras de plegamiento, en una pequeña extensión de la unidad, modifica el drenaje del acuífero hacia el SW a través de pequeños manantiales (Font de Sant Joan, Font de les Esplugues, Font de la Perdiu, Font de Coll de Jou, Font de Pallerols, Font de les Costes...) que alimentan diversos cursos

de la cuenca alta del río Canalda afluente de la Ribera Salada.

La segunda unidad del macizo de El Port del Comte que se extiende en el sector NW abarca mayor superficie y sus estructuras de plegamiento, también de dirección NE – SW, dos sinclinales enlazados mediante un anticlinal son de mayor longitud. La Serra de Campelles - Serra de El Port del Comte y la Muntanya Alinyà configuran los relieves carbonatados de la unidad, infiltrándose las aguas de lluvia y las de fusión de la nieve a través de las estructuras exocársticas moldeadas en la superficie del área.

La descarga de la unidad se realiza, mayoritariamente, a través de la Font de Cal Sala (cota 1065 m.a.s.l.) con un caudal medio de unos 150 l/s y la Font de Sant Quintí (cota 950 m.a.s.l.) con un caudal medio de unos 400 l/seg. La situación geológica de los dos manantiales en el eje del sinclinal de la unidad buzando hacia el SW, como podemos apreciar en la foto de la figura 26, favorece el drenaje mayoritario del acuífero hacia dichos manantiales. Las aguas de la Font de Cal Sala son drenadas por el W de la masía de Cal Sala donde forman una magnífica cascada denominada El Racó para alcanzar la base de la Riera de Cal Sala, encontrándose toda la pared de la cascada revestida por la precipitación de tobas calcáreas debido a los bicarbonatos y al calcio disueltos en sus aguas. Aguas abajo, la Riera de Cal Sala se junta con la Riera de Sant Quintí originando el nacimiento del río Fred que conducirá sus aguas hacia Aigües Juntes donde al juntarse con las aguas del río Canalda dará lugar a la Riera Salada.



Figura 29. Ermita de Sant Quintí construïda íntegramente con tobas calcáreas formadas por la precipitación del carbonato cálcico disuelto en las aguas de la Font de Sant Quintí.

La Font d’Aiguaneix drena una estrecha franja del sector NE del acuífero de esta unidad hacia el río Alinyà – Perles que vierten sus aguas al río Segre.

Finalmente, una reducida parte del acuífero situado en el extremo NE de la unidad es drenado por la Font de l’Arp que vierte sus aguas hacia el río Cardener.

Las aguas de los manantiales que descargan el drenaje regional son, mayoritariamente, bicarbonatadas cálcicas con conductividades comprendidas entre los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i los 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 30. Figura del elefante esculpida en los conglomerados terciarios.

Estudios realizados por GENCAT (1990), Gil, R. y Núñez, I. (2003), Núñez, I. et al. (2004), Balasch et al. (2004) i CHE – OPH (varios años), nos indican que las aguas de Cal Sala y de la Font de Sant Quintí son de la facies bicarbonatada cálcica, presentando mayor conductividad las aguas de Cal Sala. Así mismo, se ha podido observar que la respuesta a las precipitaciones es mucho más rápida en la Font de Cal Sala que en Sant Quintí.

Las variaciones descritas en cuanto a composición de sus aguas y comportamiento hidráulico entre ambas fuentes nos conducen a la hipótesis que las aguas drenadas por ambos manantiales circulan por sistemas cársticos individualizados desarrollados en materiales de diferente litología.

PARADA 5. SALÍ Y TARTERA DE CAMBRILS. ANTICLINAL DE ALINYÀ (O DE ROCA PENA).

ANTICLINAL DE ALINYÀ (O DE ROCA PENA)

Geológicamente, forma parte de los llamados Pirineos Meridionales (aunque muy a menudo todavía se conocen con el nombre de Prepirineo). Se trata de un conjunto de mantos de corrimiento que en Cataluña han ido desplazándose hacia el Sur. Otros se han deslizado sobre unos materiales plásticos constituidos por niveles de yesos (con sales) y de arcillas. Estos niveles plásticos pertenecen al Triásico Superior (el comúnmente conocido como Keuper), unos materiales muy dúctiles constituidos por yesos, sales y arcillas, sedimentados unos 185 – 199 millones de años, aproximadamente.

En esta zona confluye uno de los mantos más representativos, el Manto de Bòixols. Aunque más a Sur, cerca de Cambrils, se ubica también el Manto del Cadí; mientras que hacia el Norte se encuentra solapeado por el Manto del Montsec de Tost. El Manto de Bòixols, a poniente de los sectores alturgelinos, forma la importante Sierra de Boumort, la Sierra de Carreu y el Forat d'Abella, entre otros muchos lugares.

En estos lugares, existe un espectacular anticlinal (una flexión de los estratos hacia arriba por su parte central, sin darle la vuelta, manteniendo su orden). Se trata de lo más espectacular probablemente de Cataluña y de todo Pirineo. Aunque es cierto que en el Geoparque de la Cataluña Central existe un anticlinal verdaderamente excepcional, que es el Anticlinal de Súrria.

En cuanto al anticlinal de Alinya, visible desde lugares bastante alejados de los Pirineos Occidentales, se trata de una gran estructura, donde afloran materiales geológicos (eminentemente carbonatados), que van desde el Cretácico Superior al Eoceno (al llerdiano, concretamente), abarcando una cronología cercana a los 100 – 55 millones de años.

Este accidente tectónico, es un elemento muy importante del patrimonio geológico, formando parte del Parque Geológico y Minero “Contraforts del Pirineu”, del que es un importante LIG (Lugar de Interés Geológico).

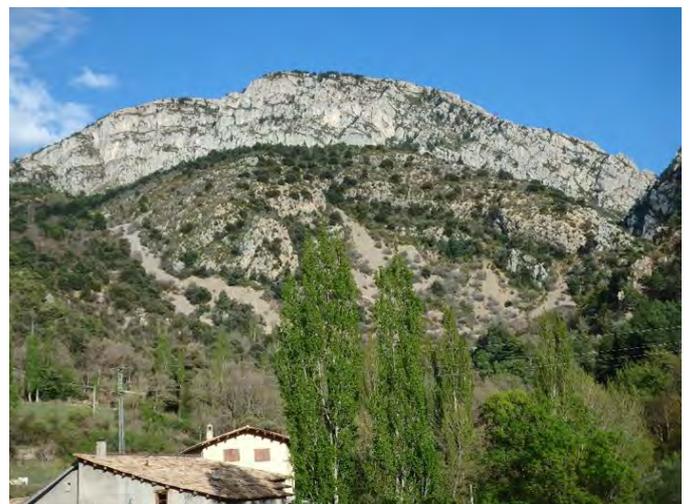


Figura 31. Anticlinal de Alinya (o de Roca – Pena), desde el pueblo de Alinya. Manto de Bòixols “Parc Geològic i Miner Contraforts del Pirineu”

EL SALÍ DE CAMBRILS

Este lugar se encuentra situado muy cercano al pueblo de Cambrils (entidad de población y capital del municipio de Odèn, en el Solsonès), casi junto a su polideportivo y por debajo del conocido derrumbe o Tartera de Cambrils. Este paraje se encuentra plenamente situado en los Pirineos de la comarca del Solsonès.

Geológicamente, este lugar se encuentra plenamente situado dentro de los llamados Pirineos Meridionales (Aunque muy a menudo todavía se conocen con el nombre de Prepirineo, desde hace tiempo, geológicamente forman parte plenamente de los Pirineos). Esta cordillera como es sabido se extiende desde el Cabo de Creus hasta Asturias, incluyendo a la Cordillera Cantábrica, que también forman parte de los Pirineos. Por estos lugares del Solsonès, la estructura pirenaica está constituida por un conjunto de solapes, que se han ido desplazando de Norte hacia el Sur. Estos mantos, han ido resbalando sobre unos materiales plásticos constituidos por conjuntos de yesos y arcillas, que pertenecen al Triásico Superior (concretamente al



Figura 32. Las eras del Salí Vell de Cambrils. Fotografía de 2008. Actualmente están restauradas.

llamado Keuper). Se trata de unos materiales sedimentados hace aproximadamente 225 – 205 millones de años. Sin embargo, estos solapes producidos durante la fase álgida del Pliegue alpino se produjeron hace unos 40 – 50 millones de años.

Aquí, en este lugar del Solsonès, en relación con los materiales salinos recién mencionados, existen unas importantes concentraciones de sal gema (o de sal común), distribuida entre los niveles de yesos. Así, existe una cierta riqueza en Cloruro Sódico, que es la composición de la sal común. Este mineral, llamado HALITA, es bastante soluble, de forma que al circular las aguas superficiales por entre los niveles de yesos y arcillas, disuelven la sal gema y se la llevan. Poco después, al formarse alguna fuente, el agua que sale es salada.

Posteriormente, el ser humano ha distribuido el agua salada sobre unas superficies llamadas eras, se ha evaporado el agua, precipitando la sal común. Pues bien, en Cambrils existen unas importantes salinas, formadas por un conjunto de eras.



Figura 33. Las Eras de Canaletes, después de su restauración.

TARTERA DE CAMBRILS

A la altura del kilómetro 20 de la carretera L-401, justo pasado Cambrils, llama la atención un derrumbe de rocas de cierta importancia. Es el lugar conocido como Tartera de Cambrils. La presencia de este fenómeno representa un cierto riesgo natural que puede afectar tanto a bienes materiales como humanos, ya sea por el desprendimiento de nuevas masas de roca como por removilización de las actuales. Éste es un fenómeno poco estudiado que ya ha dado más de una advertencia, ya sea por caídas de rocas con consecuencias económicas o como factor generador grietas en infraestructuras levantadas en su parte baja.

Desde el punto de vista geológico la zona de las Tarteres forma parte del margen sur del manto del Port del Comte, en el límite entre el antepaís plegado y los primeros relieves del Pirineo. Este manto, formado básicamente por rocas mesozoicas y eocenas, solapa sobre materiales más modernos, como los conglomerados oligocénicos que ya forman parte de la cuenca del Ebro. La presencia de materiales evaporíticos triásicos (Keuper) en el punto de despegue condiciona la estabilidad de los niveles carbonáticos del Cretáceo Superior. Otros factores condicionantes son: fracturación (diaclasado), buzamiento de los estratos, gelifracción. Como factores desencadenantes cabe destacar la presencia de agua, lo que ha dado lugar a un cierto grado de karstificación. Asimismo, el agua se infiltra rápidamente hasta encontrar las arcillas del Keuper favoreciendo su plasticidad y condicionando el comportamiento de los materiales suprayacentes. En la evolución de este

fenómeno, dilatado en el tiempo, no hay que desechar la influencia de la sismicidad que ha afectado la zona en épocas puntuales. Sin embargo, hasta el momento, no se han hallado datos suficientes, ni escritos ni orales, al respecto.

La disposición de bloques de roca caídos de las partes superiores de la Tartera de Cambrils ha dado lugar a una serie de huecos que son aprovechados para guardar “trumfos” (patatas) por sus especiales condiciones de humedad y temperatura. Por otra parte, en los espacios existentes entre estos bloques, se genera una circulación de aire que según la época del año es aprovechada por algún establecimiento de la zona para climatizar el local.



Figura 34. Un aspecto de la parte alta de la Tartera, con las casas de Cambrils al pie. Se puede ver el edificio del Salí y las eras.



Figura 35. Aspecto de los bloques caídos cerca la carretera.

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 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agraria i Veterinaria también de la Universitat de Lleida, por su cobertura organizativa.

REFERENCIAS

- Balash, C., Rajadell, A., Bellmunt, A., Balash, 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.
- Balash, C. et al. (2004). Estudis de camp de Les Fonts de Cal Sala i Sant Quintí. Inèdit. Universitat de Lleida.
- Burbank, D.W. y Vergés, J. (1994). Reconstruction of topography and related depositional systems during active thrusting. *Journal of Geophysical Research*, v.99, p. 20281-20297.
- Cardona-Oliván, F. (1989). Gran cavitats de Catalunya. Espeleoclub de Gràcia. Federació Catalana d'Espeleologia. V. 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.
- Casas, M., Guinau, M., Travé, A., Saura, E., Garcia, D. (2022). Dinámica, factores condicionantes y posibles causas de la formación de la Tartera de Cambrils (Solsonès, Lleida). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35 (1): 3-14.
- García Senz, J. (2002). Cuencas extensivas del Cretácico inferior en los Pirineos centrales, formación y subsecuente inversión. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. 310 pp.
- Gencat (1990). Proyecto de prospección e investigación hidrogeológica (Solsonès, Lleida). 117 páginas. Informe interno. Inédito.
- Gil, R.; Núñez, I., (2003). Estudio hidrogeológico de la sierra de Odèn – Port del Comte (Solsonès– Lleida). Trabajo de curso CIHS. Informe interno. Inédito.
- Herms, I., Soler, A., Jorge, J., Daniele, L. y Vadillo, I. (2014). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas de recarga y descarga del acuífero kárstico de El Port del Comte (Solsonès i Alt Urgell, Lleida). *II Congreso Ibérico de Aguas Subterráneas*.

ICC- IGC (2006). Mapa Geològic Comarcal de Catalunya. Solsonès – Alt Urgell. Escala 1:50.000.

IGCC (2010). Atlas Geològic de Catalunya. Institut Geològic i Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 463 pp.

Montserrat, A. (2018). Les tarteres de Cambrils, a l'Alt Solsonès. Una aproximació a la seva gènesi i evolució. Muntanya: 54- 61.

Núñez, I; Gil, R.; García M.A; Vázquez, E; (2004). Estudio hidrogeológico de la cabecera de la Ribera Salada, (Lleida). *VIII Simposio de Hidrogeología, (AIH - IGME)*. Páginas 107-120.

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. (2005). Informe sobre la contaminació per tetracloroetè del pou d'abastament a la localitat d'Oliana detectada el mes de juliol de 2005 (Alt Urgell). Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. document intern.

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.

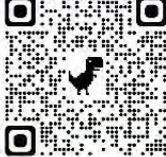
Vergés, J. (1993). Estudi geològic del vessant sud del Pirineu oriental i central. Evolució cinemàtica en 3D. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, 203 pp.



DÍA MUNDIAL DEL AGUA

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
 ¿Hay agua subterránea cerca de ti?
 Concurso del Agua Subterránea, 2024

Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE) ¡PARTICIPA!




III Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024





Universitat de Lleida
 Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitària



Universitat de Lleida
 Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl



Universitat de Lleida
 Biblioteca i Documentació
 Biblioteca del CAFIV

**PARC GEOLÒGIC I MINER
 CONTRAFORTS DEL PIRINEU**



Madrid

Ciempozuelos subterráneo: agua, sales y humedales

23 de marzo de 2024



Minas de agua



Salinas Espartinas



La Compuertilla-El Sotillo

Empresa colaboradora :  **HOLCIM**

EXCURSIÓN GRATUITA

Plazas limitadas

Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo,
agua y comida.

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA

e-mail de contacto: a.delalosa@igme.es

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): 16.00

Información detallada y folleto de la excursión: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>

Ciempozuelos subterráneo: agua, sales y humedales

23 de marzo de 2024



Entidades colaboradoras:



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, biológico y humano. Se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua (22 de marzo)**.

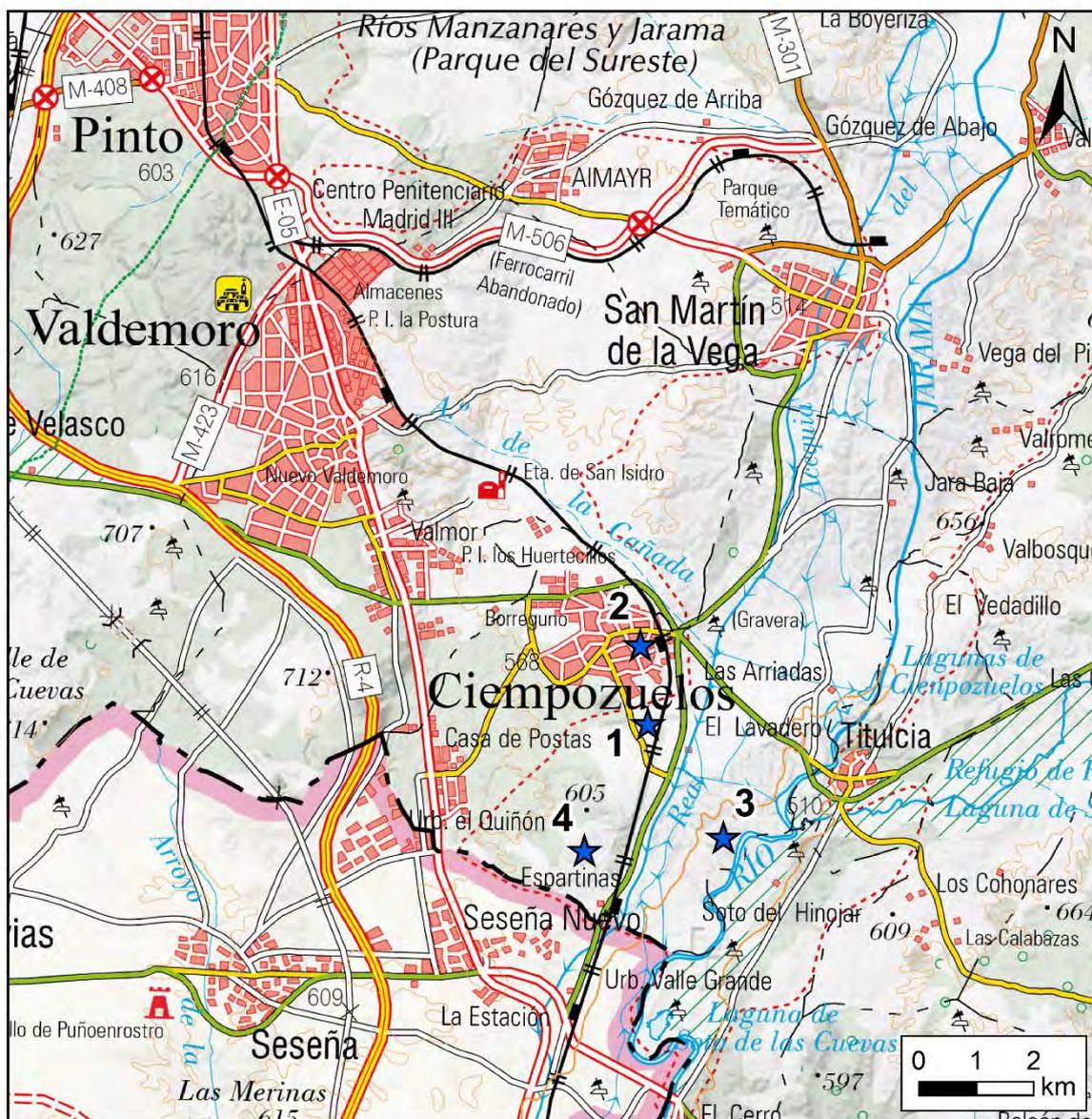
Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y otras instituciones, universidades y empresas privadas. El Hidrogeodía consta de **actividades de divulgación, abiertas al público general (Fig. 1)**.

El **objetivo** de esta **séptima edición** es dar a conocer la geología e hidrogeología del entorno de **Ciempozuelos**, descubrir su patrimonio hidráulico y visitar un proyecto de restauración medioambiental en una antigua gravera del río Jarama. Realizaremos las siguientes paradas temáticas (Fig. 2):

- 1) **Mirador del Parque de Valdehinojos: geología e hidrogeología del entorno.**
- 2) **Visita a una bodega y mina de agua en el casco histórico de Ciempozuelos.**
- 3) **Recorrido por el humedal de la gravera de Tranzones (río Jarama).**
- 4) **Salinas de Espartinas (visita virtual).**



Figura 1. Hidrogeodía 2023 - Madrid (Fuente de los Geólogos, Puerto de Navacerrada).



- 1) Mirador Parque de Valdehinojos (entorno geológico e hidrogeológico). 2) Bodega y mina de agua.
 3) Humedales de la gravera de Tranzones (río Jarama). 4) Salinas Espartinas (visita virtual).

Figura 2. Mapa de localización con las paradas del Hidrogeodía 2024 - Madrid.

ENTORNO GEOLÓGICO

Aspectos geológicos de la Comunidad de Madrid

Desde el punto de vista geológico, la Comunidad de Madrid se encuentra ubicada en la denominada Cuenca de Madrid, cuenca continental de origen endorreico y de forma triangular que se sitúa en la zona central de la península, estando delimitada por el Sistema Central (Sierras de Guadarrama y Somosierra), la Cordillera Ibérica, la Sierra de Altomira y los Montes de Toledo (Fig. 3).

Dicha cuenca forma parte, casi en su totalidad, de la cuenca hidrográfica del Tago, recogiendo las aguas de los ríos Jarama, Tajuña, Henares, Manzanares y Guadarrama entre otros, así como de un sinfín de afluentes tributarios.

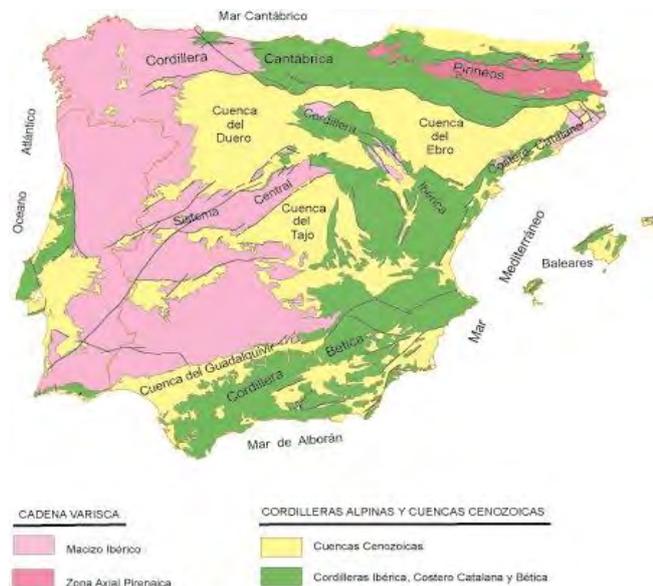


Figura 3. Esquema de las grandes unidades geológicas de la Península Ibérica (Vera, 2004).

La estructura de la cuenca está caracterizada por la existencia de un basamento varisco formado por gneises y granitoides del Paleozoico. Sobre ellos se apoya una coberte-

ra de materiales calcáreos y detríticos del Mesozoico (entre 100 y 66 millones de años de edad) que afloran en los bordes de la cuenca y se adelgazan gradualmente hacia el oeste, tanto en superficie como en el subsuelo, hasta desaparecer.

El relleno de la cuenca tuvo lugar durante el Cenozoico (entre 65 y 5 millones de años) y está formado por un conjunto de sedimentos evaporíticos y detríticos paleógenos, una potente serie neógena, en parte detrítica y en parte evaporítica y carbonatada, y finalmente por depósitos detríticos cuaternarios (2,6 millones de años hasta la actualidad) formando principalmente terrazas fluviales y otros depósitos aluviales y de ladera (Fig. 4).

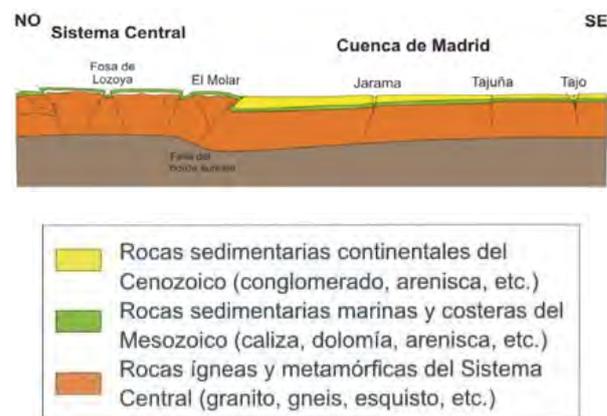


Figura 4. Corte esquemático de la Cuenca de Madrid y su relación con el borde del Sistema Central.

Los depósitos cenozoicos presentan una potente sucesión cuyo espesor máximo alcanza los 3.500 m en las proximidades del Sistema Central. Los materiales detríticos aflorantes en Madrid capital y su entorno próximo proceden de la Sierra de Guadarrama y pasan lateralmente hacia el sureste, en las zonas centrales de la cuenca, a depósitos lacustres evaporíticos y calcáreos. En sondeos al norte de Madrid, el espesor de la serie miocena se aproxima a los 1.000 m (Tres Cantos), si bien disminuye a los 800 m (San Sebastián de los Reyes) y a los 600 m (El Pradillo) aunque en el valle del Tajuña (Tielmes) vuelve a aumentar a los 1060 m.

La sucesión del Neógeno de la Cuenca de Madrid fue dividida en tres grandes unidades (Junco y Calvo, 1983), que por su disposición estratigráfica fueron denominadas: Unidad Inferior, Unidad Intermedia y Unidad Superior, separadas entre sí por importantes discontinuidades y cada una de ellas con una clara tendencia progradante y granocreciente hacia el centro de la cuenca (Fig. 5).

ESQUEMA LITOSTRATIGRÁFICO DE LA CUENCA DE MADRID

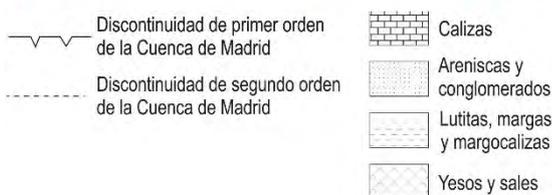
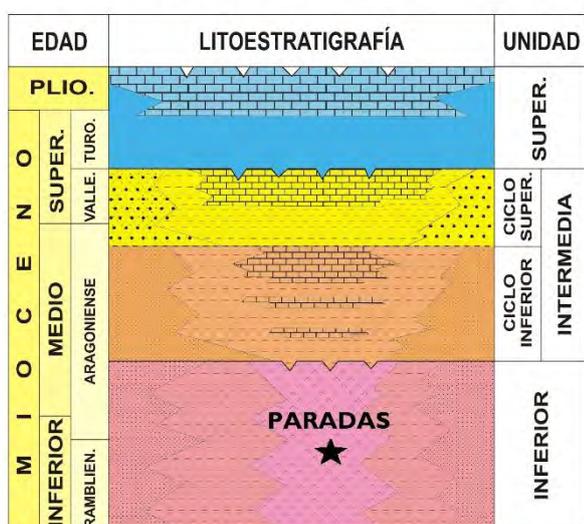


Figura 5. Esquema litoestratigráfico del Mioceno de la Cuenca de Madrid.

- La Unidad Inferior abarca una edad comprendida 16,5 y 14,0 m.a. (millones de años) (Ramblense y Aragoniense inferior-medio), aflora y se extiende por buena parte de la cuenca, principalmente por la mitad meridional de la Comunidad, presentando espesores entorno a los 800 m. Se caracteriza por la presencia de sedimentos lutíticos y evaporíticos (margas y yesos grises) en los sectores centrales de la misma, aflorando en las zonas bajas de los valles de los ríos

Manzanares, Jarama, Tajuña y Tajo. Hacia el norte y noroeste, es decir hacia la sierra, pasan a depósitos detríticos de naturaleza arcósica (areniscas y conglomerados), mientras que hacia el oeste y suroeste lo hacen a sedimentos lutíticos-carbonatados (arcillas y calizas). En Madrid capital se localizan varios yacimientos de vertebrados que permiten su datación (San Isidro, Príncipe Pío, etc.).

- La Unidad Intermedia, abarca un intervalo entre los 14,0 y 9,5 m.a. (Aragoniense medio-Vallesiense inferior), muestra un carácter menos evaporítico, predominando los sedimentos carbonatados (margas y calizas) en las zonas centrales y las areniscas arcósicas en el resto, con variaciones composicionales en función de su procedencia. Dentro de esta unidad se observan discontinuidades que permiten la individualización en otras subunidades de orden menor. Existen también importantes yacimientos, como el de Somosaguas, que han permitido establecer la cronoestratigrafía de estos materiales.
- La Unidad Superior presenta una edad comprendida entre 6,0 y 3,4 m.a. (Turolense superior-Plioceno inferior) y espesores inferiores a 50 m, estando constituida por depósitos detríticos en la base y por un conjunto calcáreo lacustre conocido tradicionalmente como "calizas de los páramos" que paisajísticamente confieren un relieve meseteño allí donde se localizan.

A finales del Plioceno y ya a comienzos del Cuaternario, hace unos 2 m.a., tuvo lugar un progresivo drenaje de la península Ibérica hacia el Océano Atlántico, de tal forma que las cuencas cenozoicas de origen endorreico que había en el interior de la península, como por ejemplo la del Tajo, comenzaron a 'vaciar', configurándose una red fluvial que es la que actualmente constituyen las diferentes cuencas hidrográficas.

Al margen de los materiales que conforman la Sierra de Guadarrama y Somosierra, el sustrato de una buena parte de Madrid es aparentemente monótono, de aspecto arenoso y tonalidades claras, estando formado por areniscas arcósicas y conglomerados del Mioceno en disposición horizontal, originalmente depositados por abanicos aluviales procedentes de la sierra. Sin embargo, por el sureste destacan los yesos, margas grises y calizas blancas, típicos de ambientes lacustres formados por evaporación del agua. También se reconocen arcillas verdes y limos oscuros depositados en los bordes de esos lagos por decantación del sedimento que llegaba en suspensión en el agua de ríos y arroyos.

Los materiales más antiguos aflorantes en Madrid capital y alrededores corresponden a la denominada Unidad Inferior, que al encontrarse en disposición horizontal o subhorizontal, se localizan siempre en la parte baja de los valles, como ocurre en el valle del Manzanares y en localidades próximas (Rivas-Vaciamadrid, Ciempozuelos y Aranjuez), reconociéndose muy bien siempre en los cantiles y farallones a favor de los ríos que drenan esas zonas. Por encima se sitúa la Unidad Intermedia ocupando las zonas topográficamente más altas de Madrid y de sus alrededores (Moncloa-Dehesa la Villa, Fuencarral, Vallecas). Al sureste de la Comunidad se localizan ya los depósitos más modernos de la Unidad Superior, formando extensas planicies que configuran el paisaje meseteño de las zonas altas de ese sector y que se denominan “páramos” (Campo Real,

Villarejo de Salvanes, Colmenar de Oreja y Chinchón).

Por último, los depósitos cuaternarios, principalmente las terrazas fluviales, se localizan en los valles los ríos Manzanares, Henares, Jarama, Tajuña y Tajo entre otros y están formados por gravas y arenas que han sido objeto de intensas explotaciones, si bien a veces se pueden identificar restos de terrazas altas por encima de los cantiles que delimitan esas arterias.

Geología de Ciempozuelos y del área visitada

La localidad de Ciempozuelos y sus alrededores, se sitúa al sur de la capital sobre los materiales neógenos más bajos de la Cuenca de Madrid y en la margen derecha del valle del río Jarama, muy cerca de su confluencia con el Tajuña. Se trata de un paisaje monótono y grisáceo interrumpido por los valles de dichos ríos y por los impresionantes escarpes que los delimitan.

En concreto el área visitada se ubica sobre los materiales yesíferos (yesos y margas) de tonalidades grises y aspecto masivo de la denominada Unidad Inferior del Mioceno (Junco y Calvo, 1983) (Fig. 6), anteriormente descrita, encontrándose en algunas zonas afectada por un cierto grado de karstificación, lo que ha dado lugar al desarrollo de dolinas y cuevas en algunos puntos de la región. Sobre estos materiales han sido excavadas las denominadas “minas de agua” y las bodegas o cuevas características de la localidad.

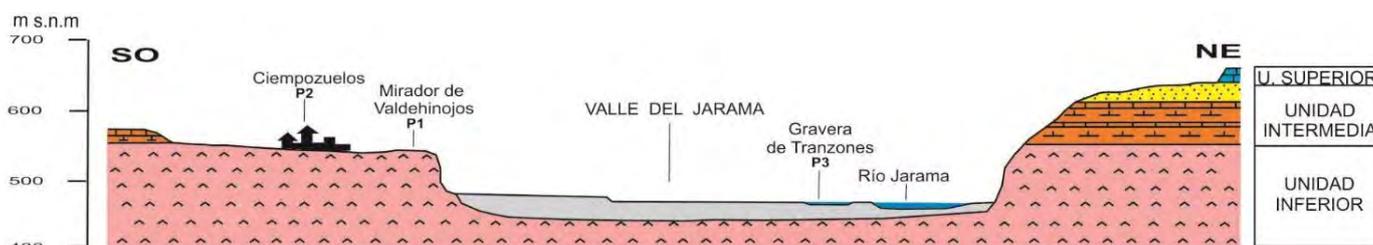


Figura 6. Corte geológico esquemático del área visitada.

El contenido mineralógico en sales minerales de esta unidad (yeso, glauberita, thenardita, etc.) es muy variado y a veces abundante, lo que hace que desde la antigüedad estos materiales hayan sido objeto de explotación. Un ejemplo de ello son las Salinas de Espartinas, actualmente abandonadas, y donde a través de galerías se llevaba a cabo la extracción de materiales con posterior disolución y precipitación en balsas por evaporación, proceso en parte observable hoy en día gracias a los efectos de la escorrentía superficial y por las tonalidades blancas que presentan las sales precipitadas.

Por otro lado, las zonas más deprimidas como los fondos de los valles, y en particular la vega del Jarama, están rellenas de depósitos aluviales cuaternarios, encontrándose delimitado dicho valle por llamativos cantiles y escarpes rocosos desarrollados sobre los

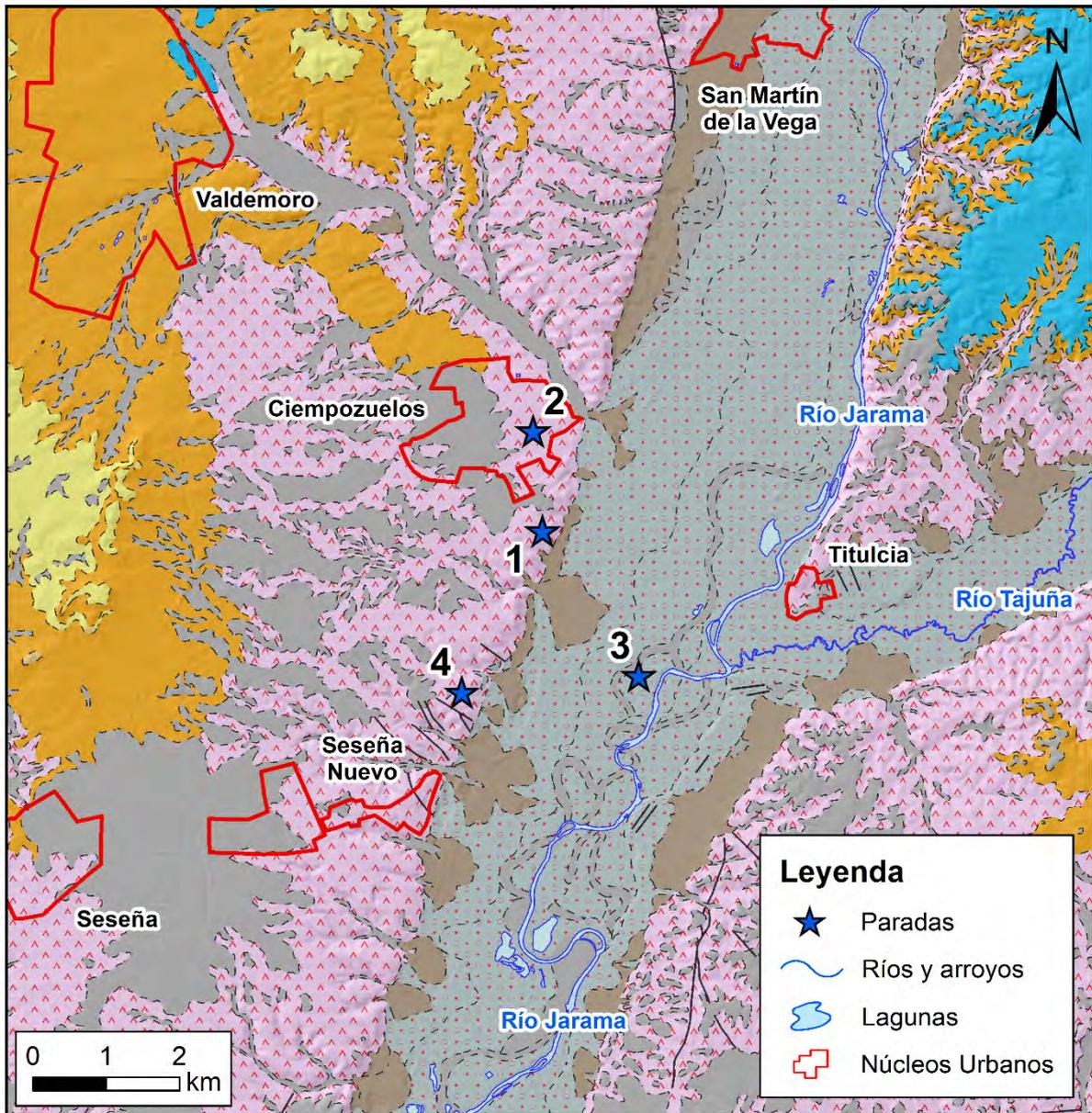
materiales yesíferos y margosos a los que se ha hecho referencia (Fig. 7).

Al pie de estos escarpes, en el fondo del valle y relacionadas con el río Jarama, se reconoce un sistema de terrazas fluviales bajas que, en ocasiones, han sido objeto de una intensa explotación de áridos. Posteriormente, al quedar abandonadas las graveras, se han desarrollado sobre ellas lagunas artificiales, hoy día humedales de alto valor ecológico. Por último, destacar en la zona visitada el carácter divagante y meandriforme del río Jarama en su tramo final, pudiéndose reconocer algunos cursos abandonados (Fig. 8).

Por todo lo anterior y por su importancia medioambiental, esta zona se encuentra incluida dentro del espacio natural protegido “Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama”.



Figura 7. Escarpes yesíferos en el valle del Jarama pertenecientes a la Unidad Inferior.



Materiales geológicos	
	Cuaternario - Terrazas y llanuras de inundación de los ríos Jarama y Tajuña (gravas, arenas y limos)
	Cuaternario - Abanicos aluviales y conos de deyección (gravas, cantos y arenas)
	Cuaternario - Glacis y fondos de valle (gravas, cantos, arenas y limos)
	Mioceno - Unidad Superior (conglomerados, areniscas y lutitas)
	Mioceno - Unidad Intermedia Ciclo Superior (margas, margocalizas, calizas y dolomías)
	Mioceno - Unidad Intermedia Ciclo Inferior (arenas, margas, microbrechas y calizas)
	Mioceno - Unidad Inferior (yesos y margas yesíferas)

Figura 8. Mapa geológico simplificado del entorno de Ciempozuelos. Modificado de GEODE - IGME

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DEL ENTORNO DE CIEMPOZUELOS

Los tipos de acuíferos de Ciempozuelos

El Texto Refundido de la Ley de Aguas define **aguas subterráneas** como todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo (artículo 40 bis.c), y se considera **acuífero** a una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir, ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de dichas aguas (artículo 40 bis.d).

En el término de Ciempozuelos se localizan dos formaciones acuíferas diferentes, no sólo distintas por su edad geológica sino por sus condiciones hidrogeológicas.

- **Acuífero mioceno:** se desarrolla en los sedimentos miocenos formados por yesos, margas y arcillas, y son sus aguas las que circulan bajo el núcleo urbano de Ciempozuelos. Estos sedimentos son poco permeables de forma masiva, sin embargo, los yesos presentes en los mismos son muy solubles. Debido a ello, el agua de lluvia que se infiltra en el terreno, al alcanzar los niveles de yesos, los disuelve, desarrollando conductos que van conformando una red de grietas y huecos. Este fenómeno se denomina karstificación y es característico de las rocas susceptibles de disolución como las evaporíticas (halita, yeso y anhidrita) o las carbonáticas (calizas y dolomías).

El acuífero mioceno es un acuífero libre, o freático, por encontrarse el nivel superior del agua (nivel freático) a presión atmosférica.

Su dimensión es pequeña, se extiende desde las zonas altas situadas al noroeste de Ciempozuelos hasta el arroyo de La Cañada, donde descargan sus aguas. La recarga del acuífero se produce por infiltración de la precipitación en toda su superficie, y por las pérdidas de agua de las redes de abastecimiento y alcantarillado.

La circulación del agua subterránea en el acuífero se produce de oeste a este, como evidencia el mapa de isopiezas realizado por el IGME en el año 2014 (Fig. 9). Un mapa de isopiezas es similar a un mapa de curvas de nivel, pero en este caso se representan líneas que conectan puntos con igual nivel piezométrico. El nivel piezométrico se define como la altura que presenta la superficie de agua del acuífero respecto del nivel del mar. En acuíferos libres al nivel piezométrico también se denomina nivel freático.

Como se ve en la figura 9, el acuífero local tiene su recarga de agua en la zona oeste del casco urbano y su área de descarga se sitúa al este, hacia el aluvial del río Jarama. La velocidad del flujo es menor, más lenta, hacia el oeste, como se deduce de la mayor separación de las líneas que forman las isopiezas, siendo más rápida hacia el este, favorecido por la pendiente del terreno, donde las curvas piezométricas están menos separadas.

Este mapa también pone de evidencia la proximidad del nivel del agua del acuífero con la superficie del terreno. En su zona “más profunda”, como es la plaza de toros, el agua se encuentra a 5 m de la superficie del terreno.

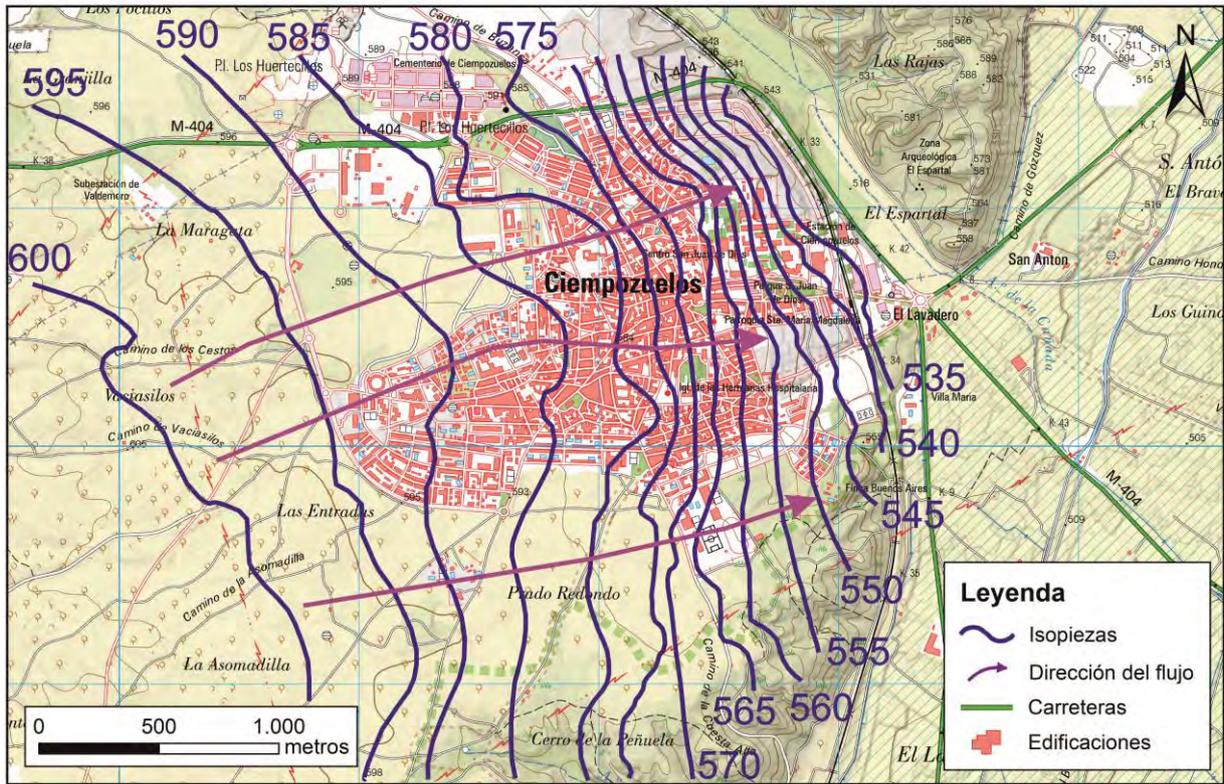


Figura 9. Mapa de isopiezas del acuífero mioceno de Ciempozuelos (noviembre de 2014). Adaptado de IGME, 2015.

Debido a la naturaleza de las rocas que componen el acuífero, sus aguas son sulfatadas cálcicas (Fig. 10) y su conductividad eléctrica natural es ligeramente menor al límite admisible para consumo humano, 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque su contenido en sulfatos supera ampliamente su límite admisible en el Real Decreto 3/2023, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro.

La pobre calidad natural de estas aguas no fue óbice para su uso y eventual consumo desde tiempos históricos hasta mediados del siglo XX. Hoy en día, las mismas se encuentran totalmente degradadas por la contaminación causada por fugas en la red de alcantarillado y otros vertidos, detectándose la presencia de hidrocarburos y microorganismos (coliformes, enterococos etc.) en las aguas muestreadas en distintos estudios (Villaroya et al., 2008, 2009; IGME, 2015).

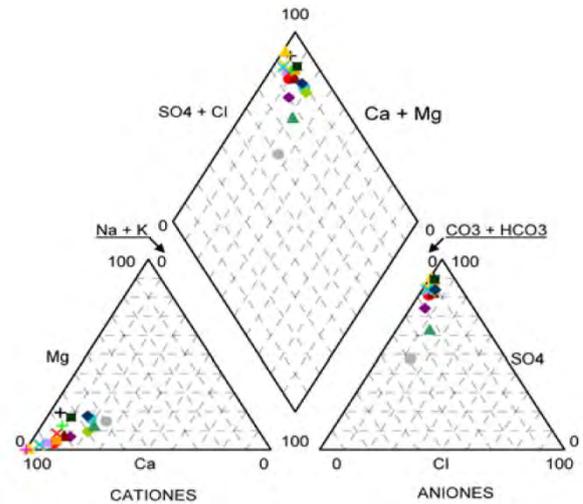


Figura 10. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de muestras de agua de pozos de Ciempozuelos (Villaroya et al., 2008).

Dado su carácter kárstico, en el acuífero mioceno el agua circula preferentemente por los conductos desarrollados por disolución de los yesos. Sin embargo, estos conductos se desarrollan en una matriz de muy baja permeabilidad como es la marga yesífera.

Debido a ello, la circulación del agua en este tipo de medio es marcadamente heterogénea, por lo que caracterizar la permeabilidad (k) de estos acuíferos resulta muy dificultoso, a la par que la representatividad del valor obtenido es limitada. En el caso del acuífero de Ciempozuelos estos aspectos “negativos” se acrecientan por la presencia de galerías y pozos y las pérdidas de las redes urbanas que distorsionan la circulación natural del agua. Una valoración similar se puede hacer respecto a la caracterización del almacenamiento (S). Un reflejo de ellos es que, de los estudios referenciados, sólo el IGME (2015) procuró mediante 3 ensayos de bombeo identificar estos parámetros y, de éstas pruebas hidráulicas, los resultados de 2 de ellas no fueron válidos por verse afectados por perturbaciones antrópicas del tipo antes señaladas. Por otro lado, los valores de los parámetros obtenidos en la tercera prueba son propios de medios poco permeables como la matriz margo-yesífera ($k = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, $S = 0,005$).

- **Acuífero cuaternario:** constituye un acuífero de escala regional formado por los depósitos sedimentarios fluviales de los ríos Jarama, Tajuña, Henares, Manzanares. El acuífero cuaternario en Ciempozuelos presenta un funcionamiento similar a otros escenarios distantes del mismo y esta continuidad en la circulación hace que incidan en las características locales de sus aguas, no sólo los rasgos hidrogeológicos y perturbaciones antrópicas locales, sino también rasgos y acciones los escenarios situados aguas arriba.

El acuífero cuaternario está constituido por materiales aluviales como gravas, arenas, limos y fragmentos de yesos y margas, en los depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales, y a estos

materiales se le suma la presencia de arcilla en los depósitos de terrazas medias y altas. Su base son las margas yesíferas miocenas. El acuífero es heterogéneo, anisótropo, permeable por porosidad, libre y su nivel piezométrico está condicionado por el nivel del río Jarama y se encuentra próximo a la superficie del terreno.

La recarga del acuífero se produce por la infiltración directa del agua de lluvia; en sus bordes, por el agua que circula por los arroyos y barrancos afluentes al río Jarama y sus respectivos aluviales; por su base, en los flujos ascendentes a través de las margas yesíferas y, como producto de la actividad agrícola, por el retorno del agua de riego, es decir, el agua no consumida por las plantas. Villarroya *et al* (2008) evaluaron esta recarga en 225 mm/a. La descarga se produce al río Jarama y a las lagunas que se desarrollaron en las antiguas graveras, desde donde se evapora. Debido a los aportes de agua de las recargas de borde y profunda, la facies hidroquímica dominante es la sulfatada cálcica. Si bien la influencia de los yesos es menor que en el acuífero mioceno, debido a la dilución que producen el agua de lluvia, los retornos de riego y los flujos procedentes de aguas arriba y esta menor carga en sales se evidencia en una conductividad eléctrica más baja: 1700 μ S/cm, Villarroya *et al* (2008). La permeabilidad de este acuífero es por porosidad intergranular y oscila de media a muy alta ($k = 25-75$ m/d), al igual que el almacenamiento ($S = 0.05-0.25$) (IGME, 2009).

El hecho de que sus aguas tengan una carga en sales algo menor y que sus parámetros hidráulicos (k y S) sean mucho mejores respecto a los del acuífero mioceno, no propició históricamente un mayor aprovechamiento del acuífero cuaternario. En cuanto al abastecimiento, el uso de sus aguas

hubiera requerido de unos recursos y esfuerzos que no compensaban la facilidad de captación de las aguas del acuífero mioceno. Respecto al uso agrícola, la accesibilidad de toma y distribución de las aguas superficiales, inicialmente del río Jarama y en los últimos dos siglos de la Real Acequia del Jarama, sí ofrecían un mayor atractivo que el empleo de las aguas subterráneas.

Las masas de agua subterránea del entorno de Ciempozuelos

De acuerdo con el Texto Refundido de la Ley de Aguas, artículo 40 bis.f, una **masa de agua subterránea (MASb)** se define como un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.

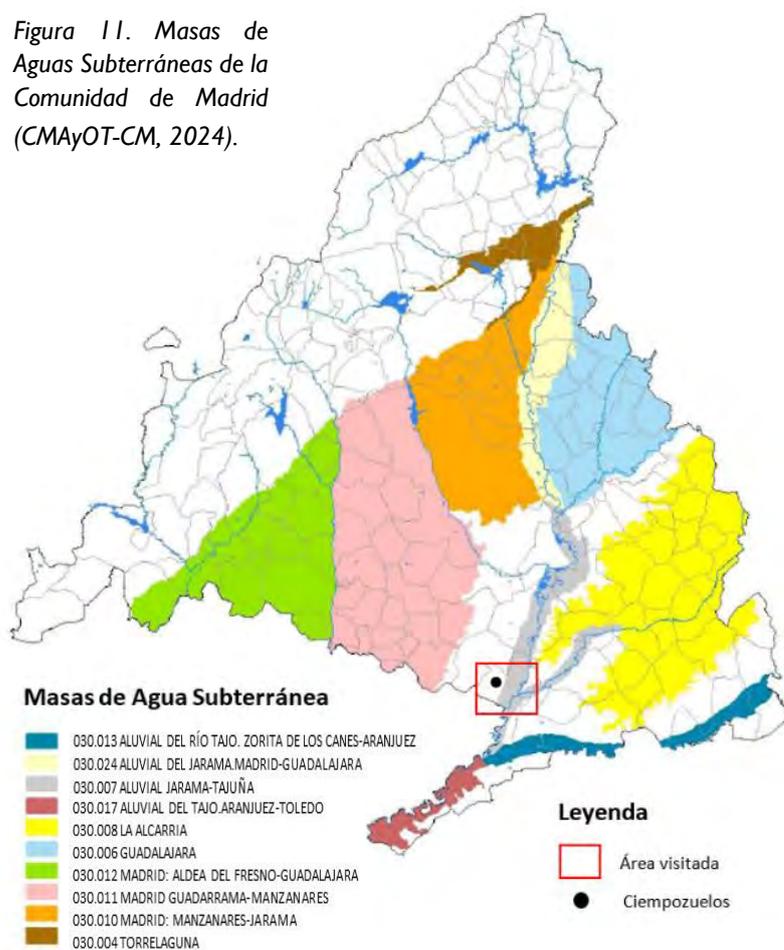
Las MASb constituyen unidades de gestión clave en la planificación hidrológica, definiendo los usos y extracciones permitidas de las aguas subterráneas, además de evaluar el cumplimiento de los objetivos medioambientales establecidos para conseguir un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo. Su delimitación corresponde a las Confederaciones Hidrográficas y atiende a la importancia o a la singularidad de los recursos hídricos de los acuíferos.

En la zona de visita, las formaciones yesíferas miocenas son consideradas un conjunto con escaso interés hidrogeológico. Esto se debe a su baja permeabilidad, deficiente transmisividad y coeficiente de almacenamiento y mala calidad química de sus aguas.

Respecto a los materiales cuaternarios, situados en el valle del río Jarama, su permeabilidad en condiciones naturales es mucho mayor que la de los materiales yesíferos y sus aguas presentan una mejor calidad química.

Por ello, en el término municipal de Ciempozuelos, a pesar de la singularidad que el acuífero mioceno representa a nivel local, su intrascendencia como recurso hídrico regional ha hecho que la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT) no lo haya considerado para definir una MASb. La CHT sólo delimita el acuífero cuaternario, incluyéndolo en la MASb 030.007 “Aluviales del Jarama-Tajuña” y que se extiende fuera del casco urbano de la localidad, sobre la vega fluvial del río Jarama (Fig. 11).

Figura 11. Masas de Aguas Subterráneas de la Comunidad de Madrid (CMAyOT-CM, 2024).



EL PATRIMONIO HIDRÁULICO DE CIEMPOZUELOS: LAS MINAS DE AGUA

Las denominadas “minas de agua” que se conservan bajo el suelo del casco histórico de Ciempozuelos, también denominadas “galerías drenantes”, forman parte de un complejo sistema de captación, transporte y distribución de las aguas subterráneas. La facilidad de excavación en el sustrato yesífero y la robustez de las cavidades sin necesidad de revestimiento, hicieron proliferar estas infraestructuras desde comienzos del siglo XIV. El resultado fue una intrincada red de minas, galerías, pozos y cuevas que se extienden por el subsuelo, y que posiblemente diera lugar al nombre del emplazamiento: Ciempozuelos.

El origen de estos sistemas se establece en los llamados “qanats” de Próximo Oriente: galerías subterráneas de trazado horizontal y leve pendiente que captan, conducen y distribuyen el agua para su uso. Los primeros ejemplos en la península ibérica se corresponden con la época de Al-Ándalus, conservándose numerosas galerías, en especial en ámbitos rurales. En la ciudad de Madrid estas galerías se han conocido como “viajes de agua” (Fig. 12), cumpliendo funciones de abastecimiento desde finales del medioevo hasta principios del siglo XX, alcanzando los 124 kilómetros de longitud (60 km fueron galerías de captación y 54 km galerías de conducción).

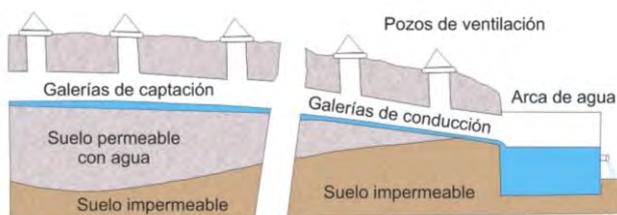


Figura 12. Esquema de los antiguos viajes del agua en Madrid (modificado de López Carcelén, 2004).

En las islas Canarias, este tipo de sistema de captación también ha sido muy importante desde hace siglos y, aún hoy, se mantienen activas algunas galerías para uso agrícola y abastecimiento urbano.

El patrimonio subterráneo que se encuentra bajo el casco urbano de Ciempozuelos es bien conocido en la localidad, habiéndose realizado tres campañas de identificación y documentación entre los años 2004 a 2006 por Núñez Herrero y Murillo Fragero. Dichos estudios describen las minas de la siguiente manera:

“Las minas de Ciempozuelos son un conjunto de galerías subterráneas que recorren el subsuelo de la población. Con unas dimensiones aproximadas de 0,50 x 1,80 m, permiten, por lo general sin muchas dificultades, la circulación por las mismas de una persona a pie.

Se encuentran excavadas y talladas en las margas y terrenos yesíferos que configuran la estratigrafía geológica del sustrato más inmediato sobre el que se ubica el actual asentamiento, no contando con ningún tipo de revestimiento añadido.

Su construcción, al margen de los propios tramos de galerías, se caracteriza por una serie de elementos claramente identificables: pozos rectangulares de 0,60 x 1,20 m, las captaciones o lugares de origen del abastecimiento de agua (a través de filtraciones del nivel freático o de manantiales), y las denominadas salidas o desembocaduras que, volcando el agua en depósitos a modo de estanques, aljibes o pilones, permitirían su redistribución a huertas y campos de cultivo a través de norias o acequias”

Por lo tanto, existen dos tipos de infraestructuras hidráulicas diferentes (Fig. 13):

1. **Las cuevas o bodegas:** habituales en Ciempozuelos y en otras localidades del entorno (Chinchón y Colmenar de Oreja) y vinculadas al almacenamiento de enseres, víveres y vinos. Se excavaban en los sótanos de los edificios.
2. **Las minas de agua:** relacionadas con la búsqueda y explotación de las aguas subterráneas. La función de las minas es actuar como galerías drenantes, conduciendo las aguas desde los manantiales hacia las zonas de cultivo. Los pozos excavados para captar el agua subterránea de las minas tienen entre 5 y 7 m de profundidad, siendo, generalmente, más profundos que las bodegas.

ESQUEMA DE LAS CUEVAS, POZOS Y MINAS DE CIEMPOZUELOS

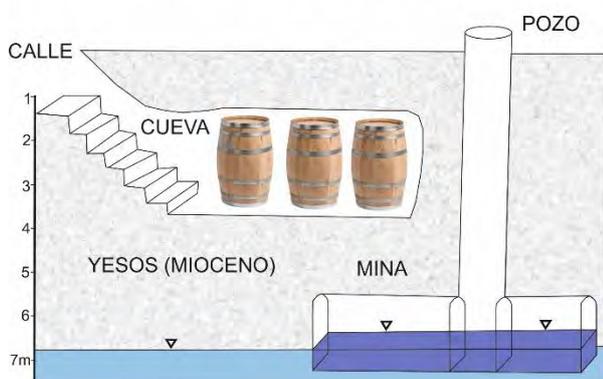


Figura 13. Representación esquemática de una cueva o bodega y de una mina de agua de Ciempozuelos (adaptado de Villarroya et al., 2009).

La cueva de la Plaza Mayor

A mediados del año 2020 se iniciaron las obras de rehabilitación de la cueva que se halla bajo la Plaza Mayor de Ciempozuelos. Esta estructura fue descubierta tras unas obras en la red de saneamiento bajo el cruce del paseo de la Estación con la calle Padre Benito Menni.

El objetivo fue acondicionar y poner en valor este espacio, permitiendo su visita guiada. Se procedió a abrir el acceso a la cueva, que se hallaba sellada bajo una capa de escombros, conectándola en superficie mediante un tramo de escaleras conservado (Fig. 14),



Figura 14. Entrada a la cueva bajo la Plaza Mayor.

La cueva (Figs. 15 y 16) presenta un pozo en su extremo oeste y dos minas de agua: la primera se inserta en la esquina suroeste, al lado de las escaleras de acceso, y la otra se sitúa en el extremo sureste de la bodega, continuando en dirección este, hacia la zona de las primitivas huertas que eran regadas por el agua conducida por las minas.

En la esquina noroeste se localiza un pasillo correspondiente con la progresión de otras minas o de los accesos tapiados al antiguo complejo hospitalario. En uno de los pasillos se puede observar una canalización empotrada en la pared y formada por tejas, posiblemente para evacuación de aguas procedentes de la superficie o de otras galerías.

El resto de la cueva se halla formada por una serie de concavidades, de planta semicircular y paralelas entre sí, destinadas a albergar, en su día, las tinajas o conservar frescos los alimentos y demás provisiones.

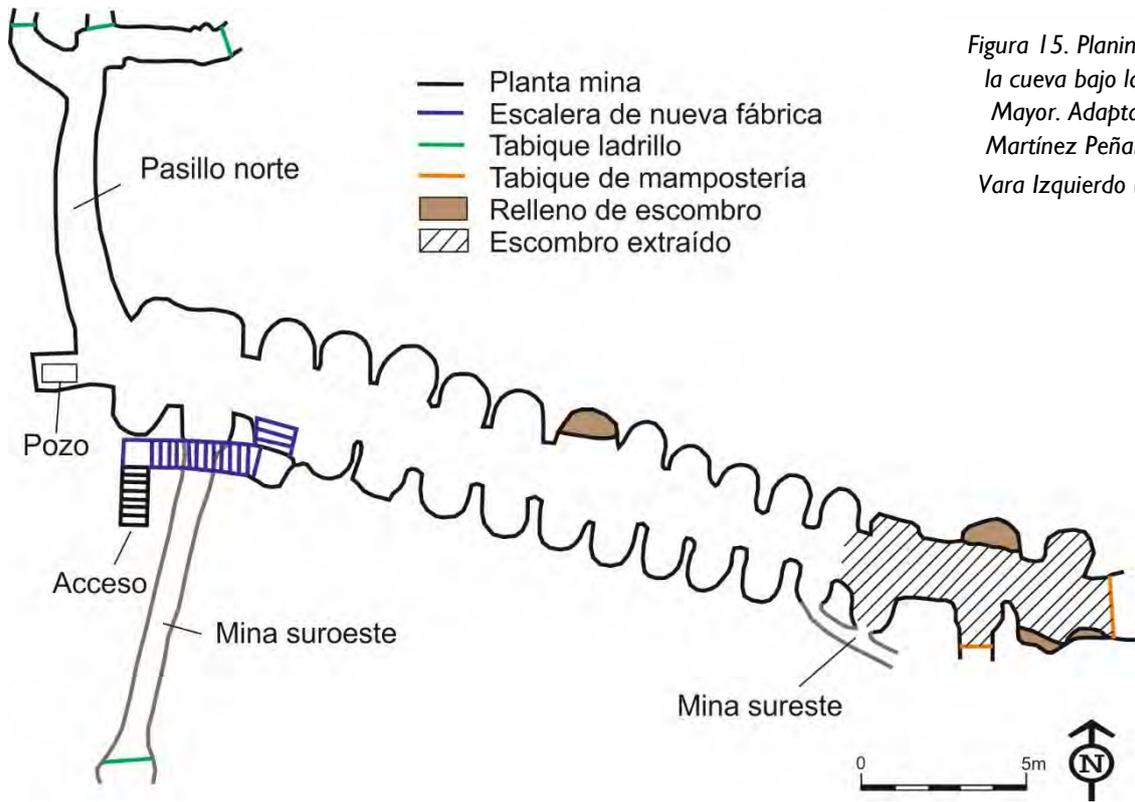


Figura 15. Planimetría de la cueva bajo la Plaza Mayor. Adaptado de Martínez Peñarroya y Vara Izquierdo (2022).



Figura 16. Antes (arriba) y después (abajo) de las obras de rehabilitación de la cueva de la Plaza Mayor.



Figura 17. Mapa de las minas de agua (galerías) y localización de la cueva de la Plaza mayor de Ciempozuelos. Adaptado de Núñez Herrero y Murillo Fragero (2004 a 2006) e IGME (2015).

Problemas y riesgos hidrogeológicos asociados a las minas de agua

Exceptuando el ejemplo de la cueva de la Plaza Mayor, la gran parte de las infraestructuras que componen este rico patrimonio hidráulico subterráneo está abandonadas o en fase de deterioro.

A medida que progresa la urbanización del casco urbano, existen galerías que han sido destruidas mientras que otros tramos han sido interceptados y cortados por la cimentación de los edificios de nueva construcción, sin control ni autorización de técnicos municipales en muchos casos. La mayoría de las galerías no tienen continuidad y terminan su recorrido en barreras o muros

levantados a modo de tabique con ladrillo moderno. Algunos de estos muros están dispuestos de tal forma que mantienen el paso inferior, dejando un hueco o colocando una tubería por la que el agua continúa circulando libremente por la galería. Sin embargo, en varias ocasiones se han detectado que estos pasos inferiores, tras el paso del tiempo, terminan colmatándose, provocando un efecto de retención y “embalsamiento” del agua y un ascenso de su nivel.

Estas interferencias obligan al agua a circular por las zonas más permeables del sustrato o bien a infiltrarse por las juntas de las cimentaciones, inundando sótanos y garajes cercanos y creando problemas en la integridad estructural de los edificios (Fig. 18).

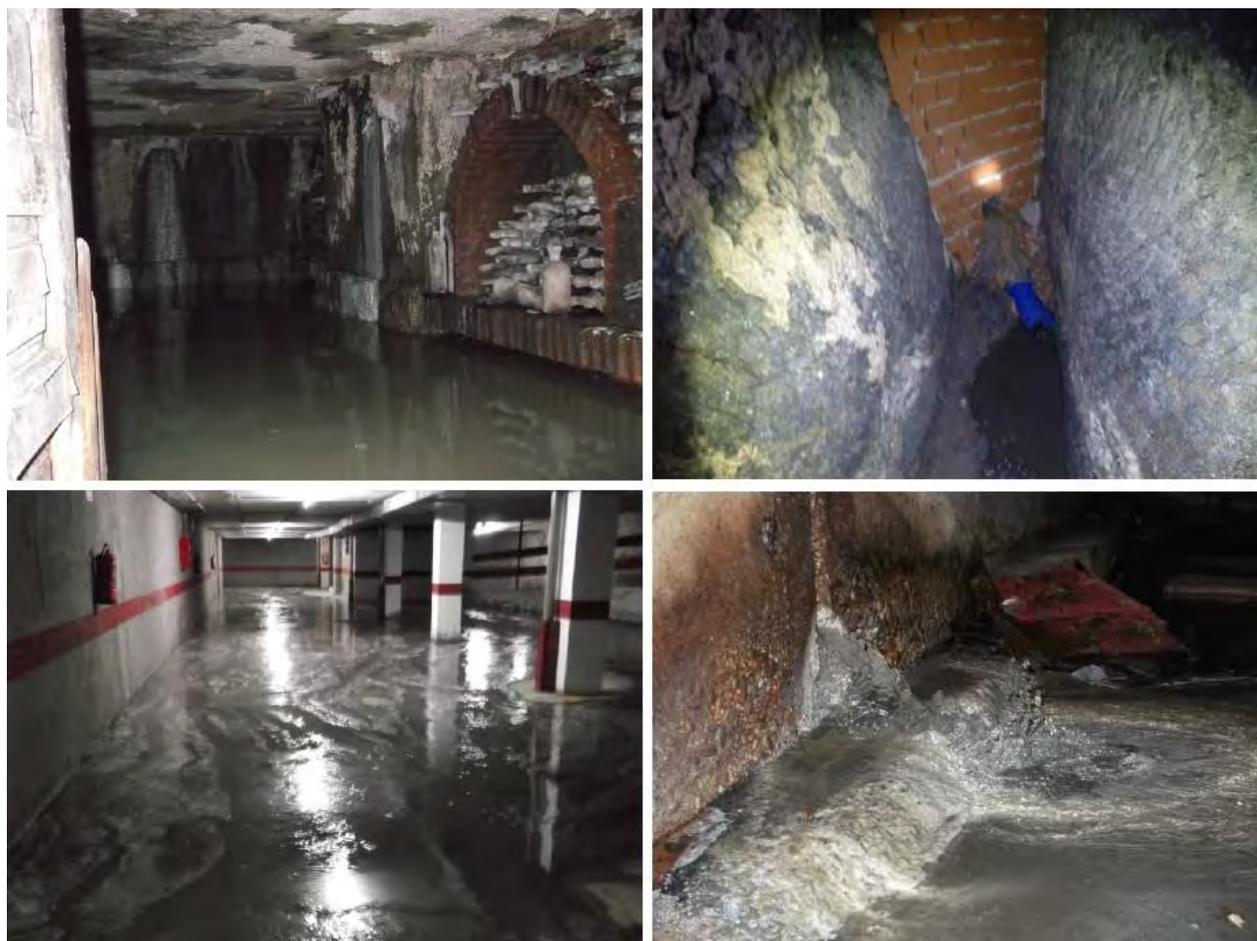


Figura 18. Sótano inundado, mina de agua tapiada y filtraciones de agua en un garaje de la localidad. Fuente: IGME (2015).

Además, existen varios puntos en donde las alcantarillas o las conducciones de la red de saneamiento presentan fugas o roturas, vertiendo las aguas residuales en las minas de agua. Este hecho deteriora considerablemente las condiciones de salubridad de las mismas, y por tanto, la calidad química de las aguas del acuífero.

Hacia el Sur, las galerías inspeccionadas por el IGME (2015) poseen mayor contaminación, encontrándose mayor espesor de lodos en la base de las galerías. Al remover dicho lodo, se detectó la presencia de gases (sulfhídrico) en el ambiente de la mina. El gas sulfhídrico es incoloro, más pesado que el aire, inflamable y con un olor característico a “huevos podridos”. La fuente natural de gas sulfhídrico puede ser, entre otras, un agua estancada y productos de degradación bacteriana en los suelos.

Además, en el reconocimiento de estas galerías ha sido habitual encontrarse con restos sólidos (papeles, bastoncillos, compresas, toallitas, paños...), los cuales pueden llegar a obstaculizar las salidas de aguas residuales provocando el embalsamiento de las aguas dentro de las galerías. Cabe destacar que se han encontrado y documentado estos restos en las paredes y techos abovedados de las galerías, por lo que en algún momento el nivel de agua ha alcanzado esas cotas.

Por último, reseñar que existe la posibilidad de que el origen del problema de las filtraciones no sea 100% achacable a la acumulación de aguas residuales en el terreno, ya que el nivel piezométrico natural se encontraría próximo a la superficie, teniendo una mayor incidencia en aquellas edificaciones que cuentan con sótano excavado (IGME, 2015).

LA GRAVERA DE TRANZONES

Las graveras son depósitos aluviales formados por paquetes de grava y arena de edad cuaternaria, situados generalmente en las terrazas aluviales. Su extracción y explotación causan siempre una importante alteración en el paisaje y sobre los recursos naturales presentes en la zona (suelos, agua, vegetación, etc..), mayores cuando las explotaciones se acumulan en unos pocos kilómetros de ribera, como es el caso del río Jarama (Fig. 19).

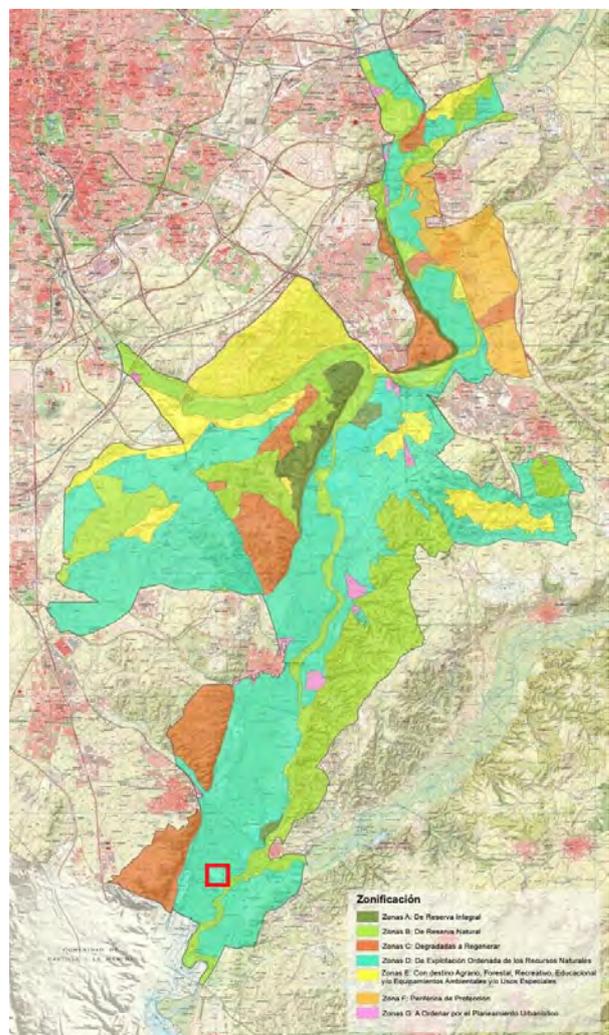


Figura 19. Localización de la gravera de Tranzones (en rojo) dentro del Parque Regional de Sureste.

Durante años, varias empresas han empleado una parcela de unas 53 hectáreas situada en el entorno de la Compuertilla - El Sotillo (Ciempozuelos), en el margen derecho del río Jarama, como cantera de gravas y arenas, denominada la gravera de Tranzones.

Tras la explotación llevada a cabo por la empresa Graveras Los Ángeles, la empresa Holcim España adquiere los terrenos y posteriormente lleva a cabo actuaciones de restauración ambiental entre los años 2019 y 2021. Entre estas actuaciones se incluye el desmantelamiento de la planta de tratamiento, repoblaciones forestales y la creación de varias lagunas artificiales en el entorno de la gravera, incrementando la calidad ambiental y paisajística del curso bajo del Jarama.

Durante los años en los que esta cantera no había sido explotada, la naturaleza ya se había abierto paso, y la vegetación autóctona y las aves ya estaban colonizando algunas zonas de la antigua gravera (Fig. 20).



Figura 20. Foto actual de la laguna ubicada en la gravera de Tranzones.

La generación de estas lagunas proporciona importantes funciones ecosistémicas en el entorno. Por un lado, contribuyen a aumentar la biodiversidad de la zona y a mitigar el calentamiento global, ya que son importantes sumideros de carbono.

Por otra parte, cumplen un rol fundamental en la adaptación al cambio climático, amortiguando el efecto de las tormentas y las inundaciones, y en este caso en concreto, la revegetación de la zona actúa de filtro verde, favoreciendo la retirada de los nitratos empleados en las parcelas de cultivo circundantes.

De gravera a Parque Regional: la transformación del entorno de La Compuertilla - El Sotillo en el siglo XX

En el entorno de la laguna de Tranzones, conocido como la Compuertilla - El Sotillo, cerca del río Jarama, el nivel freático se encuentra condicionado por el río y se haya a escasa profundidad.

Durante los trabajos de extracción de áridos, cuando las máquinas excavan por debajo del nivel freático, aflora una lámina de agua que se va ampliando con el avance de la actividad minera, dando lugar a estas lagunas artificiales (Fig. 21), como es el caso de la de Tranzones. Sin embargo, cuando la cota del terreno está a mayor altura o el acuífero se encuentra a gran profundidad, estos humedales artificiales no se generan.

En la zona sureste de la Comunidad de Madrid, se localizan, junto a la laguna de Tranzones, una serie de lagunas que están directamente relacionadas con la actividad minera a cielo abierto llevada a cabo durante la segunda mitad del siglo XX. Esta intervención ha sido la causa de la gran transformación de esta zona.

A principio de los años 50 la vega del río Jarama presentaba un paisaje dominado por huertos y, en consecuencia, la economía se basaba en la agricultura. A finales de esta década, a raíz de la expansión urbanística de Madrid, aparecieron las primeras explotaciones de áridos (Fig. 22).

La demanda de materias primas que necesitó Madrid en su proceso de urbanismo en las décadas de los 60 y 70 y la cercanía de áridos naturales de excelente calidad, procedentes de la vega del Jarama, ocasionó que la extracción de estos materiales se intensificara durante décadas. En aquellos años, más de la mitad de la producción minera anual de la Comunidad estaba dedicada por completo a la extracción de gravas y arenas, concentrándose gran parte de estas explotaciones en la vega del Jarama.

Esto llevó a un cambio drástico en el uso del suelo, pasando de agrícola en la primera mitad del siglo XX a minero en la segunda mitad, aunque todavía existen algunas explotaciones agrícolas.

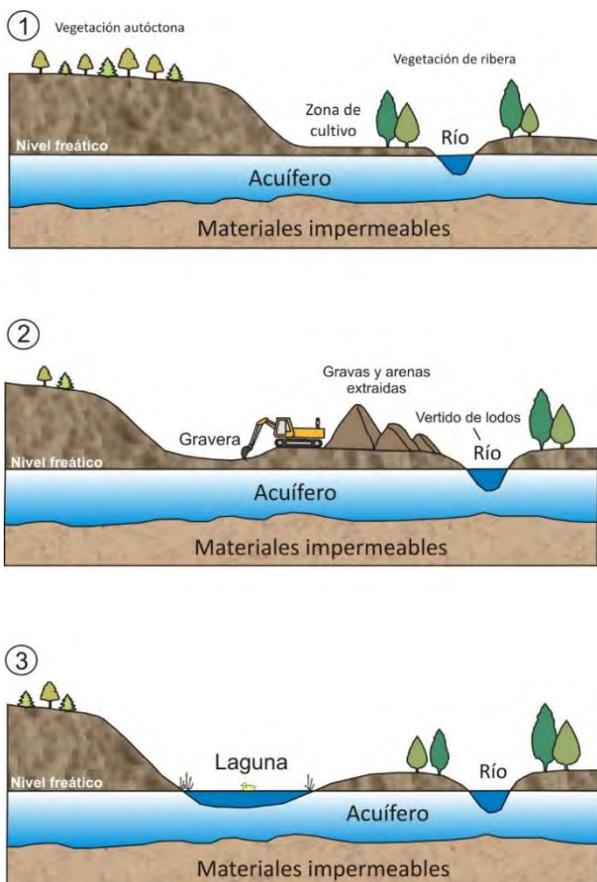


Figura 21. Esquema de explotación de una gravera.

Esta extracción se realizó con escaso control y planificación, lo que provocó tal deterioro en el medio que fue necesaria la intervención de la administración para proteger, conservar y utilizar de manera racional este entorno.



Figura 22. Explotación de áridos en el río Jarama.

Dicha intervención se consolidó en 1994 mediante la creación de un espacio protegido denominado “Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama”, comúnmente llamado “Parque Regional de Sureste” y en donde se incluye la laguna de Tranzones. Este espacio protegido presenta una gran variedad de ecosistemas con destacados valores ambientales, entre los que figuran los humedales; en 1997 existían 123 ecosistemas acuáticos leníticos inventariados por la Comunidad de Madrid.

La característica más destacada de estos ecosistemas acuáticos es el origen artificial de los mismos: de los 123 humedales encontrados, el 93,5% (115) son el resultado de intervenciones humanas en el medio, siendo sólo el 6,5% (8) de origen natural. Del conjunto de hábitats artificiales, exceptuando dos presas y dos balsas de riego, el 96,5 % corresponden a láminas de agua generadas por actividades extractivas (una cantera de yesos y 110 explotaciones de grava y/o arenas).

El proyecto de restauración de la gravera de Tranzones

La gravera de Tranzones es un buen ejemplo de la restauración y recuperación de la biodiversidad autóctona en esta área, sometida a una intensa extracción de áridos. (Fig. 23).

Se ha llevado a cabo una reconstrucción topográfica y morfológica, configurando láminas de agua de diferente profundidad y charcas temporales. Además, se han suavizado las pendientes del perímetro de la cantera, con el objetivo de evitar la caída accidental de animales y personas a su interior, y se han plantado especies arbóreas y arbustivas autóctonas que aislaran parcialmente la zona.

También se ha procedido a la eliminación de vegetación invasora, protegiendo las zonas colonizadas por vegetación autóctona, así como la revegetación con más de 3000 plantones, recreando cuatro ambientes ecológicos diferentes: bosque galería (terrazas fluviales bajas), saucedas (márgenes de las láminas de agua), setos densos (taludes perimetrales) y bosquetes de quercíneas (terrazas fluviales altas). Una de las actuaciones más importantes fue la plantación de unos 50 ejemplares de olmos (*Ulmus minor*) resistentes a la grafiosis.

Respecto a la fauna, se han realizado varias medidas con el objetivo de mejorar las poblaciones de Avión zapador (*Riparia riparia*), Abejaruco europeo (*Merops apiaster*), Martín pescador (*Alcedo atthis*), Carraca (*Coracias garrulus*), entre otras. Se han habilitado zonas de marjal con carrizos, ya que estos ecosistemas constituyen importantes zonas de paso de aves paseriformes e insectívoras, además de ser un hábitat de especial interés para los anfibios.

Además, se han colocado cajas nido para fomentar la nidificación de las aves, así como la creación de taludes verticales destinados a este fin. Además, se han instalado dos hoteles de insectos para facilitar la polinización y acelerar los procesos ecológicos en la zona restaurada.

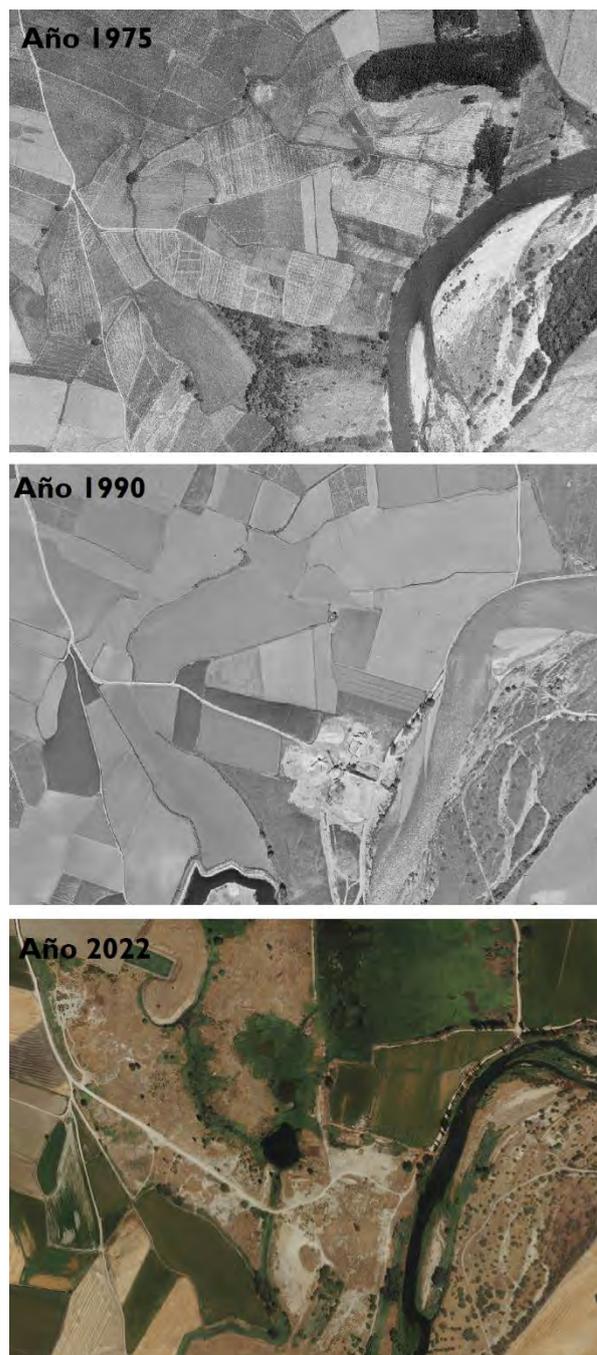


Figura 23. Evolución del entorno de la gravera de Tranzones en los años 70 (sin explotación), años 90 (con explotación) y en la actualidad (proyecto de restauración).

LAS SALINAS DE ESPARTINAS

Las **Salinas de Espartinas** constituyen un lugar de gran importancia histórica y geológica, incluidas en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) del IGME, código TM038. Se encuentran situadas en el término de Ciempozuelos, cerca del límite provincial con Toledo, entre la línea férrea Madrid-Alicante y los escarpes yesíferos de la margen derecha del Jarama, en el Barranco de Valdelachica. El valle ha sido labrado en materiales sedimentarios del Mioceno, en la denominada “Unidad Inferior” o “Unidad Salina” de la Cuenca de Madrid. Se trata de margas yesíferas con intercalaciones de sales sódicas bajo potentes capas de yesos masivos y tableados. La cobertera, hoy denudada, la constituían series carbonatadas visibles en cerros testigos próximos como los vértices de Espartinas y Batallones, situados a unos 6 y 8 km. al noroeste.

Las sales se captaban mediante galerías subterráneas (Fig. 24) que penetraban en las series margosas y yesíferas, recogiendo las aguas de drenaje cargadas en sales: halita (cloruro sódico), glauberita (sulfato sódico-cálcico), thenardita (sulfato sódico) y anhidrita (sulfato cálcico). Esta agua era conducida exteriormente mediante canalizaciones y llevada a balsas calentadoras o de evaporación, donde se recogían las sales.



Figura 24. Salida de una galería en las Salinas de Espartinas.

Historiografía de las Salinas de Espartinas y situación actual

La variedad de minerales evaporíticos de Espartinas, y en general de la zona yesífera del sur de la Comunidad de Madrid, ha sido muy relevante en la historia de la mineralogía. La thenardita fue descubierta en 1826 en las Salinas de Espartinas por Rafael de Rodas. El mineral fue analizado ese mismo año por José Luis Casaseca quién lo describió como nueva especie mineral y la bautizó en homenaje a su maestro, el químico francés Louis Jacques Thénard (1777-1857).

Anteriormente en 1807, Dumeril había descubierto la glauberita en las Salinas de Villarrubia de Santiago (Toledo) siendo analizados y descritos los primeros ejemplares por Brogniart en 1808, junto a otros procedentes de Ciempozuelos. La mirabílica, muy abundante en los niveles salinos de la Cuenca del Tajo está también presente en Espartinas y en otras explotaciones próximas de Ciempozuelos, San Martín de la Vega y Chinchón. En la mina Consuelo, Areitio reconoció dos variedades de este sulfato, uno de ellos desconocido hasta entonces, fue bautizado como Ciempozuelita.

Aunque se sabe que las Salinas de Espartinas han sido explotadas desde la Edad del Bronce, las primeras referencias históricas se remontan al siglo XII. Así en 1182 sus sales son objeto de venta entre las Ordenes de Santiago y Calatrava; en 1204 aparecen en el testamento de Alfonso VIII; en 1284 con motivo de una cesión de Sancho IV al monasterio de Santo Domingo de Madrid; en 1338 se mencionan en el testamento de Alfonso XI, y continúan apareciendo en documentos diversos de Enrique IV y de los Reyes Católicos.

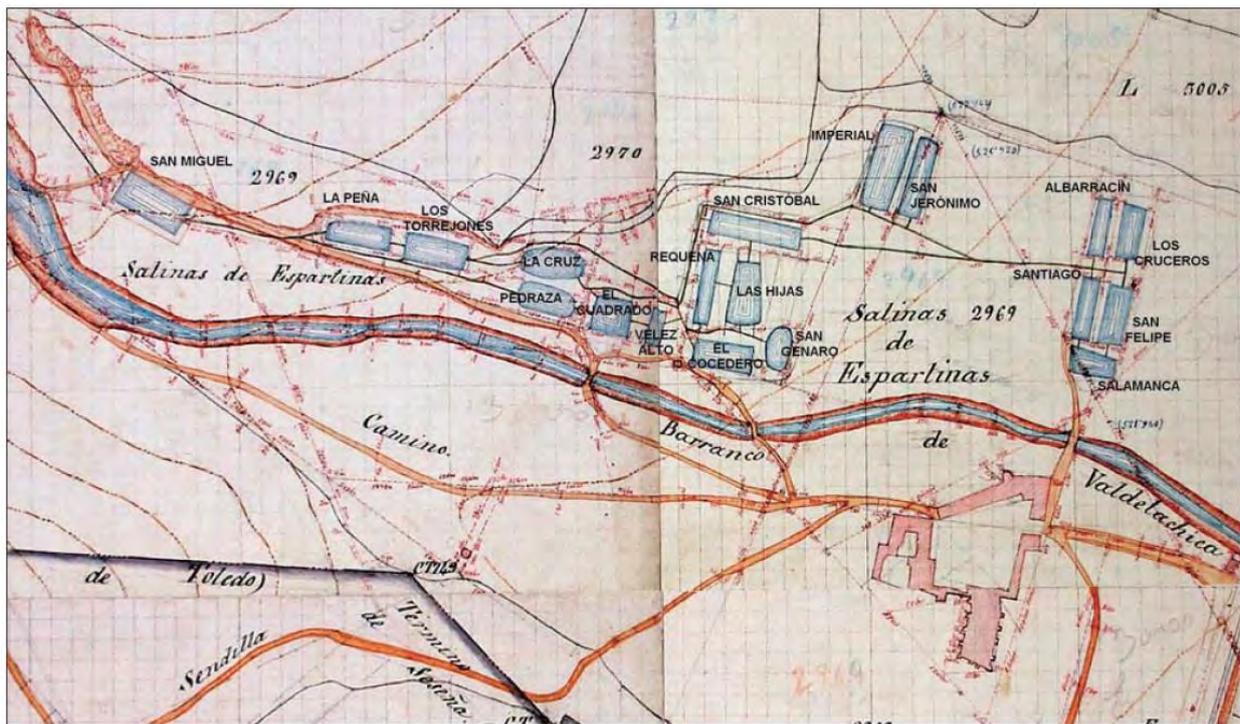


Figura 25. Balsas y calentadores de las Salinas Espartinas. Año 1860. Fuente: Valiente-Cánovas y Ayarzagüena-Sanz (2013).

En las Relaciones Topográficas de Felipe II las referencias a las Salinas de Espartinas son numerosas, pudiendo reconstruirse su área de influencia en el siglo XVI a partir de las respuestas de las localidades que se abastecían de sal en las mismas. Las relaciones topográficas realizadas por Tomás López en el siglo XVIII dan cuenta de la existencia de una "nueva fábrica" en las "salinas de agua nombradas de Espartinas" y en Madoz (1847) se cita el despoblado de San Juan de las Salinas de Espartinas y se da cuenta de los edificios asociados; almacenes, viviendas, administración y una iglesia o ermita de San Juan Bautista. Sergio Yegros en Apuntes sobre Salinas (1850) da cuenta de su producción y personal adscrito que vive en los edificios propiedad del Estado (Fig. 25). También había a mediados del siglo XIX una guarnición de infantería según el Cuadro Orgánico del Resguardo de las Salinas con arreglo al Reglamento de 1858, correspondiendo a Espartinas un total de 34 funcionarios.

En 1869 las Cortes aprueban la ley que liberaliza la fabricación y venta de sal, saliendo a subasta pública ésta y otras salinas de la provincia. En 1871, la producción se paralizó, pero se reanudó a finales de siglo con la elaboración de sal común y sales sódicas.

La producción de sal común en Espartinas y otras salinas interiores decayó en el siglo XIX por la competencia de las salinas costeras y otras de mayor capacidad productiva. Con el inicio de la producción de jabones, la sosa se convirtió en un producto de gran interés, reactivando la producción en Espartinas y dando lugar a la apertura de otras explotaciones en Ciempozuelos, San Martín de la Vega y Chinchón.

En 1926, durante el XIV Congreso Geológico Internacional en Madrid, Eduardo y Francisco Hernández Pacheco dirigieron una excursión a Espartinas. La publicación resultante es un valioso documento descriptivo y fotográfico (Fig. 26).



Figura 26. Foto de 1926 de las salinas, donde se aprecian las balsas, el caserío del antiguo convento y una canalización.

Entre otras informaciones se describe el método de aprovechamiento de sales en distintas épocas del año y la apertura de chimeneas de ventilación sobre las galerías para facilitar la precipitación del sulfato sódico o "compasto" en época invernal.

Durante la Guerra Civil de 1936 las salinas y sus instalaciones sufren importantes daños al convertirse el Barranco de Valdelachica en frente de combate. Tras la batalla del Jarama en febrero de 1937, las tropas republicanas se instalan en avanzadilla en las alturas inmediatas a Espartinas disputando el control de la Cuesta de la Reina y permaneciendo aquí casi hasta el final de la guerra. A excepción de la ermita y parte de un almacén, los demás edificios quedaron destruidos y la producción paralizada.

Terminada la guerra, las salinas volvieron a ponerse en marcha con grandes dificultades en los años 40. En la década de los 50 se realizan obras de reparación y ampliación, en 1956 algunas balsas antiguas permanecen activas y se desarrolla un plan de ampliación de la superficie de evaporación con gran número de pequeñas balsas (Fig. 27).

En los años 60 se produce el declive definitivo de las Salinas de Espartinas con el cese de su producción y la transformación de la ermita y restos de sus dependencias en decorados cinematográficos.



Figura 27. Salinas de Espartinas y su entorno en los años 50 (arriba) y en la actualidad (abajo).

La industria del cine tampoco tuvo continuidad y en la actualidad las instalaciones están prácticamente destruidas (Fig. 28) y sólo pueden observarse a simple vista unos cuantos restos: una balsa calentador, varias balsas de evaporación, las salidas de dos "minas" (denominadas Mina Grande y Mina Chica) por donde afloraba el agua salobre y en donde, actualmente, se acumulan precipitados salinos, además de la casa de administración de las salinas. Además, junto al Arroyo de las Salinas, existen diversas cuevas de gran antigüedad, algunas de las cuales se remontan como mínimo al periodo musulmán (Fig. 29).

Las gestiones realizadas a principios de los años 2000 por miembros de la Sociedad Española de Historia de la Arqueología (SEHA) y de la Asociación cultural "La Torre" de Ciempozuelos, encaminadas a solicitar mayor protección ambiental a estas históricas salinas, dieron como resultado el encargo por parte de la Dirección General de Patrimonio

de la Consejería de las Artes de la Comunidad de Madrid del estudio de viabilidad para la declaración de este espacio como Bien de Interés Cultural (BIC).



Figura 28. Estado actual de una de las balsas de las Salinas de Espartinas, en donde apenas se distingue su contorno.



Figura 29. Cuevas próximas a las Salinas de Espartinas.

Finalmente, debido a su importancia histórica y cultural, el 18 de mayo de 2006, las Salinas de Espartinas fueron declaradas BIC con la categoría de “zona arqueológica”, mediante el Decreto 45/2006 publicado el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid.

Además, estos entornos albergan comunidades vegetales halófilas y gipsófilas extremófilas, capaces de sobrevivir en suelos con elevadas concentraciones de sales, como son los orzagales, entinares, espartales y jabunares. Debido a ello, las Salinas de Espartinas están incluidas dentro del “Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama”, dentro de un área calificada con grado de protección C: “zonas degradadas a regenerar” y su clasificación según el régimen jurídico de la Comunidad de Madrid es de Suelo No Urbanizable Especialmente Protegido (Fig. 30).

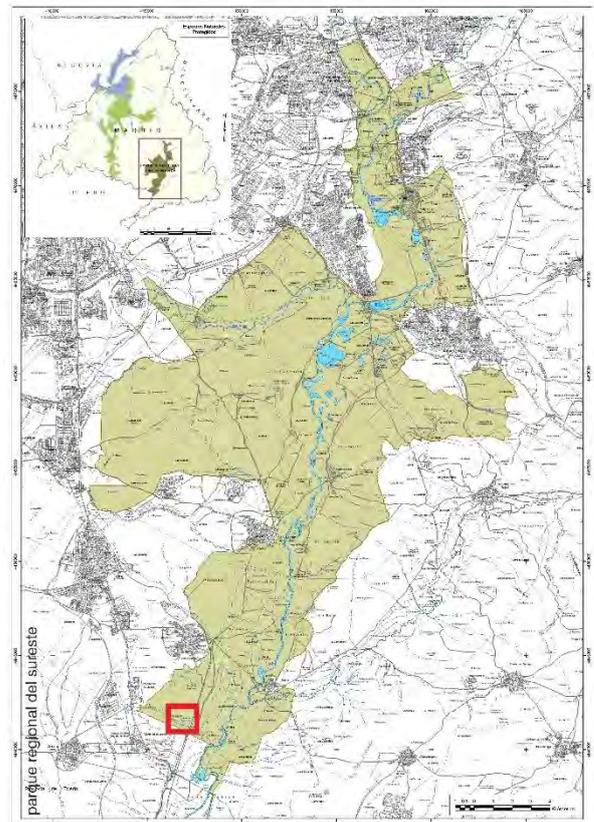


Figura 30. Localización de las Salinas de Espartinas (en rojo) dentro del Parque Regional de Sureste. Fuente: <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/parque-regional-sureste>

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- MADRID 2024

- 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

Queremos agradecer en esta edición la importante colaboración del Ayuntamiento de Ciempozuelos, en especial a Verónica Fuentes, técnica de Turismo del Ayuntamiento, y Daniel Carvajal, miembro de la Sociedad de Amigos de la Historia de Ciempozuelos, por la información facilitada sobre las minas de agua y las Salinas de Espartinas.

Este año también hemos contado con el apoyo de Holcim España como empresa colaboradora. Agradecer las facilidades prestadas para la visita de la gravera de Tranzones, en especial a Pilar Gegúndez, Directora de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Recursos.

Por último, también queremos agradecer el apoyo prestado por Fermín Villarroya, doctor y profesor titular en la UCM y Carlos Camuñas, Técnico Superior del IGME, por la información facilitada para la elaboración del contenido geológico e hidrogeológico de esta guía.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA MADRID 2024



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....

- Alonso-Zarza, A., Calvo, J.P., Silva, P.G. y Torres, T. (2004). Cuenca del Tajo. En: Vera, J.A. (Ed.). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 550-556.
- Ayarzagüena Sanz, M. y Carnaval García, D. (2005). Sistemas de explotación de la sal en las Salinas de Espartinas. *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero SEDPGYM, 71-78.
- Calvo, J.P., Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A., Sanz, M.E. y Rodríguez Aranda, J.P. (1989). Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geológica Hispánica*, 24, 281-298.
- CMAyOT-CM. (2024) Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Com. Madrid. https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/masas_de_agua_subterranea_ver3.pdf
- Carvajal García, D., Tostón Menéndez, F.G. y Valiente Cánovas, S. (2002). Las Salinas de Espartinas (Cienpозuelos, Madrid): Un ámbito de explotación de la sal desde la prehistoria. *Ier. Simposio Latino sobre Minería, Metalurgia y Patrimonio Minero en el Mediterráneo Occidental*. Bellmunt del Priorat, 2002, 53-62.
- Carvajal García, D. (2003). Los descubrimientos minerales en la unidad salina de la Cuenca de Madrid durante el siglo XIX. Historia de una fiebre minera en el bajo Jarama. *IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero Utrillas*, 2003, 365-376.
- Decreto 45/2006, de 18 de mayo, por el que se declara BIC, en la categoría de zona arqueológica “Las Salinas Espartinas”, en el término municipal de Cienpозuelos. BOCM del 24/5/2006 n° 122.
- Del Prado, C. (1998). *Descripción física y geológica de la Provincia de Madrid*. Instituto Geológico y Minero de España, 219 p.
- Díaz-Martínez E. y Rodríguez-Aranda, J.P. (2008). *Itinerarios geológicos en la Comunidad de Madrid*. IGME, Colección Guías Geológicas, n° 1, Instituto Geológico y Minero de España. 192 p.
- Escolano-Sánchez, F., Serna, A.M. y Campo-Yagüe, J.M. (2015). Evaluation of the risk associated with karstic processes in Miocene gypsum in south-eastern Madrid (Spain). *Acta Carsologica*, 44 (2), 251-263.
- IGME. (1975). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja y Memoria N° 582 Getafe. <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=582>
- IGME. (1981). Atlas Hidrogeológico y mapas asociados de la Provincia de Madrid. <https://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/atlas-hidrogeologicomadrid.aspx?language=es>
- IGME. (1997). Mapa Hidrogeológico de España a escala 1:200.000. Hoja y Memoria N° 45 MADRID <http://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Hidrogeologico200Hoja.aspx?intranet=false&id=45>
- IGME. (2001). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja y Memoria N° 605 Aranjuez. <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=605>
- IGME. (2009). Masa de Agua Subterránea 031.007 Aluviales Jarama-Tajuña. En: *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico*. Informe Técnico.
- IGME (2015). *Caracterización hidrogeológica del entorno de Cienpозuelos (Madrid)*. Evaluación de las afecciones por agua subterránea. Informe Técnico.
- IGME. Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Salinas de Espartinas, código TM038. info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=TM038
- IGME. GEODE. Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000 del mapa geológico de España <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geode.aspx>
- Junco, F. y Calvo, J.P. (1983). Cuenca de Madrid. En: *Geología de España. Libro Homenaje a J.M. Ríos*. IGME, Madrid, Vol. 2, 534-542.
- López Carcelén, P. (2004). *Atlas ilustrado de la historia de Madrid*. 80 p.

Martín Álvarez, M. (2005). *El Parque Regional del Sureste de Madrid: flora, fauna, geología, rutas principales*. Ediciones Tierra azul. Serie Los Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad de Madrid, vol. I, 153 p.

Martínez Peñarroya, J. y Vara Izquierdo, C. (2022). *Ciempozuelos subterráneo. Documentación arqueológica de mina de agua en un proyecto de adecuación de saneamiento*. Actas RAM 2022. Reunión de Arqueología Madrileña. Sección de Arqueología del Colegio de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Madrid, 124-135.

Núñez Herrero, M. y Murillo Fragero, J.I. (2004, 2005 y 2006). *Estudio y catalogación del antiguo sistema de abastecimiento hidráulico de Ciempozuelos (Madrid). Origen y transformación de las minas o galerías subterráneas. Fases I, II y III*. Memoria inédita depositada en la Concejalía de Cultura del Ilustrísimo Ayuntamiento de Ciempozuelos.

Página web: Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/parque-regional-sureste>

Real Decreto 3/2023, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-628

Real Decreto Legislativo 1/2001, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2001/07/20/1/con>

Rodríguez Aranda, J.P. y Sanz Montero, M.E. (2007). El Registro sedimentario Neógeno y Paleógeno de la Cuenca de Madrid (Sectores central y oriental): Paleoambientes, Tectónica y Paisaje. *Cuadernos del Museo Geominero*, 8, 487-509.

Valiente Cánovas, S. y Ayarzagüena Sanz, M. (2013). La sal y su importancia en las ocupaciones humanas de un territorio: el ejemplo de Salinas de Espartinas (Ciempozuelos, Madrid). *Uso y gestión de recursos naturales en medios semiáridos del ámbito mediterráneo: II Encuentros Internacionales del Mediterráneo*. PHICARIA, 2014, 117-132.

Valiente Cánovas, S. y Ramos, P. (2009). Las Salinas de Espartinas: un enclave prehistórico dedicado a la explotación de la sal. En: *La explotación histórica de la sal: investigación y puesta en valor*. Sociedad Española de Historia de la Arqueología, 167-182.

Vera, J.A. (Ed.) (2004). *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 884 pp.

Villarroya, F., Senderos, A.J. y Alcázar, M. (2008). Las «minas de agua» de Ciempozuelos (Madrid). *Geogaceta*, 44, 175-178.

Villarroya, F., Senderos, A.J. y Alcázar, M. (2009). Vinculación de Ciempozuelos (Madrid) con sus aguas subterráneas. *Observatorio Medioambiental*, 12, 207-238.



El escudo heráldico del municipio de Ciempozuelos contiene un canal (cañal), posiblemente refiriéndose a sus minas de agua, representando la importancia histórica del agua en la vida de sus habitantes.



Málaga

Málaga

HIDROGEODÍA

2024

COORDINA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

23 de marzo 2024

Sierra Almijara: “fábrica de agua, fábrica de luz”

EXCURSIÓN GRATUITA
Y GUIADA

PUNTO DE ENCUENTRO:
Avda. Andalucía, 12 (frente a la farmacia)
Canillas de Albaida

<https://maps.app.goo.gl/dfMAwvndmRzVi8ow7>

IMPRESINDIBLE
RESERVA PREVIA
juanjrm@uma.es

Excursión de 3 horas aprox.

Información detallada en:

<https://www.iah-ge.org/hidrogeodia-2024/>

Se ruega:
Respetar la hora asignada
Llevar agua, ropa y calzado adecuado
Compartir vehículos si es posible

Sierra Almijara y cabecera Río Turvilla. Fuente: Wikiloc

ORGANIZA:



COLABORAN:



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024



¡PARTICIPA!



III Concurso de Fotografía

hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024



EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la **Hidrogeología** (rama 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 promovida 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/as especializados/as, que explican a los asistentes los principales aspectos hidrogeológicos del itinerario.

En Málaga, el **Hidrogeodía 2024** se celebra en **Canillas de Albaida** (Fig. 1), una localidad con un patrimonio medioambiental y cultural notorio, situada en la Comarca de la Axarquía, a unos 50 km al ENE de la capital de la provincia. En concreto, la excursión del Hidrogeodía se centra en el extremo occidental de **Sierra Almijara**, en la cabecera del río Turvillá. Aquí se encuentra la **Fábrica de la Luz de Ntra. Sra. del Carmen**, una antigua central hidroeléctrica que aprovechaba el agua subterránea que brota en el lecho del río, y el desnivel del terreno, para la generación de electricidad. Sierra Almijara es uno de los acuíferos más relevantes de la región en cuanto a superficie de recarga (273 km² distribuidos entre las provincias de Málaga y Granada) y disponibilidad de recursos hídricos. No en vano, de sus aguas subterráneas se abastece la

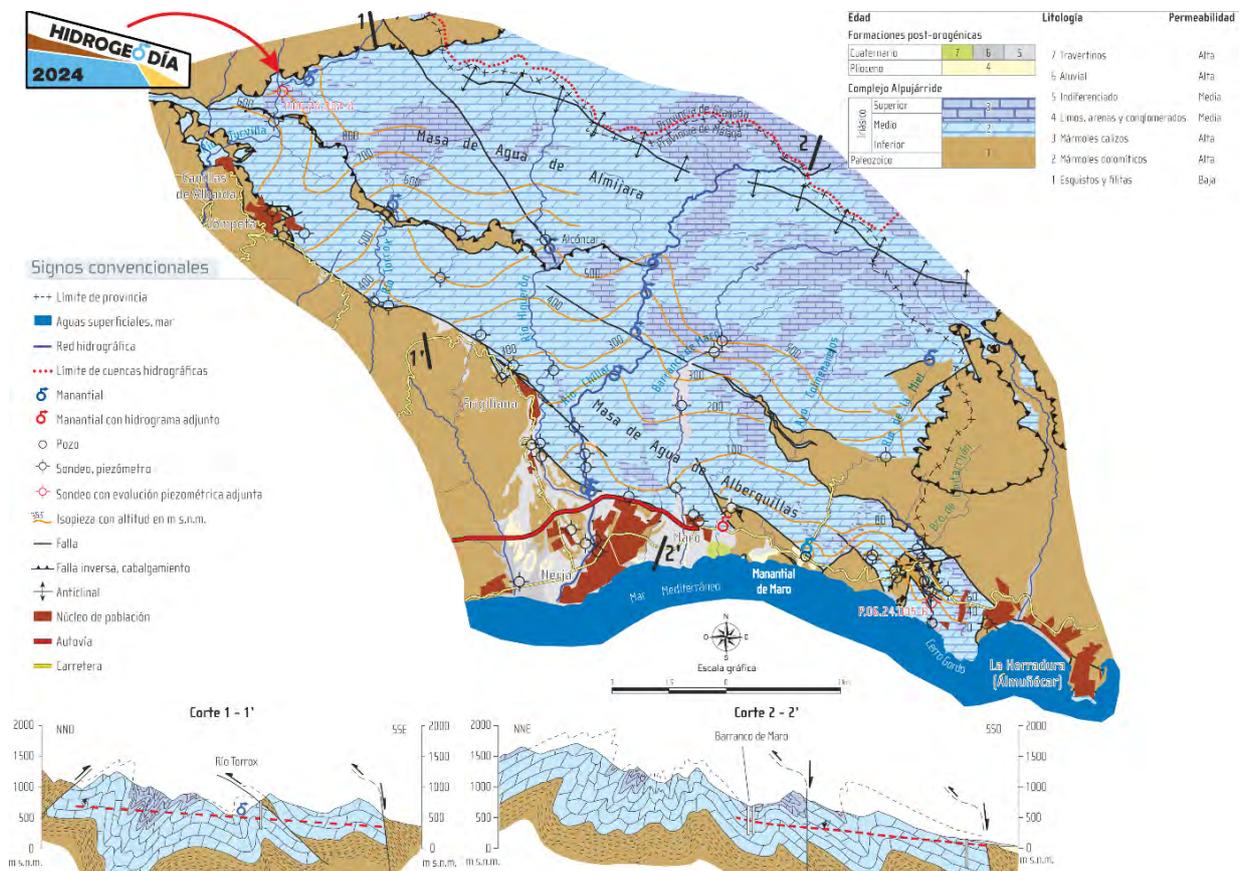


Figura 1: Esquema geológico - hidrogeológico de Sierra Almijara y áreas próximas. Tomado de Pérez y Andreo (2007)

población de **Canillas de Albaida**, así como la de otros municipios de la Axarquía, como Cómputa, Árchez, Arenas, Sayalonga, Torrox, Frigiliana y Nerja. Hasta época reciente, los abastecimientos se cubrían con el agua procedente de fuentes, galerías o derivaciones en los cauces, por medio de acequias, aprovechando el desnivel del terreno. Esta situación ha ido cambiando paulatinamente hacia una mayor explotación mediante sondeos para completar o satisfacer totalmente las necesidades hídricas.

¿Qué vamos a ver?!

Los aspectos más relevantes que se tratarán en el **Hidrogeodía Málaga 2024** son:

1. Contextos geológico y geomorfológico del entorno de Canillas de Albaida
2. Consideraciones sobre el acuífero carbonático de Sierra Almirajara y las rocas circundantes
3. El origen del agua de los ríos axárquicos
4. ¿Qué son los “recursos” y las “reservas” de agua subterránea?
5. El uso del agua subterránea a lo largo del tiempo
6. Las “fábricas de luz” y el patrimonio hidráulico asociado a las aguas subterráneas
7. Consideraciones sobre el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la Axarquía.

Contexto geológico y tipos de rocas

Sierra Almirajara es un relieve montañoso con elevadas pendientes y bruscas variaciones de altitud, desde 0 m s.n.m., en la costa (Paraje

Natural de Cerro Gordo), hasta 1.831 m s.n.m., en pocos kilómetros de distancia (Fig. 1). Tanto Sierra Almirajara como la vecina Sierra Tejada están formadas por rocas de naturaleza carbonatada, **mármoles dolomíticos** y **calizos** de edad Triásico (entre 230 y 200 millones de años –Ma-), con 700 – 800 m de espesor. Estas rocas descansan sobre **filitas** y **esquistos (metapelitas)** de edad Paleozoico a Triásico Inferior (entre 350 y 230 Ma), las cuales aparecen fundamentalmente al S y O del borde occidental de Sierra Almirajara, en la ladera meridional de Sierra Tejada, y también en afloramientos estrechos y alargados en el interior de Sierra Almirajara (Fig. 1). Localmente se pueden observar acumulaciones de fragmentos sueltos de rocas (**canchales**) en la base de las laderas, y **gravas, arenas y limos** asociados a los cauces. Ambos conjuntos de sedimentos son de edad Cuaternario (entre 2,6 Ma - actualidad).

Los mármoles son las rocas que forman el acuífero de Sierra Almirajara (Fig. 1), mientras que las metapelitas definen la base y los límites del mismo.

Propiedades acuíferas de las rocas

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

La **porosidad**, es decir, la proporción de huecos que hay en una formación rocosa

El paisaje serrano de la Axarquía

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 huecos que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**). Cuando se trata de rocas duras, como los mármoles de Sierra Almirajara o de Sierra Tejeda, su porosidad original es baja o muy baja. Sin embargo, estos materiales 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. 2A). Además, la disolución por el agua –**karstificación**– que sufren estas rocas por su naturaleza calcárea ensanchan progresivamente las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 2B). En este contexto se forman los **acuíferos carbonáticos**.



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

En cambio, el agua ocupa y fluye a través de huecos que quedan entre los granos en los materiales sueltos, como los que aparecen en los lechos fluviales (Fig. 2C). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuíferos detríticos**, como los existentes en los valles bajos de los ríos Vélez o Guadalhorce.

Por otro lado, la existencia de rocas de **baja permeabilidad** (filitas, esquistos), con escaso interés acuífero, es clave para definir los **límites** y la **geometría** de los acuíferos.

El relieve actual de las sierras Tejeda y Almirajara es fruto de los efectos combinados de varios **procesos geomorfológicos** que han modelado la superficie rocosa a lo largo del tiempo. Las crestas agudas y valles profundos, típicos de estas sierras, son producto de la elevación del terreno por la **tectónica**, de **cambios en el nivel del mar** y, sobre todo, de la **erosión del agua** ligada a ríos y arroyos. El modelado se completa con desprendimientos y deslizamientos provocados por la **gravedad** y por los efectos de la **acción del hielo y deshielo** en las partes más elevadas de las sierras.

En este sentido, la intensa fracturación de las rocas ha favorecido, en gran medida, la erosión de la superficie de los mármoles y, en consecuencia, la configuración actual del relieve. A modo de ejemplo, se puede mencionar el caso extremo de mármoles tan **tritutados** y **fracturados** que la erosión fluvial resultante recuerda a la que se produce en materiales detríticos arenosos.

Por otro lado, los efectos de la **meteorización superficial** sobre terrenos constituidos por rocas solubles como calizas, dolomías, mármoles, yesos y otras sales dan como resultado 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. Sin embargo, los mármoles dolomíticos y calizos de Sierra Almirajara están muy fisurados pero poco

karstificados, tanto en superficie como en profundidad, por lo que las formas del paisaje kárstico no son muy numerosas.

¿Cómo funcionan los acuíferos carbonáticos?

La red de fracturas y la naturaleza soluble de las rocas calcáreas confiere a los acuíferos carbonáticos, como el de Sierra Almirajara, cierta complejidad. El **agua de lluvia**, principal fuente de alimentación del acuífero, se **infiltra de forma difusa** a través del suelo y los afloramientos rocosos desnudos. Puntualmente también lo hace de forma **concentrada**, a través de orificios de la superficie (sumideros kársticos) por los que el agua de escorrentía entra directa y rápidamente en el acuífero (Fig. 3).

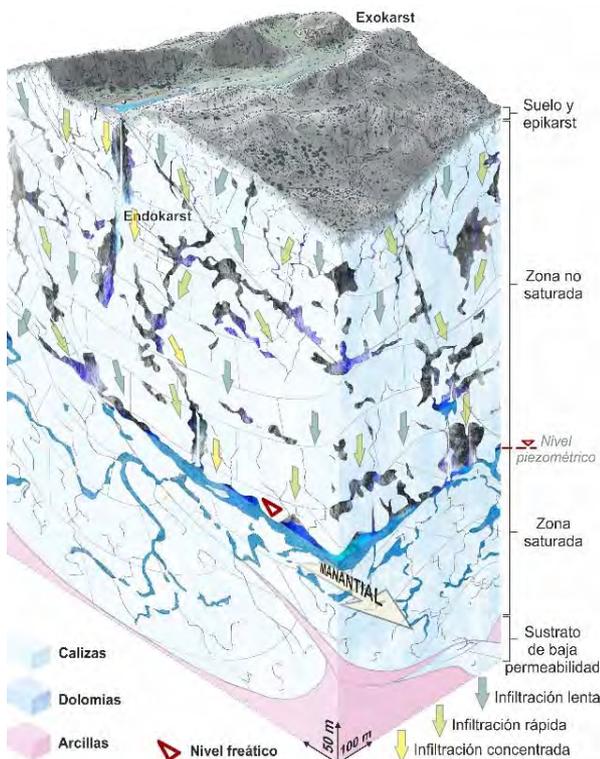


Figura 3: Representación esquemática del interior de un acuífero carbonático-kárstico-

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. 3). 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 encuentra la **zona saturada**, donde huecos, fracturas y conductos están totalmente llenos de agua. Aquí, el agua subterránea sigue moviéndose, aunque de manera más lenta (Fig. 3). La superficie que separa la zona no saturada de la zona saturada se denomina **nivel freático**.

En el caso de Sierra Almirajara, el flujo subterráneo es **lento y difuso**, porque los mármoles triásicos que forman el acuífero están muy fisurados y poco karstificados.

Finalmente, el agua que ha circulado por el interior del acuífero emerge de nuevo en la superficie por **fuentes, surgencias o manantiales**, en el lecho de los **cauces**, o de manera artificial mediante bombeo en **sondeos y pozos**. Los manantiales aparecen en puntos donde el nivel freático del acuífero intersecta la superficie topográfica. Son, por tanto, lugares de surgencia y drenaje natural puntual del agua subterránea infiltrada y almacenada en el acuífero.

Aunque existen manantiales relevantes en Sierra Almirajara, como el de Maro (Fig. 1), o las surgencias del río Chillar, la mayor parte de la descarga natural del acuífero tiene lugar de **manera difusa**, hacia los cauces que discurren de N a S por la ladera meridional de la sierra: ríos Turvilla, Torrox, Higuerón y Chillar (Fig. 1). Los cauces que reciben aportes de agua subterránea del acuífero, en un tramo más o menos definido, se denominan “**ríos**

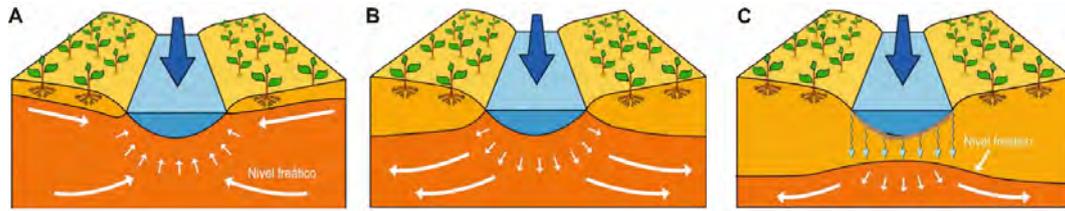


Figura 4: Representación esquemática de tres situaciones que relacionan las aguas subterráneas y los ríos: a) cauce ganador, b) y c) cauces perdedores

ganadores” (Fig. 4A). Se distinguen fácilmente porque su caudal aumenta paulatinamente a medida que nos movemos río abajo. En contraposición, los cauces que pierden caudal de agua por infiltración de esta en el lecho se denominan **“ríos perdedores”** (Fig. 4 B y C).

Los ríos de la ladera meridional de Sierra Almirajara son ganadores en mayor o menor medida y en buena parte de su recorrido

sobre los afloramientos carbonatados (Fig. 5). Esto se debe al encajamiento de la red fluvial, que intersecta al nivel freático del acuífero, y favorece la descarga más o menos difusa hacia los cauces. Los ríos se convierten así en **ejes de drenaje** preferenciales de las aguas subterráneas, lo que permite la presencia de caudal todo el año, incluso en verano y en periodos de sequía como el actual. La longitud del tramo ganador de cada uno de los ríos de Sierra Almirajara estará condicionada por el

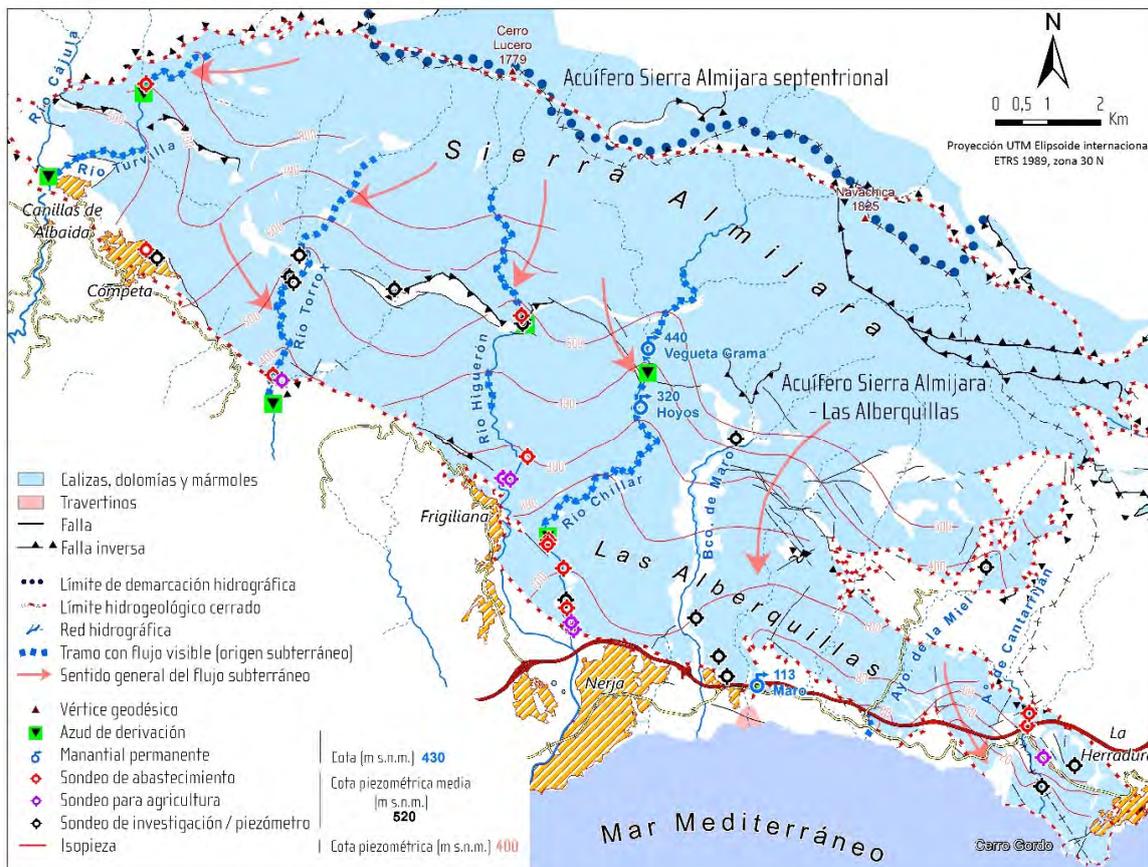


Figura 5: Esquema hidrogeológico de Sierra Almirajara, con indicación de los tramos de ríos ganadores

grado de encajamiento del cauce en el macizo rocoso y por la cota mínima de contacto entre los mármoles y las metapelitas que limitan por el SO al acuífero (Fig. 5): 518 m s.n.m. en el río Turvilla, 323 m s.n.m. (Torrox), 150 m s.n.m. (Higuerón), 80 m s.n.m. (Chillar) y 25 m s.n.m. (arroyo de la Miel).

Recursos vs reservas

Cuando un acuífero funciona en **régimen natural**, el volumen de agua que entra en él es igual al de sus salidas (Fig. 6A). 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 ríos. Este **volumen renovable** de agua constituye los **recursos hídricos** del acuífero (Fig. 7), que es **variable** cada año en función de las precipitaciones.

En cambio, el agua subterránea almacenada en el acuífero por debajo de la cota de manantiales y cauces ganadores se denomina **reservas**. Se trata de un **volumen estático** determinado por la geometría del acuífero y las características hidráulicas de las rocas, accesible tan solo mediante sondeos y bombes (Fig. 7).

Recursos y reservas constituyen el volumen total de agua subterránea de un acuífero.

Uso tradicional e “industrial” del agua subterránea

La abundancia de agua en Sierra Almirajara y en el resto de macizos de la Axarquía motivó desde antaño un aprovechamiento de los

recursos hídricos para diversos fines. Muestra de ello es la red de acequias presentes en el municipio de Canillas de Albaida, encargadas de la distribución del agua para el riego de las parcelas circundantes al pueblo. Precisamente, Canillas o *cannula* en latín significa canalización del agua, lugar por donde transita y se reparte el agua, lo que demuestra la importancia de estas infraestructuras en la historia del municipio.

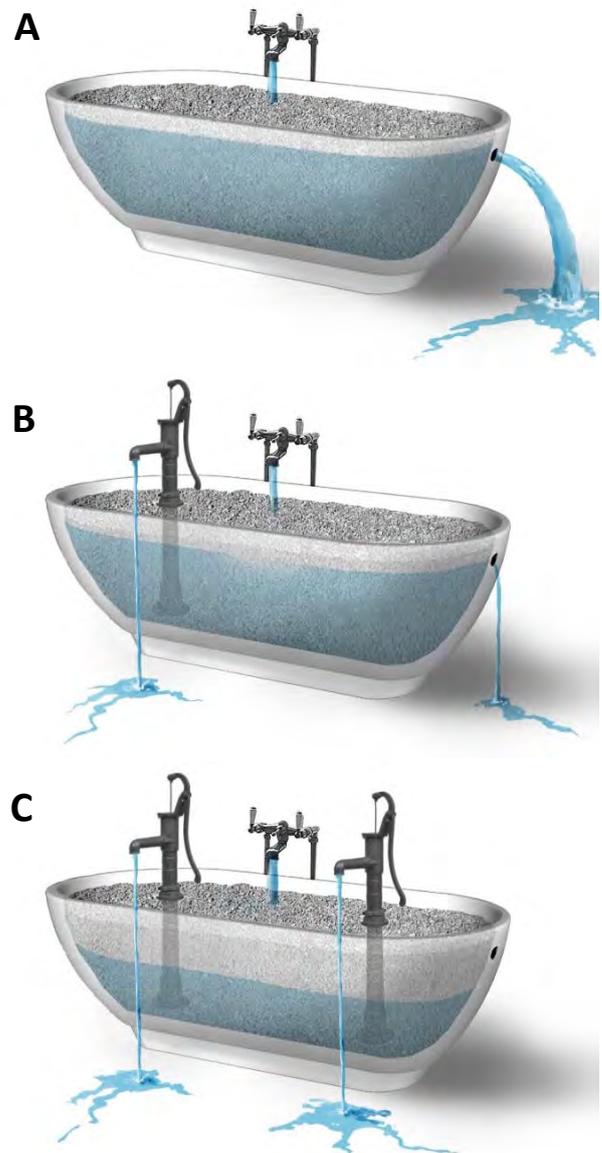


Figura 6: Esquema conceptual de gestión de un acuífero, bajo tres situaciones de explotación: funcionamiento en régimen natural (A). Explotación (B). Sobreexplotación (C). Imágenes cedidas por Sergio Martos Rosillo y Rocío Spin

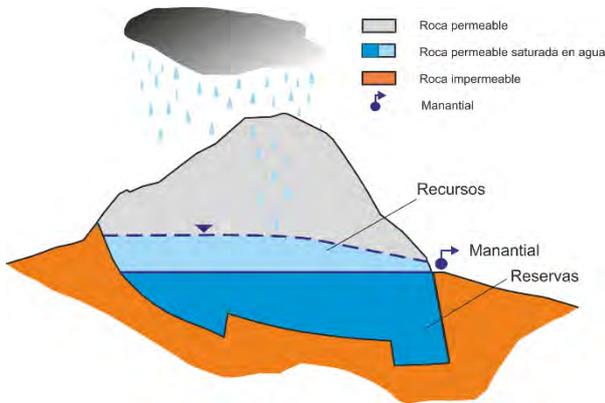


Figura 7: Esquema conceptual de un acuífero con recursos renovados anualmente, drenados por el manantial, y reservas subterráneas contenidas por debajo de la cota de surgencia. Tomado del Proyecto Conoce tus Fuentes

De entre todas las acequias que discurren por Canillas de Albaida, destaca la **Acequia Real**, que toma sus aguas del río Turvilla, en las inmediaciones de la Fábrica de la Luz (Fig. 8). El adjetivo “Real” hace alusión a las 15 alquerías, incluidas Canillas de Albaida y Cómpea, que tras la conquista castellana fueron villas de Realengo.

Sin embargo, los mejores ejemplos de patrimonio hidráulico lo encontramos en las pequeñas centrales hidroeléctricas, conocidas como “**fábricas de luz**”, que proliferaron a comienzos del siglo XX junto a algunos ríos en distintas zonas montañosas de Andalucía. El objetivo era el de introducir la electricidad en las poblaciones cercanas. Estas instalaciones (de entre 50 y 80 Kw) estaban compuestas por un **azud de derivación** y el respectivo **canal** asociado a la central hidroeléctrica. En muchas ocasiones, se aprovechaba una instalación preexistente (un molino, un aserradero, un batán, etc.) como espacio para la central.

La **Fábrica de la Luz** de Canillas de Albaida se inauguró en 1915, en la parte baja del pueblo, y estuvo en funcionamiento durante 5 años. Tras la Guerra Civil las instalaciones se trasladaron a su emplazamiento definitivo, en la cabecera del río Turvilla (Figs. 8 y 9), a un edificio utilizado previamente como aserradero. El edificio principal, de planta

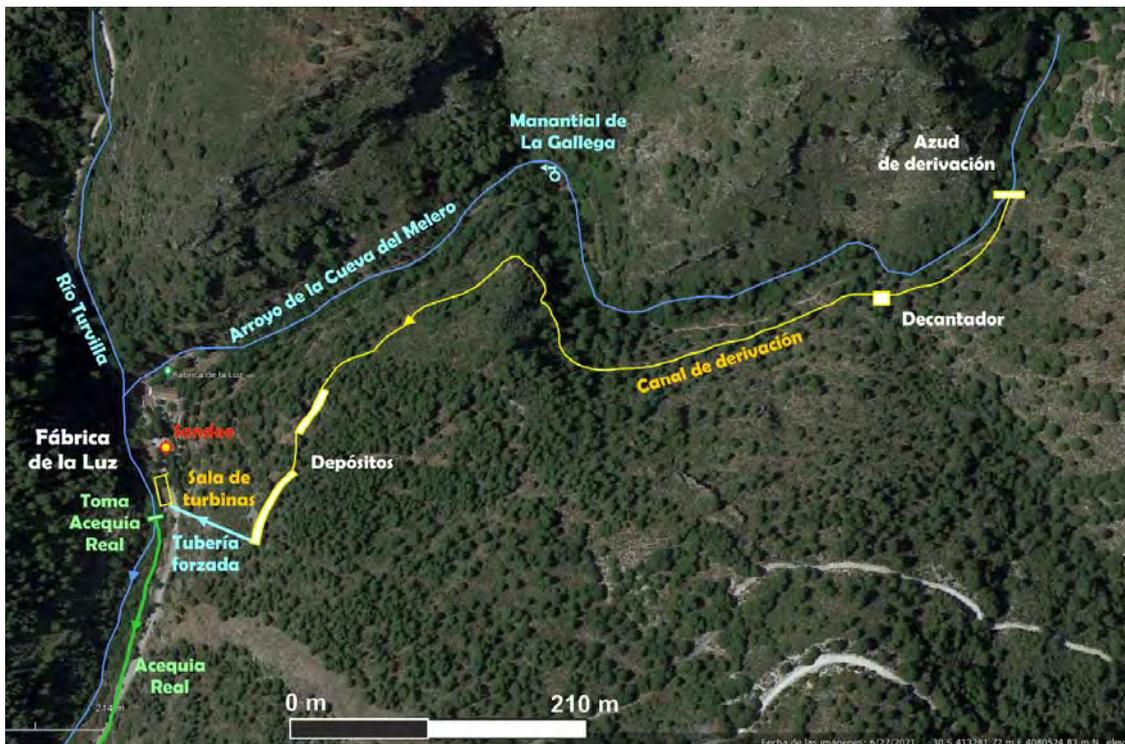


Figura 8: Entorno de la Fábrica de la Luz. Se representan las infraestructuras hidráulicas presentes en la zona. Google Earth

rectangular y paralelo al cauce del río, acogía las **turbinas**. En la parte posterior del edificio se encontraba la entrada de la tubería que suministraba agua a las turbinas desde un depósito situado a cota 767 m s.n.m. El **salto de agua** –desnivel- era del orden de 70 m. El agua llegaba hasta varios depósitos a través de un canal de 1.100 m de longitud, cuyo origen estaba en un azud de derivación construido en el arroyo de la Cueva del Melero (Fig. 8), afluente del río Turbilla. La Fábrica de la Luz cesó su actividad en 1966.

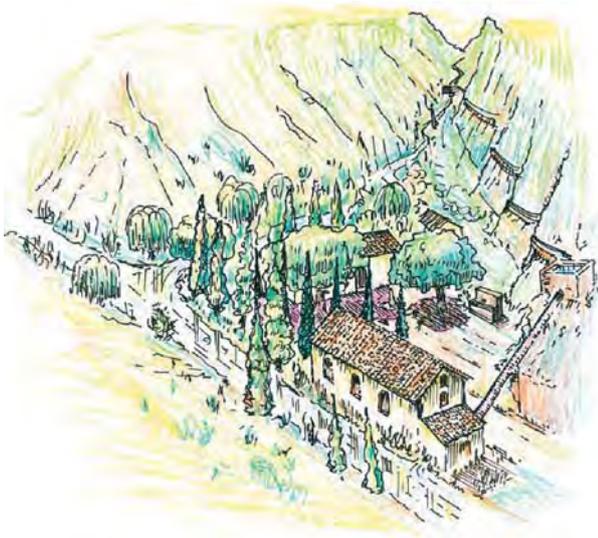


Figura 9: Vista general de la Fábrica de la Luz. Dibujo de Antonio Salguero. Tomado de Santiago Ramos, A. y Guzmán Valdivia, A. (2007)

Otras “fábricas de luz”, con sus respectivos azudes de derivación y canales asociados existieron en los valles de los ríos Chillar (hasta 3), Torrox, Higuero, por citar algunas. Hoy en día constituyen ejemplos de un patrimonio industrial muy valioso, digno de preservar, que no hubiera podido existir sin los recursos subterráneos de los acuíferos que alimentan a los ríos de la Axarquía.

Además de recursos, en el acuífero de Sierra Almijara hay reservas de agua almacenadas por debajo de la cota de los cauces, que deben ser abundantes dado el espesor que alcanzan los mármols (geometría del acuífero) y las características hidráulicas favorables al almacenamiento. Parte de estas reservas son **explotadas**, junto con los recursos, mediante sondeos situados en el borde meridional del acuífero de Sierra Almijara, en los valles de los ríos Turvillá, Torrox, Higuero, Chillar y en el barranco de Cantarriján (Fig. 5), donde el nivel freático se alcanza a menor profundidad. Uno de estos sondeos está situado en las inmediaciones de la Fábrica de la Luz (Fig. 8). Tiene 200 m de profundidad y el agua extraída se utiliza para el abastecimiento de Canillas de Albaida, además de al municipio de Arenas.

La concentración de puntos de extracción de aguas subterráneas en algunos sectores de Sierra Almijara (Fig. 5) provoca **efectos indeseados** en el acuífero, como **descensos piezométricos** localmente importantes, que afectan al rendimiento de los sondeos y aumentan el gasto en energía, así como riesgo de intrusión marina (sector de Cantarriján-Cerro Gordo, Fig. 5).

En caso de explotación intensiva, desordenada y abusiva de las reservas de agua subterránea (**sobreexplotación**), los citados descensos llevarán aparejado el agotamiento completo de los manantiales (Fig. 6C), como los que antiguamente existían en el cauce bajo del Chillar (Fig. 5), una circunstancia que suele ir acompañada de una lógica contestación social, sobre todo si los manantiales sustentan espacios protegidos –como es el caso- desde el punto de vista medioambiental o cultural.

Es fundamental tener muy presente que la sobreexplotación de un acuífero implica la **anulación del caudal** de base de los ríos, con el consiguiente impacto ambiental y

afección a los usos tradicionales del agua como el riego de las huertas a través de la red ancestral de acequias.

En otras ocasiones, la sobreexplotación de los recursos y reservas subterráneas de los acuíferos genera problemas de **subsistencia** del terreno o **pérdida de calidad** del agua (aumento de la salinidad, arrastre de finos - turbidez-), que se suman a los asociados a la disminución de cantidad.

En definitiva, es recomendable la aplicación de **medidas de gestión** que ayuden a prevenir situaciones de explotación intensiva de los acuíferos. Es más, dada su importancia estratégica como reservorio de agua en la comarca de la Axarquía, el agua subterránea del acuífero de Sierra Almirajara debería protegerse y reservarse exclusivamente para abastecimiento urbano, siempre que no se produzca un crecimiento urbanístico excesivo, y para el mantenimiento de los caudales de los ríos de los que depende el sostenimiento de los ecosistemas de la región.

Consideraciones sobre el HIDROGEODÍA 2024

La excursión del **Hidrogeodía Málaga 2024** tiene lugar en un espacio natural protegido, 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 Málaga 2024**”, en especial al **Exmo. Ayuntamiento de Canillas de Albaida** por la ayuda ofrecida en la organización de la misma.

ORGANIZA:



COLABORAN:



Para saber más...

Andreo, B. y Carrasco, F. (1996): *Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja. En: Geología de la Cueva de Nerja, tomo 3, pp. 163 – 187. ISBN: 84-604-6079-7.*

Benavente, J. y Almécija, C. (1993): *Estudio geomorfológico del entorno de la Cueva de Nerja. En: Geología de la Cueva de Nerja. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: pp. 117-158. Patronato de la Cueva de Nerja.*

Castillo Martín, A. (Coord.) (2008): *Manantiales de Andalucía. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 416 pp.*

Fernández del Río, G., Castillo, E., Delgado, J. y Villalobos, M. (1992): Evaluación de recursos hídricos de las sierras Tejeda y Almijara (Málaga y Granada). En: *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XV: pp. 241-256.

Pérez-Ramos, I. y Andreo, B. (2007): Sierra Almijara (M.A.S. 060.024)-Alberquillas (M.A.S. 060.063). En: Durán, J.J. (Coord. general), *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*, tomo 2, 143-148. Instituto Geológico y Minero de España; Diputación de Málaga, Madrid. 220 pp.

Sanz de Galdeano, C. y López-Garrido, A.C. (2003): Revisión de las unidades alpujarrides de las sierras de Tejeda, Almijara y Guájares (sector central de la Zona Interna Bética, provincias de Granada y Málaga). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 16(3-4): 135-149.

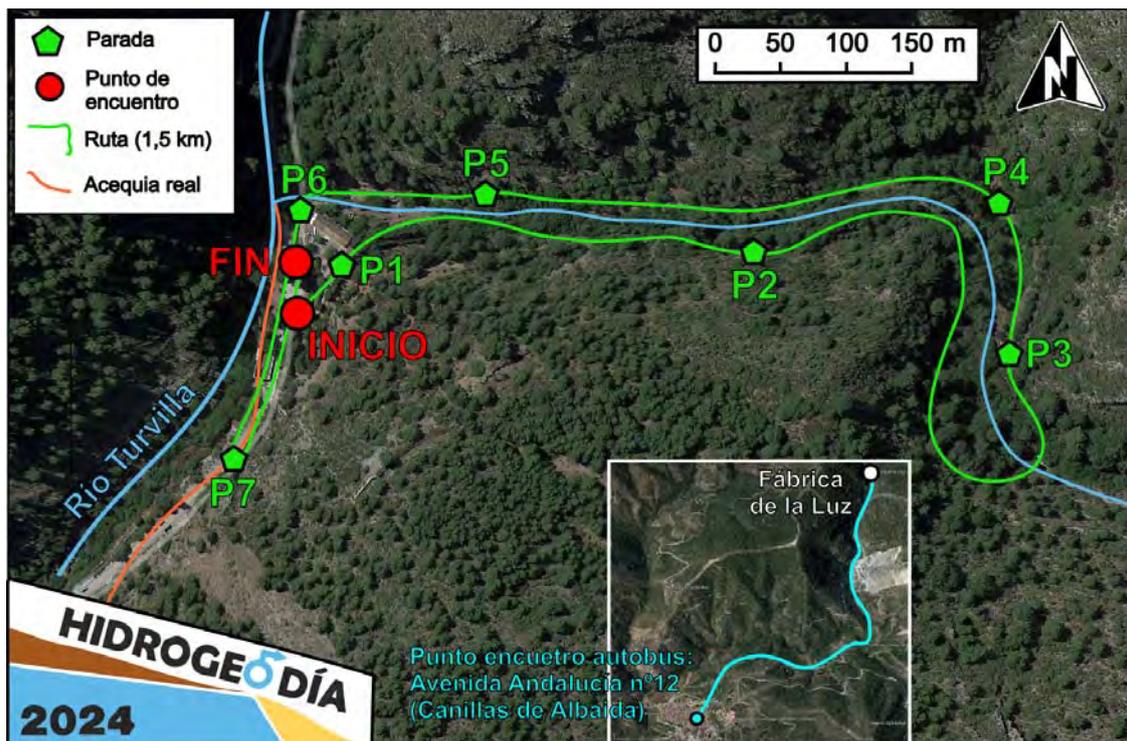
Santiago Ramos, A. y Guzmán Valdivia, A. (2007): Axarquía. *Patrimonio Industrial*, Málaga, 2007.

SGOP (1991): Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guájares (Málaga y Granada). Servicio Geológico de Obras Públicas. Informe inédito. 245 pp.

Los monitores del Hidrogeodía 2024

José María Ávila Marín
 Juan Antonio Barberá Fornell
 Javier Buera Cuerva
 Beatriz de la Torre Martínez
 Antonio Fermín Castro
 Charo García Cuadra
 José Manuel Gil Márquez
 Marta Llamas Dios
 Ana Isabel Marín Guerrero
 Pedro Marín Troya
 José Francisco Martín Rodríguez
 Alejandro Millán Madrid
 Matías Mudarra Martínez
 Adrián Palomino Gómez
 Juan José Rovira Medina
 Damián Sánchez García

Itinerario HIDROGEODÍA Málaga 2024





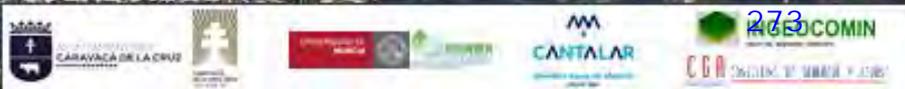
Murcia

Los manantiales de Caravaca de la Cruz: acuíferos, ciencia, leyendas e historia

ORGANIZAN:



COLABORAN:



EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una actividad de divulgación de la Hidrogeología, ciencia encargada del estudio de las aguas subterráneas y su relación con el medio biótico y abiótico. Con esta jornada se trata de poner de manifiesto la profesión del hidrogeólogo/a para mostrar el día a día de nuestro trabajo y poner en valor las aguas subterráneas tan desconocidas y a la vez tan importantes en áreas con escasez de recursos.

La actividad 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 se celebra con motivo **del Día Mundial del Agua (22 de marzo)**. Consiste en **actividades de divulgación abiertas al público en general, gratuitas y guiadas por hidrogeólogos/as**.

ITINERARIO

En la Región de Murcia, el Hidrogeodía de 2024 **“Los manantiales de Caravaca de la Cruz: acuíferos, ciencia, leyendas e historia”** recorrerá un sector del noroeste de la Región de Murcia, zona muy rica hidrogeológicamente pues cuenta con 252 manifestaciones de aguas subterráneas, de las cuales 58 se encuentran dentro del término municipal caravaqueño, entre ellas se han seleccionado 3 por sus valores hidrogeológicos, etnográficos y usos.

El punto de partida y final de nuestra jornada será la plaza Circular de Murcia y el recorrido se realizará en autobús.

La **primera parada** será en Archivel, se subirá al cerro de las Fuentes para realizar una breve descripción de la geología e hidrogeología de la zona disfrutando de la panorámica.

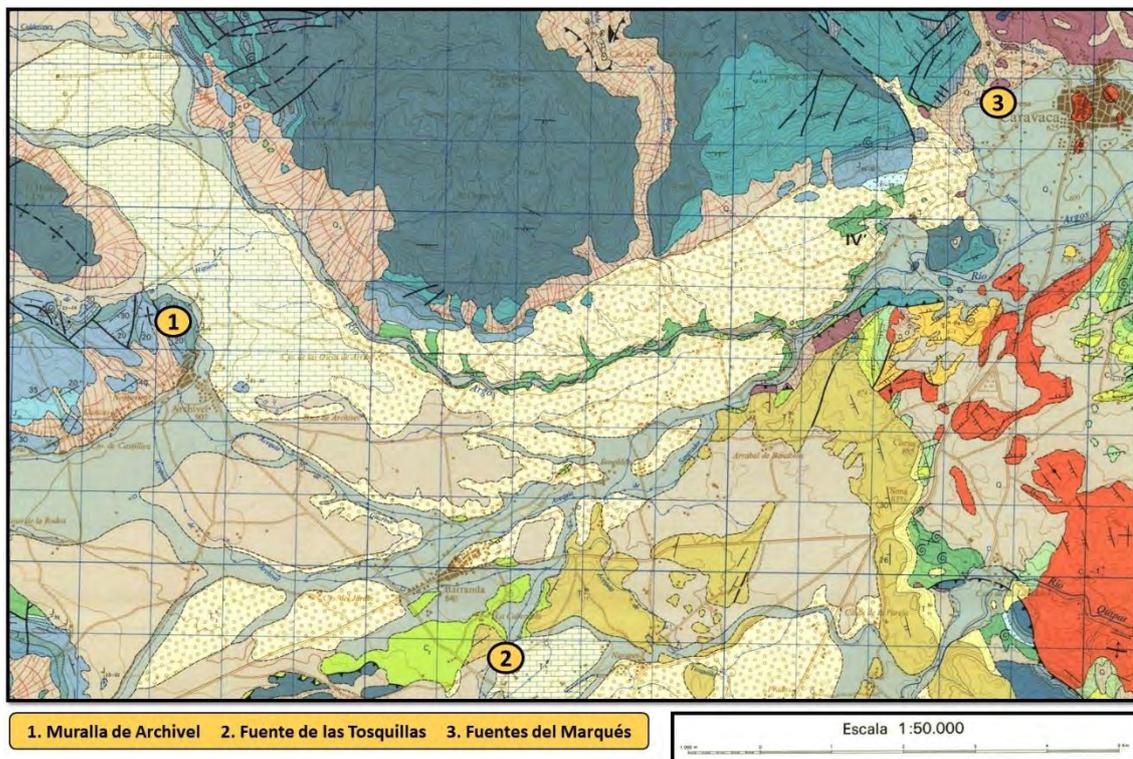


Figura 1. Mapa geológico con la localización de las surgencias a visitar ([MAGNA 50 - Hoja 910](#)).

A continuación, se bajará a conocer la hidrodinámica e hidroquímica de la **fuentes de La Muralla de Archivel**, con sus numerosos usos desde tiempos históricos hasta la actualidad.

La **segunda parada** será en la **fuentes de Las Tosquillas**, en Barranda. Se mostrará cómo funciona este manantial, de donde vienen sus aguas y a dónde van. En esta parada se aprenderá un poquito sobre las herramientas que utilizan los hidrogeólogos/as para conocer los acuíferos.

En la **última parada** disfrutaremos de un pequeño paseo por el paraje de **las Fuentes del Marqués**. Conoceremos el sistema hidráulico y surgencias que han alimentado este entorno y que han permitido todo el desarrollo de edificios travertínicos, numerosos usos, leyendas y tradiciones.

En la figura 1, sobre el mapa geológico, se han ubicado las 3 paradas del recorrido.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Caravaca de la Cruz y sus pedanías están rodeadas de relieves de la Cordillera Bética. Para explicar el origen de los materiales geológicos y la estructura de la cordillera primero hay que entender que ésta se puede dividir en dos dominios geológicos diferentes: la Zona Externa y la Zona Interna. Durante la jornada de campo caminaremos únicamente por la Zona Externa de la Cordillera. Este dominio geológico es de carácter sedimentario, compuesto por rocas como las dolomías, calizas, calizas margosas y margas con edades comprendidas entre los 251-66 Ma, es decir, mesozoicas (Figura 1). La orogenia Alpina es el proceso tectónico responsable de la elevación de estos relieves.

Dentro de las Zonas Externas se diferencian dos grandes divisiones: el Prebético (ambientes marinos someros) y el Subbético (ambientes marinos pelágicos) (Vera, 2004). Todos estos

materiales descansan sobre unos materiales arcillosos, con rocas evaporíticas (yesos) y carbonatos de colores llamativos más antiguos formados durante el Triásico (200-250 Ma).

Ante la secuencia de materiales descritos, si tratamos de reconstruir la historia geológica de estos parajes, comenzaríamos en el Triásico con una llanura inundada por el mar, afectada por periodos de desecación que propició la formación del precipitado de sales (rocas evaporíticas).

Durante el Jurásico (desde 200 a 145 Ma) se produjo una gran invasión marina que provocó un cambio radical en las condiciones geológicas formándose grandes plataformas de carbonatos que son las hoy constituyen la mayoría de las montañas que se encuentran en Caravaca. Esto también se vio impulsado por la rotura de la corteza continental y la apertura del Mar de Tetis. Esta tendencia hacia mares más profundos continuó su curso durante el Cretácico (145 a 66 Ma), época en la que destacan depósitos más profundos.

Como curiosidad, el final de este periodo geológico lo establece el impacto de un gran meteorito que provocó una extinción masiva de seres vivos, entre ellos los dinosaurios y los ammonites, como consecuencia del efecto invernadero producido tras el impacto y la nube de polvo que oscureció la atmósfera. Esto quedó registrado como una fina capa de arcilla negra con la famosa anomalía de iridio, conocida como la Capa Negra que se encuentra en el Barranco del Gredero de Caravaca, y se trata de un Lugar de Interés Geológico de importancia mundial.

Durante los siguientes millones de años se produjo la retirada progresiva del nivel del mar y la formación de sucesivas plataformas carbonatadas. La Orogenia Alpina se hizo patente en este territorio con el comienzo del plegamiento de todos los materiales previamente generados, salvo los triásicos que por su plasticidad actúan como nivel de despegue, dando como resultado la estructuración de las Cordilleras Béticas, tal y como las conocemos en la actualidad. Una vez emergidos

los materiales comienza el efecto de los procesos geológicos externos, que erosionan los relieves y depositan los sedimentos en las cuencas intramontañas, convirtiendo esas rocas mesozoicas en sedimentos fluviales y aluviales neógenos y cuaternarios.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL NOROESTE

La comarca del noroeste de la Región de Murcia es una de las zonas con mayores reservas hídricas de toda la Región y con un gran número de surgencias de aguas subterráneas. Se trata de manantiales kársticos que, en muchos casos, cuentan con gran belleza paisajística, además, de un importante valor etnográfico (López Bermúdez y Sánchez Fuster, 2010).

Pero antes de hablar de cada uno de los manantiales objeto de visita introduciremos el marco hidrogeológico.

km². Dentro de esta masa se han identificado 9 acuíferos, es decir, 9 “paquetes” de materiales permeables, que permiten que circule el agua a través de ellos. Tales materiales son las calizas y dolomías mesozoicas (Figuras 1 y 2).

La recarga de estos acuíferos se produce, principalmente, por la infiltración del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables. Existen otras entradas menores debidas a la infiltración de las aguas de excedentes de riego, así como la infiltración de caudales superficiales en eventos de precipitación intensos. Entre los acuíferos que componen la masa hay transferencias laterales de unos a otros.

Las descargas naturales se realizan, fundamentalmente, a través de manantiales, y por explotación por bombeo.

En la figura 3 se indica la localización de los principales manantiales y su caudal medio.

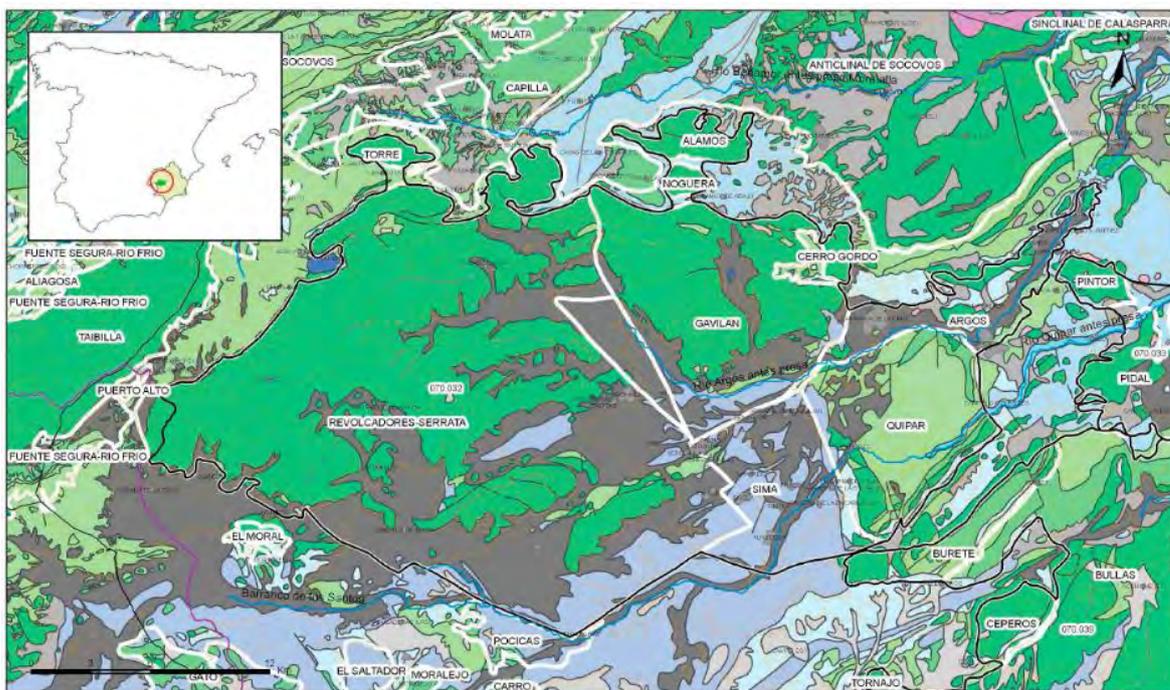


Figura 2. Mapa de permeabilidades sobre el que se ha representado la delimitación de la masa de agua de Caravaca (070.036) y de los acuíferos que la componen (CHS, 2021).

Todos los manantiales con los que se familiarizarán los asistentes al Hidrogeodía 2024 son surgencias de la masa de agua subterránea denominada Caravaca, que cuenta con una extensión de 676

Las surgencias de las Fuentes del Marqués se encuentran en el acuífero denominado Gavilán y las fuentes de Las Tosquillas y La Muralla en Revolvedores-Serrata.

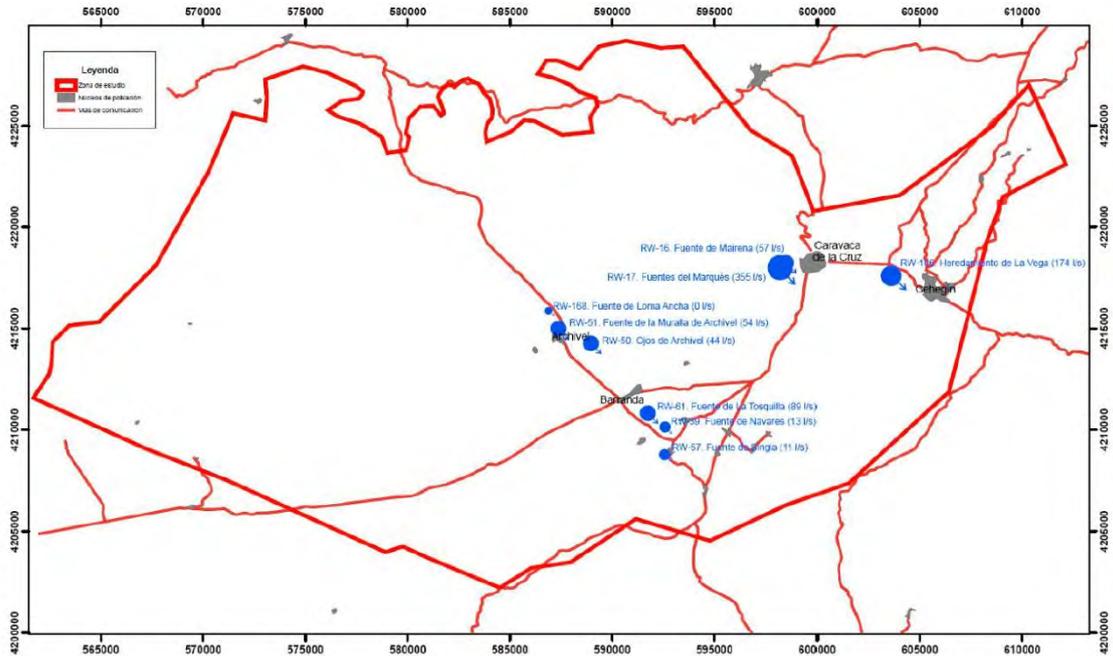


Figura 3. Principales manantiales junto a su caudal medio (CARM-UM, 2007).

FUENTE DE LA MURALLA

El primer manantial que visitaremos recibe el nombre de fuente de la Muralla de Archivel (Figura 4). Se trata de una surgencia a través de dos galerías que se adentran en el Cerro de las Fuentes y que drenan a un pequeño estanque. En este estanque se construyó un muro con el objetivo de represar el agua y mantener su cota, pues desde aquí partía una acequia que llevaba el agua a un molino harinero. Por ese elemento constructivo se conoce a este manantial como la fuente de la Muralla de Archivel. Sin embargo, a mediados del siglo XX se realizó una perforación en la base del estanque, lugar por el que se drena actualmente.

Como se ha mencionado anteriormente, el noroeste murciano cuenta con numerosas surgencias, siendo muchas de ellas responsables, en gran medida, del desarrollo histórico de la comarca, tal y como evidencian los restos arqueológicos en lugares cercanos a estos puntos de agua, siendo un ejemplo la pedanía de Archivel. Donde el abastecimiento ha estado garantizado

tradicionalmente por los manantiales de la fuente de la Muralla y los Ojos de Archivel, al menos desde el Calcolítico hasta la actualidad. Testimonio de ello son los restos arqueológicos del castillo tardorromano del Cerro de las Fuentes donde comenzaremos, o el molino harinero de Santa Bárbara, cuya construcción es la responsable de que se alzara la “muralla”.



Figura 4. Panorámica de la fuente de la Muralla de Archivel.

Además, de punto estratégico para el abrevado del ganado, su uso para regadío no ha estado excepto de disputas. Pues durante varios siglos, estas aguas, junto con las de otros manantiales cercanos,

han sido reclamadas por comunidades de regantes de Lorca, tema que no se zanjó hasta finales del siglo XIX cuando quedó establecido que las aguas drenadas por esos manantiales deberían ser utilizadas para el riego de los campos locales.

Como se ha indicado, la surgencia de agua subterránea que observamos está completamente modificada antrópicamente desde hace siglos. Se observan las dos galerías, el estanque, las acequias... un área recreativa (Figura 4), incluso llegó a ser la piscina municipal... Ahora las preguntas que nos tenemos que plantear son ¿por qué nacen estas aguas aquí? ¿qué les hace ser tan buenas qué se les ha dado tantos usos y aprovechamientos desde tiempos inmemoriales?

Este manantial se encuentra asociado al contacto entre las calizas del Cerro de las Fuentes y los materiales pliocenos y cuaternarios que forman la cuenca detrítica, siendo los primeros de ellos permeables, es decir, el acuífero, y los segundos de menor permeabilidad, tal y como se ilustra en la figura 5. La cota de surgencia de este manantial es 920 m s.n.m. y pertenece al subsistema de Revolvedores-Serrata. La surgencia de agua se ve favorecida por las dos galerías que interceptan el nivel freático y, como consecuencia, se produce un aumento en el caudal drenado por el manantial.

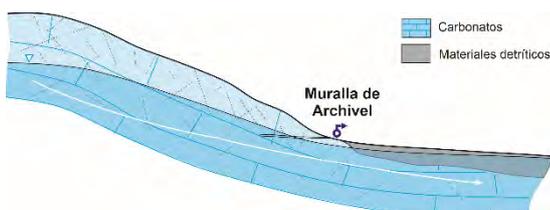


Figura 5. Esquema geológico del sistema de kárstico con la red de fracturas. También se reconoce el manantial de la Muralla de Archivel con las galerías horizontales que captan el nivel freático.

Análisis químicos disponibles (López Bermúdez et al., 2016) sugieren que el agua cumple los requisitos para abastecimiento humano en cuanto al contenido de especies iónicas como el nitrato o sulfato y también para el riego según la relación

entre el sodio y la conductividad eléctrica. Su facies hidroquímica es bicarbonatada cálcica, es decir, que los iones predominantes en esta agua son el bicarbonato y el calcio.

El análisis del hidrograma (Figura 6), gráfico que representa el caudal en función del tiempo. Pone de manifiesto que los caudales máximos están relacionados con los episodios de recarga, con un desfase temporal de unos dos a tres meses, diferencia temporal que se conoce como inercia. Sin embargo, los descensos que se reconocen en los meses de junio, julio y agosto pueden ser consecuencia de los bombeos para abastecimiento.

Actualmente, el uso que reciben las aguas del manantial es para regadío, gestionada por la Comunidad de Regantes de la Muralla.

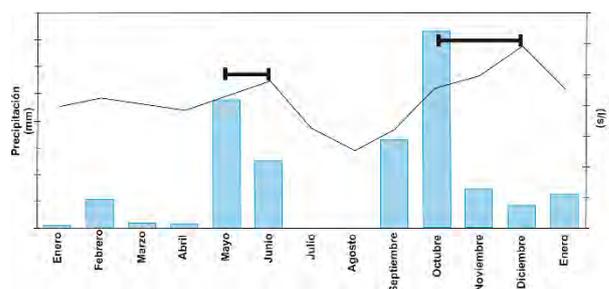


Figura 6. Hidrograma del manantial de la Muralla de Archivel para el año 2009 junto con los datos de precipitación mensual. Modificado de López Bermúdez et al. (2016).

FUENTE DE LAS TOSQUILLAS

La segunda parada nos lleva a 1 km aproximadamente de Barranda, a la fuente de Las Tosquillas. En este caso no existe una modificación histórica del punto de surgencia, aunque si es canalizada a continuación. Hecho que permite que el nacimiento (Figura 7) mantenga su belleza natural, brotando con fuerza el agua de la roca decorada por culantrillos (*Adiantum capillus-veneris*).

También existen yacimientos arqueológicos próximos como el de La Cabezuela (estructura militar con dos torres vigía romanas), es fuente de inspiración de leyendas y, actualmente, es empleada para el regadío de parcelas próximas, pero también formaba parte de las surgencias solicitadas por los regantes lorquinos.



Figura 7. Fuente de Las Tosquillas.

Al respecto del nombre no hemos encontrado referencias específicas de este lugar. Pero comentar que el término tosca o piedra tosca hace referencia a las tobas calcáreas o travertinos, rocas que se forman en las surgencias de manantiales carbonáticos, siendo posible que el término tosquilla haga referencia a esas concreciones calcáreas. Pues al igual que la fuente de la Muralla, el agua de este nacimiento ha circulado por rocas carbonatadas jurásicas, pero en este caso su facies es sulfatada-bicarbonatada cálcica (López Bermúdez et al., 2016).

La respuesta del manantial ante los eventos de recarga es rápida, y a pesar de esas pequeñas variaciones que registran los caudales tras lluvias importantes, éstos mantienen cierta regularidad a lo largo del año, con un caudal medio de 3,5 hm³/año. La evolución del caudal de la fuente de

Las Tosquillas muestra un rango de caudal entre 70 y 140 l/s, con un caudal medio en los últimos 20 años de 90 l/s aproximadamente. La otra sección de aforo, La Tosquilla, presenta una caudal de salida bastante menor con un valor medio aproximado entre 25 y 30 l/s (Figura 8).

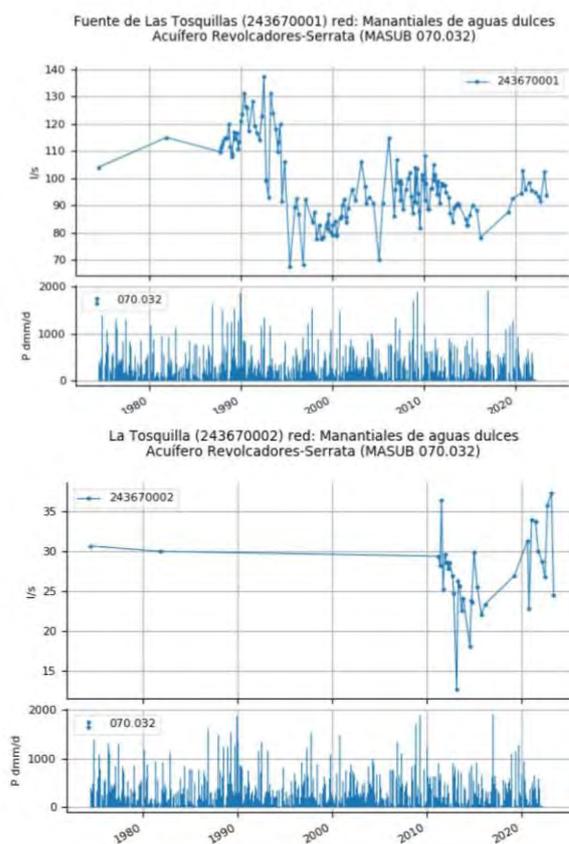


Figura 8. Hidrograma del manantial de la fuente de Las Tosquillas (evolución del caudal y detalle de las secciones de aforo).

No podemos marcharnos de este paraje sin conocer la leyenda que acompaña siglos tras siglos a este manantial, es la conocida como “la Dama del Agua” o “La Encantá” [...] aunque no se sabe bien, si su madre fue quien le echó la maldición o fue por castigo divino al ser la culpable de que su novio se estrellara contra las rocas... o como otra versión

comenta, fue hechizada por un alquimista al no corresponderle, y cegado por los celos al encontrarla abrazada a su amor verdadero junto a la fuente la convirtió en dama del agua y al mozo le dio muerte... *El caso es que cada trescientos años, en la mañana de San Juan, la encantada deja de ser paisaje y se transforma en mujer. Esa mañana, y sólo esa, la sangre del galán muerto aparece en el manantial convertida en hila de lana roja. Si una mujer la devana entera y forma un ovillo sin cortar la hila de lana roja, entonces la encantada y su galán volverán a la vida. Cuentan que una vez una mujer del pueblo fue a lavar su ropa al manantial apenas amaneció la mañana de San Juan. Mientras lavaba, vio que una hila de lana roja descendía por el manantial. Comenzó a tirar y a devanar la hila para hacer con aquella lana un ovillo y tejerse una chaqueta, pero por más que devanaba y devanaba seguía apareciendo más hila que devanar. La mujer se cansó de devanar, porque ya le dolía el brazo de tanto hacerlo. Además, ya tenía un ovillo bastante grande. Con toda aquella lana podría hacerse una buena chaqueta. Así que se llevó la lana roja a la boca, mordió la hila y la rompió. En ese momento oyó un grito que hizo que se volviera, asustada:*

- ¡Desdichada de mí! ¡Has roto el hilo que me iba a desencantar y ahora habré de esperar otros trescientos años! -escuchó decir a una mujer con larga melena rubia que se peinaba el cabello sentada en un claro donde antes había una roca. Y en cuanto dijo esto, la encantada desapareció y en su lugar volvió a haber una piedra gris. (Herrerros, 2010).

LAS HERRAMIENTAS DE LOS HIDROGEÓLOGOS

Y llegado este momento es la hora de conocer cómo trabajan los hidrogeólogos, que técnicas y herramientas emplean para obtener toda la información que ha ido comentado.

ESTUDIO DE LOS CAUDALES DE LOS MANANTIALES

En muchos estudios hidrogeológicos uno de los trabajos más recurrentes es cuantificar el balance de un acuífero, estimando sus entradas y salidas. Para cuantificar esta relación es necesario en muchos casos obtener el valor del caudal que descarga por los manantiales o el que discurre por un cauce o río que drena un acuífero. Este valor se puede obtener por medio de diferentes métodos, tanto directos, si utilizamos algún aparato de medida como los molinetes (Figura 9, izquierda) o aforadores químicos como el SALINOMAD, o indirectos, como sería la medida del nivel del agua de manera puntual o en continuo (altura lámina de agua, (limnógrafos, aforadores de vertedero... ejemplo en la figura 9 derecha) y dato que se transforma en caudal.

El caudal en un río o en un manantial (Q) se obtiene conociendo las dimensiones de la sección (S) por donde pasa el agua y su velocidad (V):

$$Q (m^3/s) = S (m^2) \times V (m/s)$$

Por lo tanto, una vez que conocemos la sección de paso es fundamental obtener un valor fiable de la velocidad del agua. Entre los métodos de medida directos más utilizado destaca el molinete (Figura 9), que consiste en es un aparato que permite obtener un valor exacto de la velocidad a partir del nº vueltas /minuto que gira su hélice. Se realizan medidas en varios puntos de la misma vertical y en diferentes verticales de la sección del cauce para obtener el caudal total.

Si durante un periodo de tiempo (días, meses, años...) medimos el caudal de salida de un río/manantial obtenemos su hidrograma (Figuras 8 y 10). Dentro de un hidrograma podemos diferenciar la parte que procede de la escorrentía superficial y subterránea (Figura 10). Los hidrogeólogos obtenemos información muy relevante para nuestros estudios de la interpretación de una parte del hidrograma denominada *curva de agotamiento*.



Figura 9. Detalle de la hélice de un micromolinete (izqda.) y dispositivo para la medida de la altura de la lámina de agua mediante ultrasonidos (dcha.)

La interpretación de la curva de agotamiento permite obtener información sobre: el volumen de agua que ha descargado por el manantial o que ha pasado por el punto de aforo en un intervalo de tiempo; la capacidad de regulación que presenta el acuífero y/o manantial deducido a partir del valor del coeficiente de agotamiento; volumen de agua subterránea está almacenado en la zona saturada o volumen de agua que se puede descargar en un ciclo anual; nos ayuda a conocer mejor la estructura del macizo hidrogeológico.

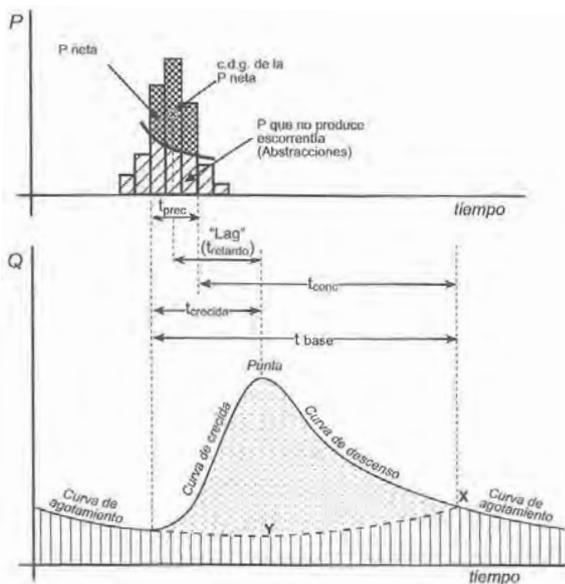


Figura 10. Hidrograma tipo en un río o cuenca vertiente a un cauce principal (Fuente: <http://hidrologia.usal.es>).

EL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La composición química del agua subterránea es una herramienta muy útil para conocer aspectos del tanto del agua como de los acuíferos de los que procede. Conocer la composición química que tiene el agua subterránea de un acuífero tiene tres utilidades principales:

- La primera y más inmediata, es conocer si la calidad de dicha agua es adecuada para su potencial utilización en usos concretos. La calidad del agua para muchos usos, por ejemplo, el uso humano, está regulada por normas de referencia. Por tanto, para conocer si la calidad del agua de un acuífero es adecuada o no para un uso concreto, es necesario compara su composición química (y microbiológica, en el caso del uso humano) con los valores de referencia establecidos en la norma correspondiente.

- Una segunda utilidad es conocer si la calidad del agua del acuífero cumple las condiciones establecidas por la legislación medioambiental vigente, con independencia de los usos que se le puedan dar al agua. En España, y en el resto de la Unión Europea (UE), la legislación vigente relativa a la calidad ambiental del agua subterránea está regida por la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) y la Directiva para la Protección de las Aguas Subterráneas (2006/118/CE) de Europa. Esta legislación obliga a los Estados de la UE a conocer la situación actual de la calidad del agua subterránea en cada país y a velar por el buen estado global de la calidad de los cuerpos de agua subterránea.

Para determinar si la calidad del agua de un acuífero es buena o no en este contexto, también hay que comparar la composición química del agua con los valores de referencia establecidos (en listas) para una gran cantidad de solutos y sustancias susceptibles de deteriorar dicha calidad.

- La tercera utilidad de estudiar la composición química de un agua subterránea es conocer el

origen de la composición de esa agua y los procesos -naturales y antrópicos- que la controlan. Esta información tiene muchas utilidades, entre ellas saber cómo funciona el acuífero en cuestión para mejorar la fiabilidad de las predicciones que podemos realizar acerca de, por ejemplo, posibles cambios futuros en la calidad/cantidad del agua, y la velocidad a la cuál ocurrirán esos cambios, si se realizan determinadas actividades de gestión del acuífero o el territorio, o si tienen lugar ciertos cambios en procesos naturales tales como el clima.

¿Cuál cabe esperar que sea la composición química de un agua subterránea?

El origen principal del agua subterránea es la infiltración de la lluvia. Una vez que el agua de lluvia se filtra bajo la superficie del terreno, el agua comienza a interactuar con los gases, minerales y materia orgánica del terreno, disolviendo parte de ellos, precipitando algunos minerales a veces, intercambiando algunos elementos químicos con esos sólidos a veces. La Figura 11 muestra una síntesis de los procesos físicos y químicos responsables de la composición del agua subterránea.

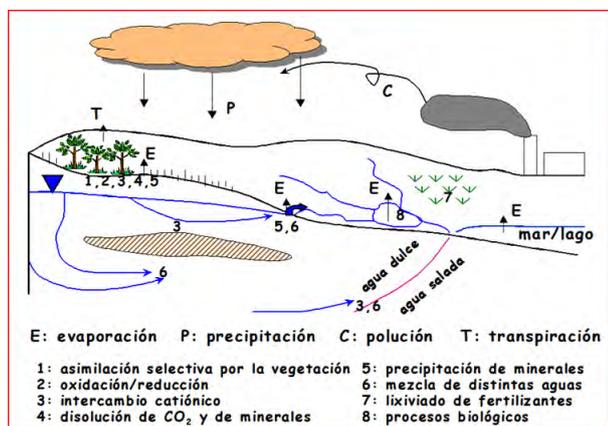


Figura 11. Procesos físicos y químicos responsables de la composición del agua subterránea (modificado de Appelo y Postma, 1999). Elaboración: M. Manzano.

Estos procesos hacen que el agua subterránea vaya modificando su composición química respecto a lluvia que la generó, y empieza a reflejar la composición de los minerales del terreno por el que circula. Además, si en la zona donde se

produce la recarga al acuífero se realizan actividades antrópicas que modifican la composición natural de la lluvia, o generan residuos líquidos (que se infiltran en el terreno) o sólidos (que la lluvia disuelve e incorpora al subsuelo al infiltrarse), probablemente esos residuos también aportarán solutos al agua subterránea de la zona.

Por tanto, la composición química de una muestra de agua subterránea tomada en un pozo/sondeo/manantial concreto de un acuífero y en un momento concreto, refleja la historia de los procesos físicos y químicos que han tenido lugar desde que la lluvia se infiltró y se convirtió en agua subterránea, hasta que, circulando por el acuífero, esa agua ha llegado al pozo/sondeo/manantial en el que la hemos extraído y en el momento en que lo hemos hecho. Es decir, la composición química del agua subterránea informa sobre la historia del agua desde que se infiltró en el terreno hasta el lugar y momento en que tomamos la muestra. Saber interpretar dicha composición a partir de un número de muestras tomadas en distintos pozos/sondeos/manantiales de un acuífero y en distintos momentos, permite conocer información muy valiosa para la gestión del mismo, como, por ejemplo:

- dónde y cuánto se recarga ese acuífero,
- por dónde (en qué materiales) y hacia dónde (porqué rocas y sedimentos) ha circulado el agua,
- cuál es la magnitud del flujo de agua y del transporte de solutos (sustancias disueltas),
- cuáles son los procesos físicos e hidrogeoquímicos naturales y antrópicos que proporcionan al agua de ese acuífero su composición,
- cuáles son las causas más probables de los cambios espaciales y/o temporales de composición observados,
- cuáles son las causas responsables del deterioro de la calidad, si es el caso,
- cuáles son los cambios previsibles en la composición (y la calidad) del agua subterránea si se producen cambios en la cantidad y/o la calidad de la recarga, o bien se producen

cambios en la red de flujo del acuífero como consecuencia de la influencia humana.

Ejemplo sencillo de estudio hidroquímico del agua de un manantial

El agua que descarga por un manantial situado en la parte baja de una montaña circula por terrenos carbonatados que se apoyan sobre otros terrenos en los cuales hay yeso. Habitualmente el agua es bicarbonatada-cálcica, pero cuando llueve con intensidad y aumenta el caudal, el contenido de sulfato (SO_4) aumenta hasta ser el soluto dominante (Figura 12). También aumentan los contenidos de Ca (que, junto con el sulfato, forma el yeso), de Cl y de Na (Cl y Na forman la sal común o halita, que suele acompañar a los yesos). Esto indica que, cuando se produce una recarga importante del acuífero, el manantial descarga agua no solo de las rocas carbonatadas, sino también de la formación subyacente.

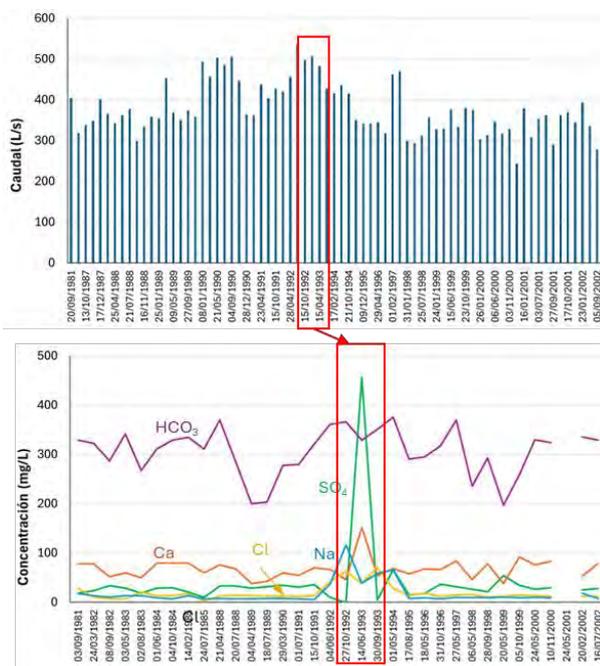


Figura 12. Evolución del caudal (arriba) y de la composición química (abajo) de un manantial que drena un acuífero carbonatado en cuya base hay una formación geológica con yeso.

Ciertos componentes químicos llamados isótopos ambientales informan del lugar donde se recarga el agua de lluvia que posteriormente descarga por el manantial en forma de agua subterránea. En el caso del manantial del ejemplo, el valor del isótopo oxígeno 18 indica que el agua del manantial procede de la infiltración de la lluvia que cae a unos 800 m de altitud (Figura 13).

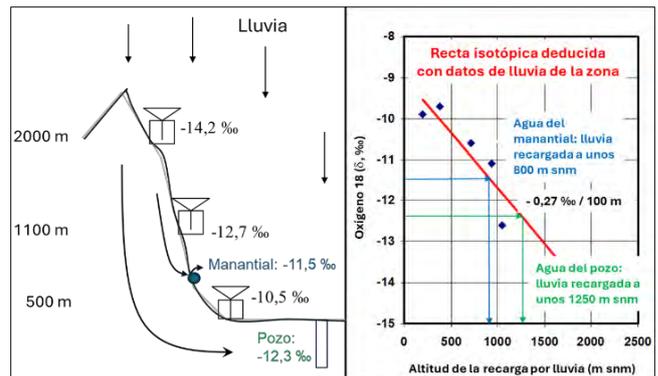


Figura 13. Recta isotópica altitudinal de la zona donde se recarga el agua subterránea que drena el manantial (izquierda) y deducción de la altitud a la cual se recarga esa agua (derecha).

LAS FUENTES DEL MARQUÉS

La tercera parada nos acerca a Caravaca de la Cruz, al paraje de las Fuentes del Marqués (Figura 14), que se localizan al oeste del núcleo urbano, en las laderas de las Sierras del Gavilán y Buitre. Sus aguas proceden del acuífero Gavilán y su cota de surgencia está a unos 630 m s.n.m.

La cantidad y calidad de las aguas que brotan en estas surgencias queda constatada en escritos de época árabe, momento en el que tuvo lugar la construcción de las Cuevas del Marqués. Encima de éstas se reconocen una serie de canalizaciones y piletas posiblemente de antiguos baños o algún tipo de industria. Posteriormente este paraje pasó

a ser parte de la Iglesia Parroquial de El Salvador, aunque el uso del agua era propiedad pública. Sin embargo, con la desamortización de 1835 pasaron a ser propiedad de D. Uribe y Yarza, Marqués de San Mamés de Aras, de donde probablemente le venga el nombre. En 1989, el ayuntamiento de Caravaca de la Cruz adquirió estas tierras. Finalmente, otro resto arqueológico destacable es el Torreón de los Templarios, construido por la Orden de los Templarios y posteriormente ocupado y remodelado por la Orden de Santiago.



Figura 14. Fotografía de una de las fuentes del Marqués. Este tipo de nacimientos recibe el nombre de sartenes debido a su morfología.

Las rocas por las que circula el agua que nace en estos manantiales son unas calizas que se encuentran al noroeste de este paraje natural. Hacia la base de esta formación existen margas y yesos, que son materiales con una permeabilidad

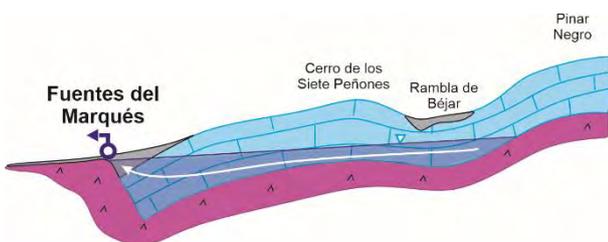


Figura 15. Esquema geológico simplificado del acuífero y de las surgencias de las fuentes del Marqués. Modificado del IGME (2009).

considerablemente más baja que la formación superior (Figura 15). Debido a este contraste de permeabilidades el agua brota y da lugar a los manantiales de las Fuentes del Marqués.

Estas aguas subterráneas presentan facies hidroquímica bicarbonatada cálcica (Figura 16) y una buena calidad química tanto para abastecimiento como para el riego. Los caudales de este manantial están estrechamente relacionados con las precipitaciones, lo que informa de cierto grado de karstificación del sistema. Sin embargo, los caudales drenados han sufrido un descenso progresivo a consecuencia de bombeos que han ido en aumento desde la década de 1990.

Tradicionalmente, los usos que ha recibido el agua de este manantial han sido para el riego de las tierras vecinas a través de acequias y canales. También ha sido la fuerza motriz de muchos molinos, batanes y abastecimiento de una fábrica de hielo localizada a las afueras del paraje natural.

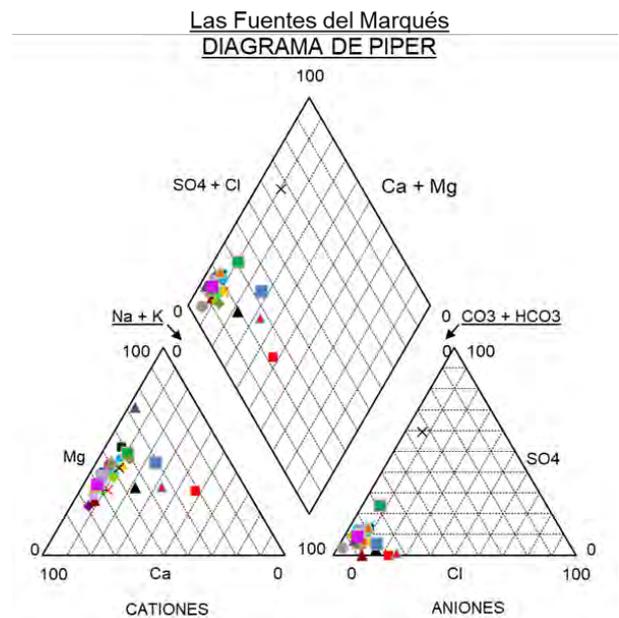


Figura 16. Composición química del agua de las Fuentes del Marqués. Fuente de los datos: base de datos del IGME. Elaboración: M. Manzano.

En el entorno de las Fuentes del Marqués llama la atención un tipo de roca oquerosa donde se han excavado las Cuevas del Marqués. Esta roca recibe el nombre de travertino o toba calcárea, tosca o

piedra tosca y su formación está relacionada con manantiales en los que brota agua de acuíferos carbonáticos.

Cuando el agua interacciona con las rocas carbonatadas las va disolviendo y se enriquece en bicarbonato y calcio en disolución. Cuando esa agua brota a la superficie sufre un cambio de presión y de condiciones fisicoquímicas que hacen que el bicarbonato presente en disolución precipite como carbonato cálcico alrededor de la vegetación, tallos, hojas y raíces de las plantas. Con el tiempo, se descompone la materia orgánica quedando el hueco/molde donde antes se encontraba ese resto vegetal (Figura 17).



Figura 17. Detalle de un travertino.

Estas formaciones son muy importantes pues aportan mucha información, como las localizaciones de paleosurgencias y, sobre todo, sobre condiciones paleoclimáticas, a través de datos isotópicos, el polen y esporas (palinología)...

Por último, relataremos algunas de las muchas leyendas y tradiciones asociadas a estas fuentes y sus aguas. Comenzaremos con una leyenda disponible en la página web del Ayuntamiento de Caravaca de la Cruz ([enlace](#)):

[...] Sayyid, un rico árabe, tenía su residencia en el paraje natural de las Fuentes del Marques donde disfrutaba de los baños que en ese momento eran termales que brotaban por los manantiales (vestigios de éstos pueden ser los restos arqueológicos que se encuentran encima de las Cuevas del Marqués). Vivían Sayyid y su bella y melancólica hija Hayla, pues, aunque su padre la trataba como una perla y le procuraba todo tipo de

libros, música y entretenimientos, ella se encontraba sola.

En el Castillo de Caravaca, el joven Jorge acababa de ser reconocido por la Orden del Temple y dedicaba sus esfuerzos a velar por la paz en la reciente conquistada Caravaca. Sin embargo, al ser nuevo en la Orden, fue presa de las “novatadas” por lo que tuvo que hacer frente a una noche en unos de los viejos aljibes del reino. Abrumado por la soledad y la oscuridad, observo una grieta en una de las paredes. Su espíritu inquieto le llevó a explorar esta fisura, que resultó ser la entrada de una galería excavada en la roca. Tras adentrarse en ella y un largo paseo acabó en las Fuentes del Marqués donde descubrió a Hayla cantando mientras paseaba por el arroyo. No tardó en enamorarse de ella y todas las noches recorría los mismos túneles para ir a visitarla. Sin embargo, no tardaron en sospechar de ellos y una noche un grupo de guerreros cristianos y musulmanes se dispusieron a vigilar a Jorge y Hayla y cuando ambos se encontraron se desató la tragedia. Ambos grupos de guerreros se lanzaron al ataque del contrario sin mediar palabra ni explicación. Sayyid, en medio de la confusión y el caos de la guerra, vio a su hija en manos del templario. Asustado disparó su arco en dirección al joven cristiano, pero por la confusión del conflicto la flecha atravesó el cuerpo de su hija. Lleno de ira por lo sucedido, el noble árabe atravesó a Jorge con su espada y ambos quedaron inertes abrazados en el frío suelo de las Fuentes del Marques cuyas aguas dejaron de ser cálidas para transformarse en aguas frías e inertes [...]

Y concluimos la visita a las fuentes con una tradición que se remonta al siglo XIV, cuando una plaga de langostas ponía en peligro las cosechas y los campos de cultivo del Reino de Murcia. Fue entonces cuando se solicitó la bendición de las aguas que regaban los campos para aplacar dicha plaga. Para ello, se introdujo la Vera Cruz de Caravaca en las aguas, donde en la actualidad se encuentra el Templete, lugar en el que actualmente se lleva a cabo esta tradición. Finalmente, el ritual resultó efectivo y la plaga desapareció, y por este motivo los vecinos y los

terratenientes locales pidieron que se realizase este ritual cada año, convirtiéndose en una tradición que ha llegado hasta nuestros días. Actualmente se realiza la tarde del día 3 de mayo, tras una misa en la iglesia de El Salvador oficiada por el Obispo de la Diócesis de Cartagena.

Estas son solo algunas de las historias que tienen como protagonistas el agua subterránea y los manantiales, que ponen de manifiesto la importancia de las aguas subterráneas y de las fuentes de la comarca del noroeste murciano en el desarrollo social y cultural de sus pueblos.

AGUAS DE CANTALAR

Por cuestiones logísticas no ha sido posible programar una visita durante esta jornada a la embotelladora de Aguas de Cantalar (Figura 18), pero la empresa nos ha brindado la posibilidad de conocer del mejor modo posible sus aguas. Pues hasta el momento hemos oído hablar de caudales, propiedades hidroquímicas, rocas por las que circula el agua... hemos visto el agua, la hemos podido tocar, la hemos escuchado... pero hasta el momento no la hemos bebido, así que ahora la podremos saborear.



Figura 18. Edificación para la protección del manantial.

El nacimiento de agua está en la Sierra de Villafuerte, situada en el Calar de la Santa (Moratalla). La cota aproximada del punto de surgencia está a 1.510 m de altitud, mientras que la cota más alta de la zona de recarga está cercana a 1750 m, en una zona donde son muy frecuentes las nevadas invernales.

Las “Aguas de Cantalar” proceden de un acuífero que queda dentro del Sector Norte del Acuífero Revolvedores-Serrata. Los materiales que constituyen este acuífero de “Cantalar” son dolomías y calizas jurásicas, que afloran en una reducida área. La base impermeable y lateral corresponde a arcillas y margas yesíferas del Triásico (Figura 19).

Desde el punto de vista hidroquímico, se trata de un agua de tipo bicarbonatada cálcico-magnésica, con una temperatura media de surgencia de 11,6 °C y un total de sales disueltas de unos 460 mg/L.

En la Gaceta de Madrid de 22 de enero de 1891 fue declarada como agua mineromedicinal (con fecha 15/1/1891 se clasificó como mineromedicinal alcalina, eximida de la construcción del balneario que por entonces era obligatorio).

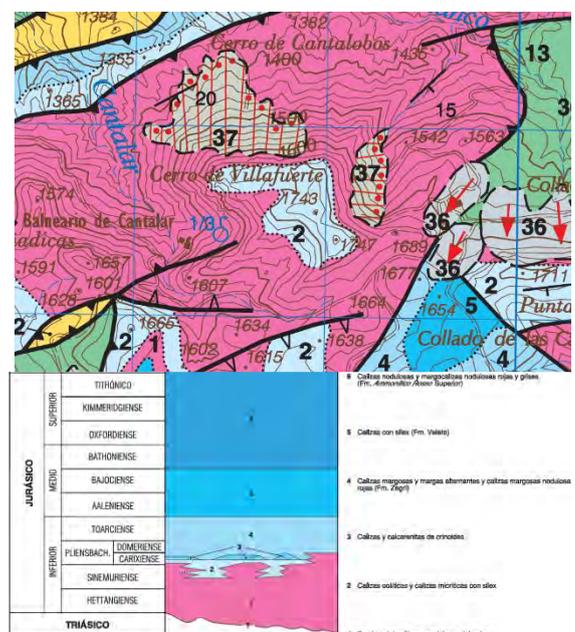


Figura 19. Mapa geológico del entorno del acuífero de Cantalar.

AGRADECIMIENTOS

Esta actividad ha sido organizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), en estrecha colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena y la Universidad de Málaga.

Se agradece la colaboración de las siguientes instituciones y empresas:

- Ayuntamiento de Caravaca de la Cruz a través de la Concejalía de Personal, Empleo, Comercio, Hostelería y Artesanía, Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Protección Animal.
(<https://www.caravaca.org/>),
- Caravaca de la Cruz 2024 Año Jubilar
(<https://jubilar2024.lacruzdecavaca.com/>)
- Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Murcia
(<https://www.um.es/web/inuama/>)
- Agua de Cantalar
(<https://www.aguadecantalar.es/>)
- INGEOCOMIN, Consulting Minero Industrial
(administracion@ingeocomin.com)
- CGA, Consulting de Geología y Aguas
(j.molina.cga@hotmail.com)

COLABORADORES

- **Virginia María Robles Arenas.** Hidrogeóloga. Investigadora contratada y Profesora Asociada de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) (virginia.robles@upct.es).
Coordinadora HIDROGEODIA 2024

- **Javier Buera Cuerva.** Hidrogeólogo. Investigador en formación de la Universidad de Málaga (javierbc@uma.com).
Coordinador HIDROGEODIA 2024
- **José Luis García Aróstegui.** Hidrogeólogo. Científico Titular del IGME-CSIC (j.arostegui@igme.es), y Profesor Asociado de la Universidad de Murcia (j.arostegui@um.es).
Coordinador HIDROGEODIA 2024
- **Marisol Manzano Arellano.** Hidrogeóloga. Profesora Titular de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) (marisol.manzano@upct.es)
- **Jorge Hornero Díaz.** Hidrogeólogo. Técnico Superior Especialista del IGME-CSIC (j.hornero@igme.es)
- **Carlos Díaz Bermejo.** Licenciado en Geología. Profesor de Enseñanza Secundaria. Miembro del Grupo de Investigación de Geología de la Universidad de Murcia (carlosdiazbermejo@gmail.com)
- **Luis Arrufat Milán.** Profesor de Enseñanza Secundaria. Miembro del Grupo de Investigación de Geología de la Universidad de Murcia (larrufat@um.es)

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente esta iniciativa.

... PARA SABER MAS

Appelo, C.A.J. y Postma, D. (1999) *Geochemistry, groundwater and pollution*. Ed. Balkema, Rotterdam. 536 pp.

CARM-UM (2007) *Modelización numérica para la gestión sostenible del acuífero de Caravaca (Murcia, España)*. Proyecto ROBINWOOD “Flows of water above and below ground in relation to linear tree features and water abstraction. Financiado por Interreg IIC Zona Sur. Dirección General del Medio Natural de la Región de Murcia e Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Murcia.

Herreros, A.C. (2010) . Editorial Siruela.180 pp.

IGME (2009) *Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico*. Demarcación Hidrográfica 071 SEGURA. [[enlace](#)]

López Bermúdez, F. y Sánchez Fuster, M. C. (2010) *Manantiales de la Comarca del Noroeste de la Región de Murcia: Un patrimonio natural amenazado*. Papeles de Geografía, núm. 51-52, pp. 169-188

López Bermúdez, F., Quiñonero Rubio, J.M., García Marín, R., Martín de Valmaseda Guijarro, E., Sánchez Fuster, C., Chocano Vañó, C. y Guerrero García, F. (2016) *Fuentes y manantiales de la cuenca del Segura. Región de Murcia*. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. 510 pp.

Vera, J. A. (coord.) (2004) *Geología de España*. Edita SGE-IGME. 884 pp.

- [Cartografía geológica](#)
- [Directiva Marco del Agua](#)
- [Directiva relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro](#)
- [Planificación hidrológica CHS](#)



Pontevedra



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Ponte Caldelas

23 de marzo 2024

Biblioteca Pública Municipal e Casa da Cultura de Ponte Caldelas
11:00 a 12:30 “A auga subterránea e as traídas veciñais”
12:45 Visita guiada por unha traída da zona

ACTIVIDADES DE BALDE



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 dos países iberoamericanos, Brasil y Ecuador.

La edición gallega del Hidrogeodía 2024 ha sido organizado por el grupo de investigación **AQUATERRA** de la **Universidade da Coruña** y la asociación **COXAPO**, en colaboración con el **Ayuntamiento de Ponte Caldelas** y **Augas de Galicia**.

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 Ponte Caldelas.

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 (<15 m) 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 zonas 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 Ponte Caldelas, 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 más de 70,000 habitantes.

O HIDROXEODÍA 2024

El hidrogeodía en Galicia, **O hidroxeodía**, tendrá lugar en el municipio de **Ponte Caldelas**, en la provincia de Pontevedra, el sábado **23 de marzo de 2024**.



Ubicación del municipio de Ponte Caldelas (Pontevedra) (www.wikipedia.org).

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

- El volumen de recursos hídricos subterráneos en la zona y cómo puede verse afectado por el cambio climático
- Los tipos de acuíferos que se pueden encontrar en la zona de acuerdo a la geología.
- La circulación del agua subterránea y el papel de las fallas y contactos geológicos
- Los manantiales, su localización y su comportamiento en épocas de seca
- Los principales problemas de calidad del agua subterránea en la zona y sus causas
- Las medidas para la protección del recurso

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.



Taller de aguas subterráneas.

Por último, se realizará una visita a una de las traídas de Ponte Caldelas asociada a COXAPO y que recientemente ha

incorporado mejoras importantes. Esta actividad estará dirigida por Rafael Carrera de COXAPO nos acompañarán miembros de la Junta Directiva de la traída.

Además de mejoras de la infraestructura, en esta traída se han instalado válvulas motorizadas que permiten que el sobrante de la captación se vierta desde el depósito de cabecera, en el entorno del manantial, una vez se llena el depósito de distribución situado aguas abajo. De este modo, se capta solo el agua necesaria para la traída y se reduce el impacto sobre la biodiversidad en la zona de captación. Las charcas creadas artificialmente a la salida del depósito de cabecera (que serán visitadas) son una muestra de la biodiversidad de la zona con multitud de reptiles típicos de la zona.



Visita al depósito de cabecera de una traída de agua en el municipio de Ponte Caldelas.

12:30 Presentación “Gestión eficiente, sostenible y legal de las traídas vecinales comunitarias”

Eva Álvarez, COXAPO.

13:45 Visita Guiada por la

Rafael Carrera, COXAPO

Xunta Directiva da traída

¿DÓNDE Y CÓMO LLEGAR?

La primera parte de la actividad tendrá lugar a las 11:00 en la **Biblioteca Pública Municipal e Casa da Cultura de Ponte Caldelas.**

Dirección exacta:

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



Centro Neural de Gondomar.

La visita de campo saldrá a las 13:45 de delante del edificio y se realizará en una caravana de coches particulares, siguiendo a los organizadores.

AGENDA

11:00 Inauguración de la jornada
COXAPO y Ayuntamiento de Ponte Caldelas

11:05 Obradoiro “As augas subterráneas e as traídas veciñais en Ponte Caldelas”.

Acacia Naves, Universidade da Coruña.

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 Ponte Caldelas y a sus comunidades de aguas** por acogernos y acompañarnos en la visitas a sus instalaciones.



Segovia

HIDROGEODÍA
2024

ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROGEÓLOGOS
GRUPO ESPAÑOL



Fuente del Pájaro

(Valseca-Zamarramala, Segovia)

Lugar de confluencias

**SÁBADO, 23 DE MARZO
DE 2024**

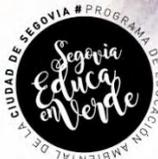
**INFORMACIÓN DETALLADA
DEL HIDROGEODÍA**

<https://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-2024-segovia/>

ORGANIZAN A NIVEL PROVINCIAL



**geología
de Segovia**



COLABORAN



**Asociación Cultural
Valseca de Boones**



COORDINA A NIVEL NACIONAL



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua

¿Hay agua subterránea cerca de ti?

Concurso del Agua Subterránea, 2024



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

¡PARTICIPA!

COORDINA (a nivel nacional):

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

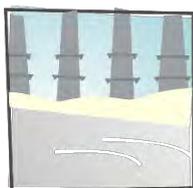


**International Association
of Hydrogeologists**

the World-wide Groundwater Organisation

ORGANIZAN (a nivel provincial de Segovia):

- Asociación Geología de Segovia (GSg)
- ‘Segovia Educa en Verde’. Programa municipal de educación ambiental.
- Área de Barrios y Sostenibilidad Ambiental. Ayuntamiento de Segovia



**geología
de Segovia**



COLABORAN (en esta edición):

- Ayuntamiento de Valseca
- Concejalía de Cultura del Ayuntamiento de Segovia
- Asociación cultural Valseca de Boones
- Asociación de vecinos y amigos “Pinilla” de Zamarramala
- TALHER, S.L.



**Asociación cultural
Valseca de Boones**



TALHER



Imagen de portada: Cartel anunciador del Hidrogeodía 2024 Segovia. Diseño de Emilio Pascual GAETE; gentileza de Talher, S.L. a través del programa de educación ambiental ‘Segovia Educa en Verde’, Ayuntamiento de Segovia.

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 de los seres humanos), 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) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por hidrogeólogos/as.

Desde el segundo año de celebración del Hidrogeodía (2018), la provincia de Segovia se incorporó a la iniciativa, organizando el Hidrogeodía Segovia.

En la **organización** del Hidrogeodía Segovia siempre ha estado la **asociación Geología de Segovia** y con la **coorganización y colaboración** de otras entidades, como: el programa de educación ambiental Segovia Educa en Verde del Ayuntamiento de Segovia (2018); el Ayuntamiento de Arahuetes y la Asociación cultural de Pajares de Pedraza (2019); el Ayuntamiento de Valseca y el IES María Moliner de Segovia (2021); el programa de educación ambiental Segovia Educa en Verde del Ayuntamiento de Segovia y el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (2022); el Ayuntamiento de Carbonero el Mayor y el IES Vega del Pirón (2023); el

programa de educación ambiental Segovia Educa en Verde del Ayuntamiento de Segovia, el Ayuntamiento de Valseca, la Concejalía de Cultura del Ayuntamiento de Segovia, la asociación cultural Valseca de Boones y la asociación de vecinos y amigos “Pinilla” de Zamarramala (2024).

Las seis ediciones (más un año suspendido por la CoVID-19) del Hidrogeodía Segovia han sido (ver [hipervínculos](#) para ampliar información):

- Hidrogeodía Segovia **2018**: “Cada manantial, con su acuífero: las fuentes de Segovia”. [Ahora también tenemos Hidrogeodía Segovia 2018.](#)
- Hidrogeodía Segovia **2019**: «Río ganador, río perdedor. El Cega en el piedemonte (La Velilla-Pajares de Pedraza)». [Hidrogeodía Segovia 2019.](#)
- Hidrogeodía Segovia **2020** ([suspendido por la pandemia CoVID-19](#))
- Hidrogeodía Segovia **2021**: [«Entre Valseca y Bernuy: las aguas de San Medel» Medalla de plata para el Hidrogeodía Segovia 2021.](#)
- Hidrogeodía Segovia **2022**: “Las raíces hidrogeológicas del Acueducto de Segovia ¿De dónde venía el agua del Acueducto de Segovia?”, [Hidrogeodía Segovia 2022.](#)
- Hidrogeodía Segovia **2023**: «La Mina» (de agua) de Carbonero el Mayor. [Preparando el Hidrogeodía Segovia 2023 en Carbonero el Mayor;](#) [Así fue el Hidrogeodía 2023 en Carbonero el Mayor](#)
- Hidrogeodía Segovia **2024**: [«Fuente del Pájaro: lugar de confluencias».](#) [Hidrogeodía Segovia 2024.](#)

DESTINO DEL HIDROGEODÍA 2024 SEGOVIA

El destino elegido para el Hidrogeodía 2024 Segovia ha sido la **fente del Pájaro**, situada entre los términos municipales de Valseca y Zamarramala-Segovia (Figura 1).



Figura 1. Mapa topográfico detallado del entorno noroccidental de la ciudad de Segovia, con la situación de la fuente del Pájaro (elipse roja) entre las localidades de Valseca y Zamarramala y sus términos municipales. Fuente: Iberpix (IGN).

Se trata de un pequeño manantial natural o surgencia que drena un acuífero kárstico-detritico con notable interés, no sólo geológico-hidrogeológico sino también cultural-etnográfico, educativo e histórico, suficiente como para dedicarle un Hidrogeodía.

Consistirá en una ruta andando, con salida desde dos lugares diferentes (las puertas de las iglesias de Valseca y Zamarramala), para confluir ambos grupos en la fuente del Pájaro. Durante los trayectos desde ambos lugares de partida, se realizarán paradas con explicaciones geológicas, hidrogeológicas, botánicas, zoológicas, históricas y etnográficas.

LA FUENTE DEL PÁJARO

ÁLVARO PINELA
(Cronista oficial de Valseca)

La Fuente del Pájaro, desde tiempos lejanos, configura todo un referente sentimental para zamarrriegos y valsecanos.

Se trata de un manantial natural, de agua no tratada, que no deja de verter agua durante todo el año, y en donde en otros tiempos acudían a saciar la sed pastores y labradores, con sus rebaños, bueyes, machos o mulas, lo que también configuraba un punto de encuentro para sestear el ganado y compartir comida y conversación en buena armonía.



Figura 2. Fotografía de un rebaño de ovejas con el pastor en el entorno de la fuente del Pájaro en la década de 1970. Fuente: Cesión de Álvaro Pinela.

También era punto habitual de los segadores gallegos y castellanos que acudían a la fuente a refrescarse y llenar el cántaro de agua. La mecanización del campo, hizo perder el apego al mantenimiento de las fuentes naturales en general.

La fuente fue restaurada en el año 1995 por un grupo de personas de Valseca, saneando la poza, y la pila de vertido, y reafirmando su

mampostería. De forma paralela, una persona de forma anónima adosaba en la misma, la escultura de un pájaro de piedra caliza. Unos años después, las Juntas Agropecuarias de Zamarramala y Valseca, costearon las tres pilas de hormigón que recogen el vertido de la fuente, y además el prado de la Fuente del Pájaro fue repoblado con fresnos.

Este precioso valle, con muchas tierras de labor cuarteadas, entre prados, lindazos y praderas, se incluía en el antiguo despoblado de Boones anexionado a Valseca en el siglo XIX, de ahí el primitivo nombre de la población: Valseca de Boones. El prado queda dividido en dos mitades, siendo el margen izquierdo de Zamarramala y el margen derecho de Valseca, configurando la divisoria, el llamado Coto Real.

En el conocido Barranco de la Fuente del Pájaro y el propio prado, era tradición que a partir de San Isidro (15 de mayo), aprovecharan las hierbas los bueyes y mulas; mientras que las yeguas y los pollinos lo hacían después de San Pedro (29 de junio). Desde muy antiguo, algunas personas recurrían a su agua, pues existía la creencia de que abría las ganas de comer y que era bueno para cocer los garbanzos.

Otra de las costumbres tenía lugar antes del comienzo del verano, cuando los pastores de Valseca y Zamarramala se reunían durante una jornada para colocar unos largueros de madera en el reguero de la fuente al prado y encauzar las aguas para que bebiera el ganado. Antiguamente, era frecuente ver sestear en las proximidades a dos o tres rebaños, bajo el sol tórrido. Hoy en día la cabaña ovina, mucho menor, ha dado paso también a la visita de caminantes, ciclistas, peregrinos y curiosos, en busca de este pequeño tesoro natural.

¿De dónde viene el agua que mana en la fuente del Pájaro?

El agua que mana en la fuente del Pájaro es de **origen subterráneo**, puesto que drena un acuífero que forman las **rocas calcáreas** de las lastras circundantes, allí donde el nivel freático toca el fondo del valle del arroyo Aguamala. El agua de la lluvia y la nieve fundida en los altos de Zamarramala se infiltra por las grietas y fisuras de las calizas y las va disolviendo, formando pequeñas cavidades (que se le denomina **acuífero kárstico**), por las que circulan hasta la fuente.



El resultado es que el agua que brota en la fuente del Pájaro está cargada de **bicarbonatos de calcio y magnesio**, siendo lo que popularmente se llama 'agua dura', con cierto 'sabor' y que no hace espuma con el jabón; de ahí el nombre del arroyo al que da lugar la fuente, Aguamala. Poniéndonos sentimentales, la fuente es donde brota el 'almíbar' en el que está empapado la gigantesca 'tarta borracha' de sedimentos que forman los altos y lomas entre Zamarramala y Valseca. Por lo tanto, para entender el origen y composición del agua de la fuente del Pájaro es fundamental entender la geología del subsuelo de este paraje y el funcionamiento hidrogeológico de las aguas subterráneas.

CONTEXTO GEOLÓGICO DE LA FUENTE DEL PÁJARO

El paraje de la fuente del Pájaro, desde el punto de vista geológico, se encuentra en el contacto o confluencia de dos de las principales unidades geológicas de la península Ibérica:

- Las **Cuencas y Cordilleras Alpinas** (Pirineos, Cordillera Ibérica, Béticas...), representadas aquí por las rocas y estructuras más occidentales de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, en la orla mesozoica del piedemonte septentrional de la Sierra de Guadarrama, con rocas de edad Cretácico Superior (entre 95 a 65 millones de años).
- Las **Cuencas Sedimentarias Cenozoicas** (como la Cuenca del Tajo, Duero, Ebro, Guadalquivir...), representadas aquí por las rocas del sector centro-meridional de la Cuenca sedimentaria cenozoica continental del Duero, subcuenca de Valverde del Majano, con rocas de edades que abarcan Paleógeno, Neógeno y Cuaternario (últimos 65 millones de años).

Sobre las rocas de la primera unidad se ubica la localidad de Zamarramala y su entorno, en plena lastra del piedemonte calcáreo. Se trata de dolomías, calizas, areniscas dolomíticas y margas, formadas en el lecho de antiguos mares cálidos subtropicales durante el Cretácico Superior, dispuestos en capas, estratos y bancos de dimensiones métricas; ligeramente basculados por plegamiento y fracturación (fallas) durante la orogenia Alpina.

Sobre las rocas y estructuras de la segunda unidad se ubica la localidad de Valseca, en plena campiña cerealista. Se trata de arenas, conglomerados, limos, arcillas, depositados desde el Paleógeno hasta el Cuaternario (la actualidad), en medios aluviales (abanicos aluviales y fluviales) por desmantelamiento de la Sierra de Guadarrama.

El límite entre ambas grandes unidades en el mapa geológico del entorno de los términos municipales de Valseca y Zamarramala-Segovia es muy recortado, con afloramientos de rocas de una u otra formando islotes y manchas irregulares (Figura 3).

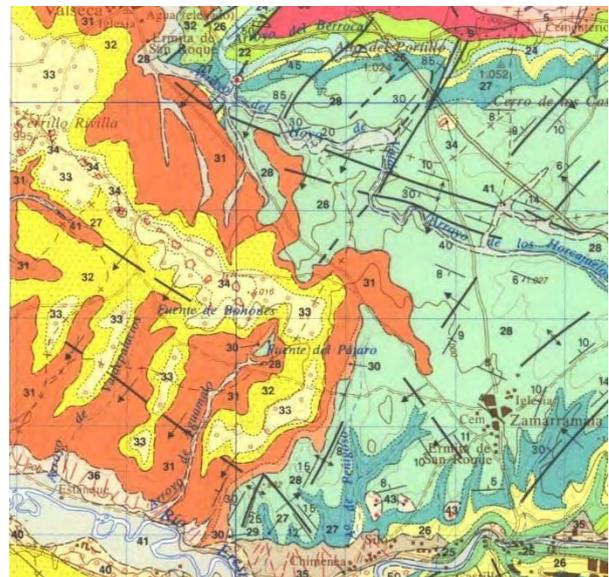


Figura 3. Extracto del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA) de la hoja 483 (Segovia), donde se observan los materiales del sustrato de Valseca (esquina superior izquierda) y Zamarramala (sector derecho e inferior de la imagen). Ver leyenda del Mesozoico y Cenozoico del mapa en la Figura 4. Fuente: Arenas et al. (1991).

LEYENDA

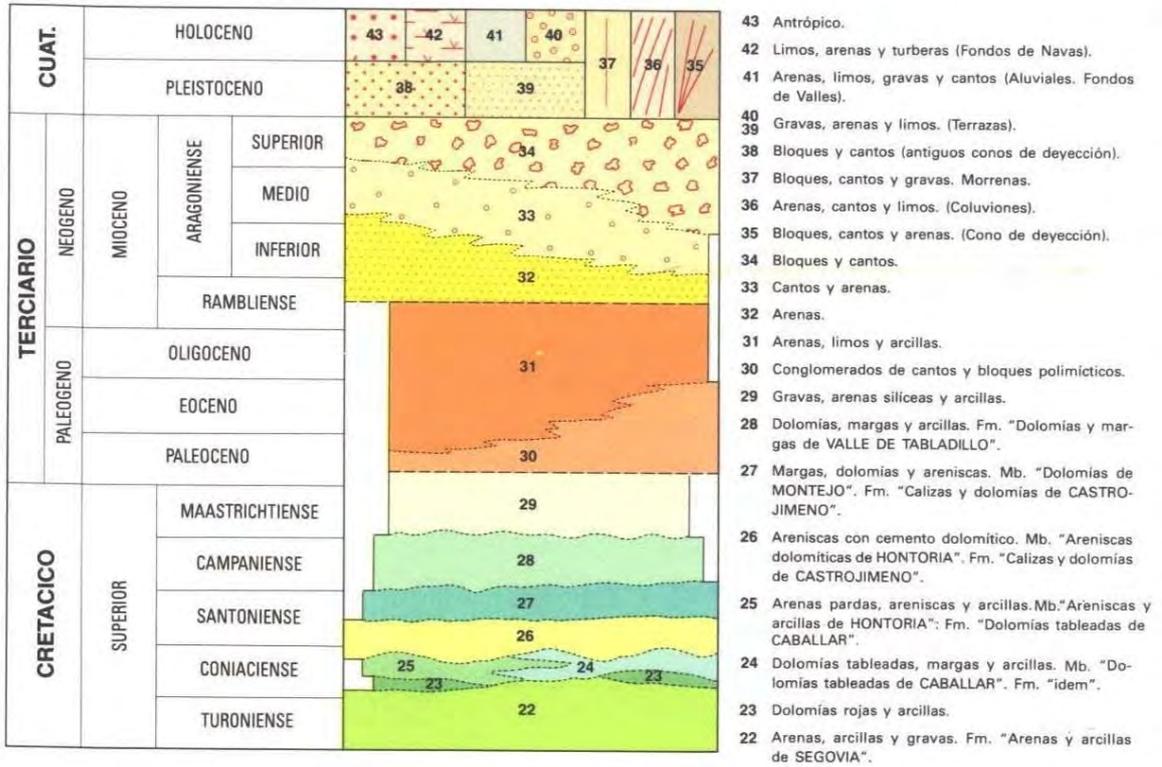
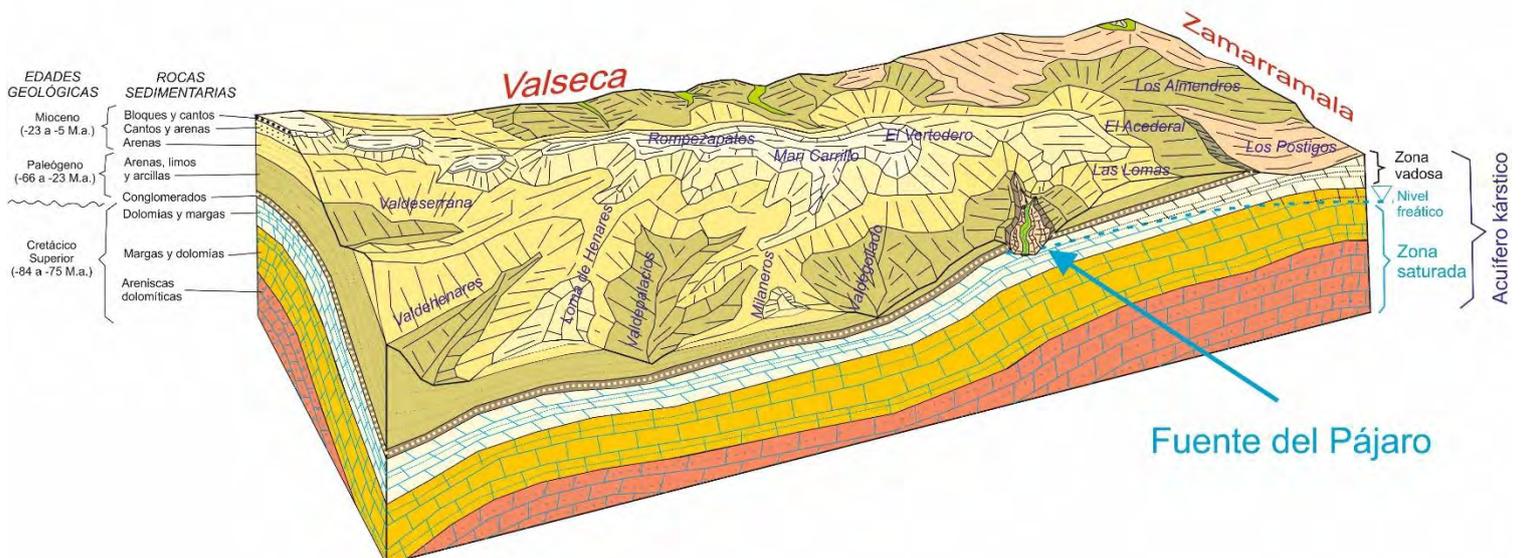


Figura 4. Leyenda del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA) de la hoja 483 (Segovia), correspondiente a las rocas del Mesozoico y Cenozoico. Fuente: Arenas et al. (1991).

Figura 5. Bloque diagrama geológico del entorno de Valseca y Zamarramala en el que se ubica la fuente del Pájaro, interpretado a partir del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA) de la hoja 483 (Segovia). Fuente: Andrés Díez Herrero (2022).



Más en detalle, el subsuelo de la fuente constituye un pequeño afloramiento, de morfología triangular en planta (Figura 6), de las rocas calcáreas cretácicas (dolomías, calizas y margas), rodeado por materiales del Paleógeno y Neógeno.

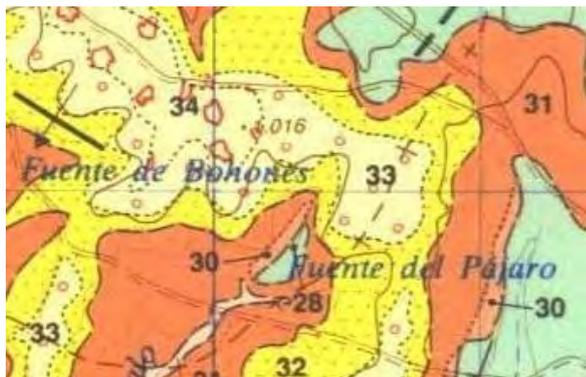


Figura 6. Extracto del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA) de la hoja 483 (Segovia), donde se observan los materiales del entorno inmediato de la fuente del Pájaro (en el centro de la figura, dentro del polígono subtriangular verdoso). Fuente: Arenas et al. (1991).

En profundidad, ese pequeño afloramiento de rocas calcáreas donde se sitúa la fuente del Pájaro, corresponde a la charnela (zona de máxima curvatura) de un amplio pliegue anticlinal en las rocas cretácicas, cubierto por las rocas sedimentarias cenozoicas (conglomerados, arenas, limos, arcillas); y todo ello desventrado por la erosión del arroyo de Aguamala durante el Cuaternario, dejando todos estos materiales al descubierto en ambas laderas.

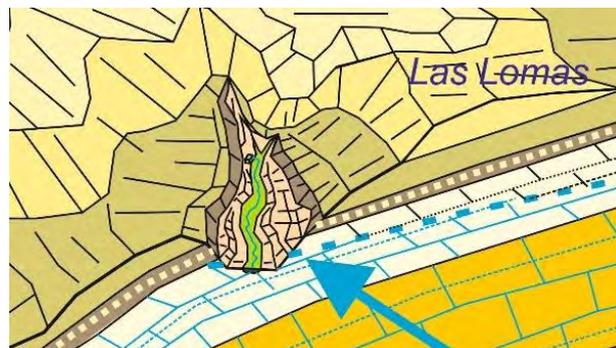
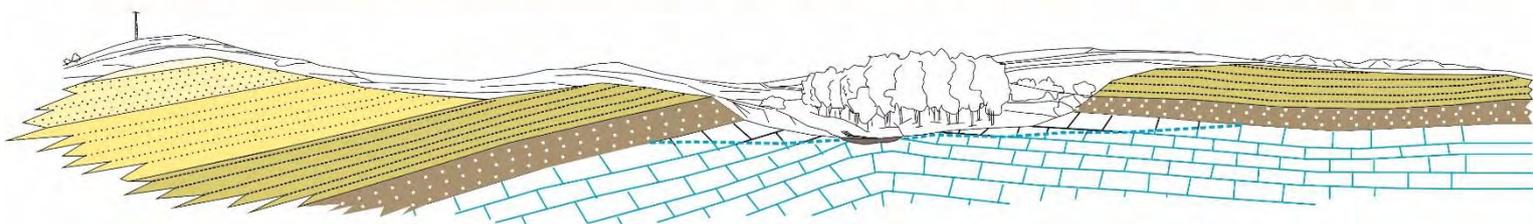


Figura 7. Detalle del bloque diagrama geológico del entorno de Valseca y Zamarramala en el que se ubica la fuente del Pájaro, deducido del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA) de la hoja 483 (Segovia). Fuente: Andrés Díez Herrero (2022).

Figura 8. Vista panorámica de la fuente del Pájaro (en la arboleda central) y su entorno (arriba) y corte geológico idealizado de los materiales del subsuelo, con las rocas calcáreas (blanco) y detríticas (conglomerados, arenas, limos y arcillas (pardo y amarillo)). Fuente: Andrés Díez Herrero (2022).



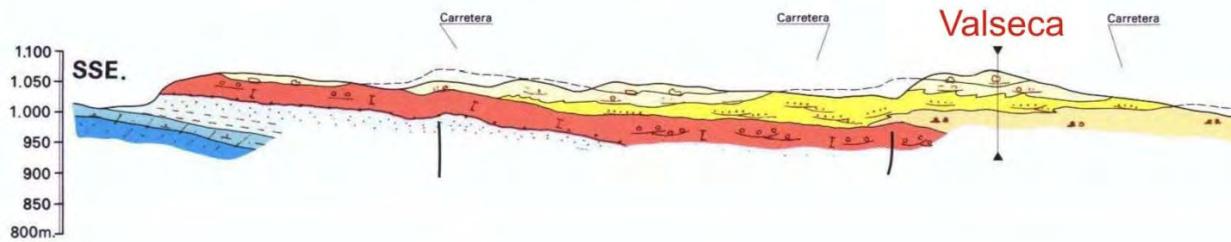


Figura 9. Extracto de un corte geológico SSE-NNW con la disposición de facies en la que se ubica la localidad de Valseca. Fuente: Del Olmo et al. (1986-87).

Las rocas sedimentarias cenozoicas del entorno de la fuente del Pájaro se formaron a lo largo de los últimos 65 millones de años (cuando empezó el abombamiento y levantamiento del Sistema Central), por la erosión de los relieves de la Sierra de Guadarrama y el arrastre de sedimentos por torrentes y arroyos hasta la actual posición de Valseca.

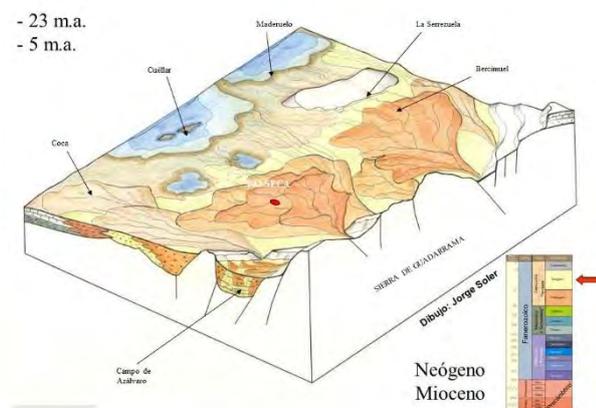


Figura 10. Reconstrucción idealizada de la provincia de Segovia durante el Mioceno, con la posición que ocuparía la actual localidad de Valseca. Dibujo: Jorge Soler Valencia (Q.E.P.D.). Fuente: Díez-Herrero y Martín Duque (2005).

Como el depósito de estos arrastres se produjo de forma entremezclada en unos ambientes llamados abanicos aluviales, en un mismo banco o capa de sedimento se puede encontrar entremezclados: cantos rodados silíceos (cuarzo, otras variedades de la sílice, granitoides, gneises); gravas y arenas arcósicas

compuestas de cuarzo, feldespatos (que aportan aluminio, potasio, sodio y calcio a los suelos) y micas (que aportarán hierro, potasio, magnesio y otros cationes); y limos y arcillas, con composiciones variadas, tanto illíticas (que aportan potasio), como esmectíticas (que aportan magnesio), e incluso arcillas especiales con propiedades absorbentes del agua (como sepiolita y palygorskita; la llamada 'tierra de Valseca', ya mencionada en el siglo XVIII por el químico francés Louis Proust).

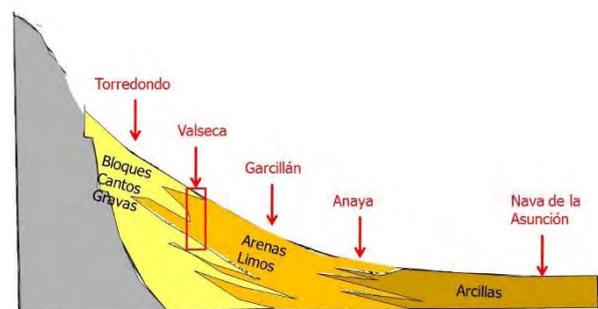


Figura 11. Corte geológico simplificado desde los relieves de la Sierra hacia la campiñas y llanos, con la distribución de facies texturales y sus cambios laterales de facies; y situación de Valseca.

Además, estos mantos o capas de sedimentos varían tanto en la vertical como lateralmente en superficie (los llamados 'cambios de facies' por los geólogos), por lo que dentro de un mismo paraje o parcela, podemos tener mezclas de texturas y composiciones.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DE LA FUENTE DEL PÁJARO

Esos dos grandes conjuntos geológicos presentes en el subsuelo del entorno de la fuente del Pájaro constituyen también dos grupos de formaciones acuíferas que contienen y transmiten aguas subterráneas:

- **Acuífero kárstico** en los materiales carbonáticos cretácicos (dolomías, calizas, areniscas dolomíticas, margas), con diferentes niveles acuíferos y acuitados según el grado y tipo de la karstificación de los bancos de roca calcárea.
- **Acuíferos detríticos** en los materiales cenozoicos (arenas, conglomerados y limos), con diferentes acuíferos, acuitados y acuíclados en los distintos niveles y bancos de sedimentos del Paleógeno, Neógeno y Cuaternario.



Figura 12. Extracto del Mapa Hidrogeológico de España 1:200.000 de la hoja 38 5-5 (Segovia), donde se observan las diferentes formaciones acuíferas del entorno inmediato de la fuente del Pájaro (punto rojo), situada en la unidad beige número 5 (Terciario detrítico del Duero) y próxima a las unidades blancas 'enladrillada' en verde números 8 y 9 (Mesozoico calcáreo). Fuente: ITGE (1991).

Ambos tipos de acuíferos se corresponden, a grandes rasgos, con las unidades hidrogeológicas presentes en la zona; unidades que coinciden, a su vez, con las unidades geológicas definidas anteriormente. Así, la unidad geológica de las Cuencas y Cordilleras Alpinas, a la que se adscriben los materiales carbonáticos del entorno de Zamarramala, dan lugar a la definición de la masa de agua subterránea denominada "400057 Segovia", a partir de un acuífero de tipo kárstico. Por su parte, la unidad geológica de las Cuencas Sedimentarias Cenozoicas, compuesta, en cambio, por sedimentos detríticos de tipo gravas, arenas, limos y arcillas configura la masa de agua subterránea 400055 en un acuífero de tipo detrítico denominada (PHD 2021-2027) "Curso medio del Eresma, Pirón y Cega" (anteriormente llamada "Cantimpalos"). Ambas masas de agua constituían el acuífero único que tradicionalmente se denominó Sistema nº II (Cretácico y Terciario de la fosa de Segovia; ITGE, 1991).



Figura 13. Extracto del Mapa de situación del sistema de explotación 021.09 (Adaja-Cega) y las masas de agua subterráneas alrededor de la ciudad de Segovia. EG04_02109_map_1. Fuente: IGME y DGA (2009).

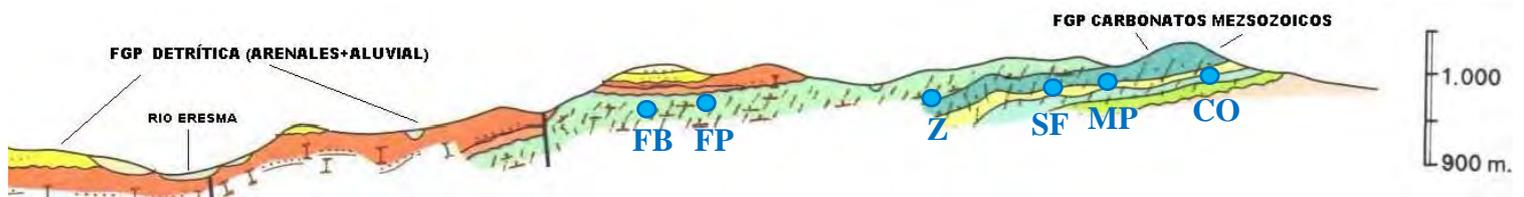


Figura 14. Corte geológico en la zona del Eresma del sistema de explotación Adaja-Cega, con las dos formaciones geológicas permeables (FGPs) de los dos conjuntos de formaciones acuíferas; y situación relativa de los principales manantiales del acuífero kárstico (FGP carbonatos mesozoicos): CO, Caño del Obispo; MP, Monasterio del Parral; SF, Santuario de La Fuencisla; Z, Zorroclín; FP, Fuente del Pájaro; FB, Fuente de Bohones. Fuente: IGME y DGA (2009).

Hidrogeológicamente, la fuente del Pájaro constituye un punto de descarga del acuífero carbonatado kárstico (al situarse topográficamente más elevado, en su posición adosada a los relieves de la Sierra de Guadarrama) hacia la red fluvial que da lugar al arroyo de Aguamala, cuyas aguas descargan en el río Eresma apenas un kilómetro más abajo. En la zona existen otros manantiales de descarga del acuífero kárstico, algunos de ellos muy conocidos, como son: Zorroclín, Santuario de la Fuencisla, Monasterio del Parral y Caño del Obispo, entre otros.

La fuente del Pájaro se sitúa, espacialmente, sobre la delimitación de la masa de agua subterránea detrítica; si bien una observación hidrogeológica del entorno permite establecer que el origen genético se encuentra en las calizas y dolomías cretácicas (acuífero kárstico) como así lo atestigua afloramiento de dolomías que se pueden observar en el punto de surgencia y su entorno inmediato.

La posición de la fuente del Pájaro revela la posición del nivel piezométrico del acuífero cretácico, allí donde la erosión de la red de drenaje superficial ha permitido aflorar estos materiales.



Figura 15. Aspecto actual del murete de mampostería de dolomías y calizas, y la arqueta de concentración del agua (tapada con una laja de pizarra) del manantial de la Fuente del Pájaro.

El vecino manantial de Bohones no ha generado la incisión en los materiales neógenos suficiente para hacer aflorar las dolomías y calizas; sin embargo, se podría interpretar un origen genético similar. El hecho de que la descarga del acuífero kárstico cretácico no haya alcanzado la superficie puede ser la razón de que este manantial se presente en forma de zonas húmedas y encharcadas (bohones o bohonal).

ACUÍFERO KÁRSTICO

El acuífero kárstico está formado por los materiales carbonáticos cretácicos (fundamentalmente dolomías, calizas y areniscas dolomíticas subhorizontales, inclinadas por plegamiento o falladas), karstificados parcialmente a favor de diaclasas y superficies de estratificación, con alta permeabilidad y constituye la principal aportación subterránea que recibe la cabecera del sistema de explotación.

Funciona en régimen libre, recargándose por medio de la infiltración del agua de lluvia y retornos de riegos y descargándose principalmente por medio del drenaje hacia ríos y por descargas laterales hacia los materiales detríticos cenozoicos.

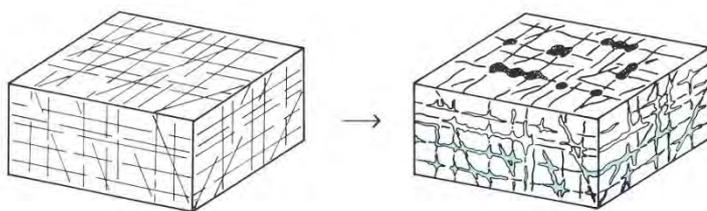
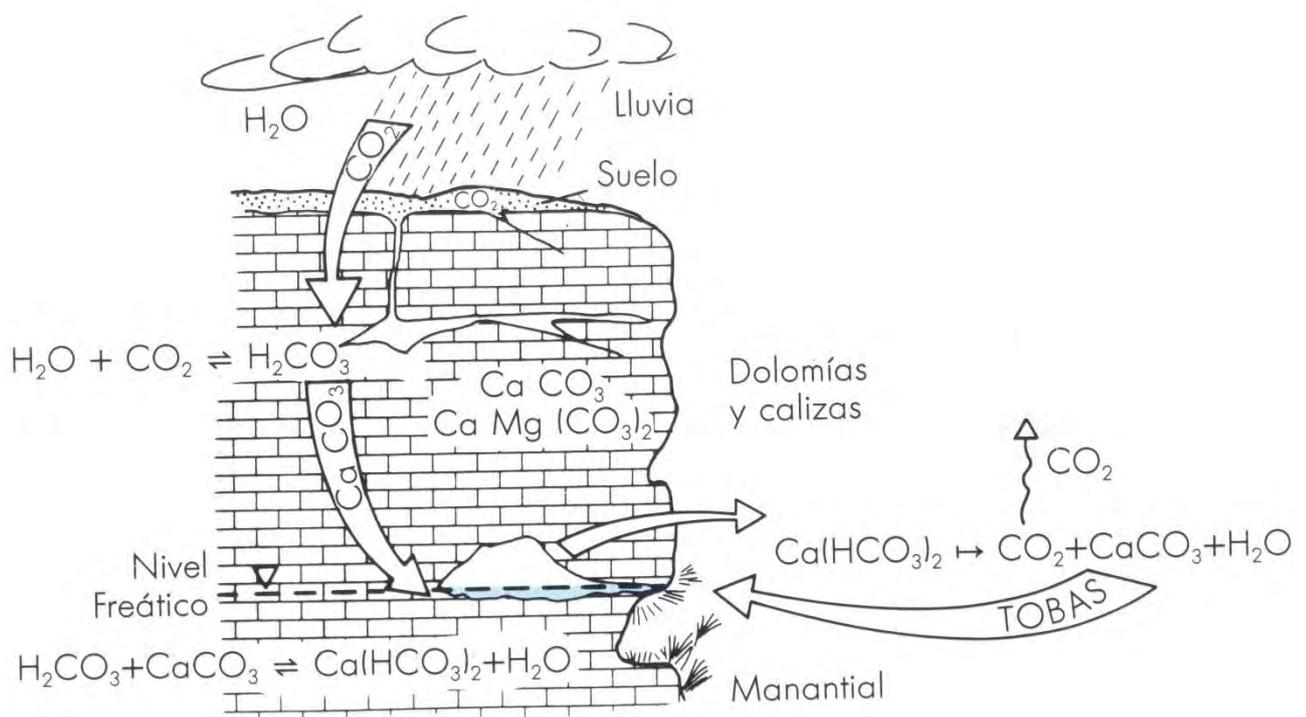


Figura 16. Esquemas de un macizo calcáreo, como las lastras entre Zamarramala y el término de Valseca, con los procesos y reacciones químicas de la karstificación y formación de un acuífero kárstico, y su drenaje por un manantial o surgencia, como la fuente del Pájaro. Fuente: Díez Herrero y Martín Duque (1993).

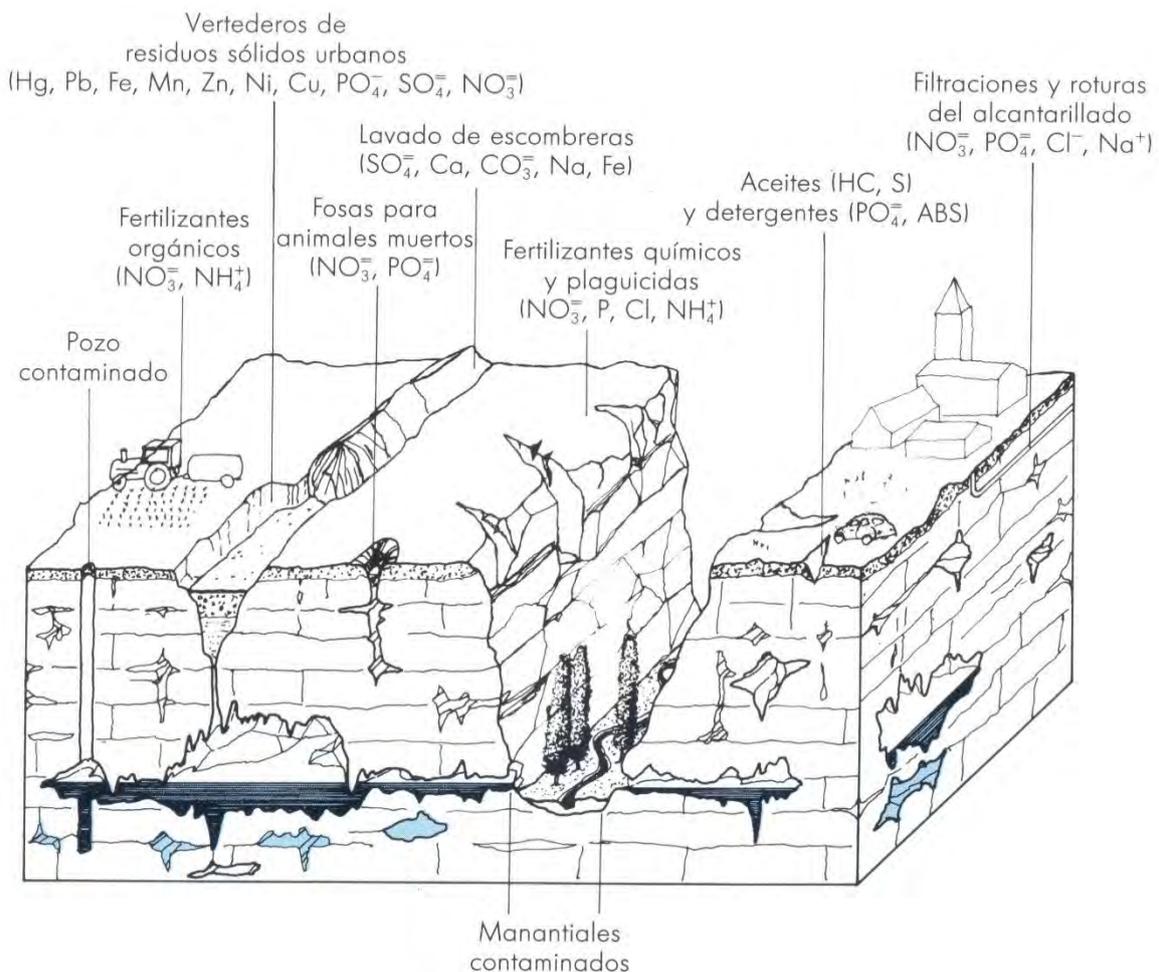
Las principales fuentes de contaminación de estos acuíferos kársticos del entorno de Segovia son las actividades antrópicas establecidas en la zona de recarga del acuífero, tanto agrícolas, ganaderas, industriales o de vertido de residuos urbanos (como en su día pudo ser el vertedero del barranco del Peñigoso, en Zamarramala).

Como el agua subterránea en los acuíferos kársticos circula por conductos y fisuras, apenas tiene posibilidad de autodepuración, y se transmite la contaminación a gran velocidad desde la zona de recarga a las zonas de descarga, manantiales, ríos o pozos.



Figura 17. Vista de la cabecera del barranco del Peñigoso (Zamarramala), con el talud septentrional del relleno por el antiguo vertedero de residuos sólidos urbanos (V.R.S.U.) de la ciudad de Segovia (contorno con línea discontinua), hoy en día sellado y restaurado.

Figura 18. Principales fuentes de contaminación (por elementos, iones y compuestos químicos emitidos) en un acuífero kárstico como el existente bajo las lastras de Zamarramala hacia el valle del río Eresma. Fuente: Díez Herrero y Martín Duque (1993).



ACUÍFEROS DETRÍTICOS

El acuífero está formado por materiales detríticos (conglomerados, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas) depositados en medios aluviales a lo largo de todo el Cenozoico: abanicos aluviales paleógenos y neógenos; y rellenos aluviales-coluviales de vaguadas y llanuras de inundación cuaternarias. Por ello, tiene una geometría en niveles, capas y paquetes de morfologías planares y husiformes, con cambios laterales de facies y acuñamientos e interdigitaciones frecuentes de paleocanales, mantos y depósitos de llanura.

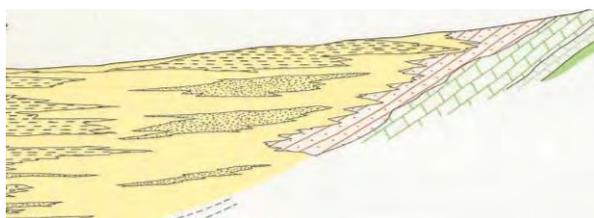


Figura 19. Corte geológico esquemático de disposición de las facies detríticas cenozoicas (beige) relleno de la cubeta sedimentaria adosada a las rocas carbonáticas cretácicas (enladrillado verde). Fuente: IGME y DGA (2009).

Por ello, los diferentes niveles y capas constituyen distintas formaciones acuíferas, desde acuíferos libres y confinados, hasta acuitardos y acuícludos.



Figura 20. Tipos de acuíferos detríticos según sus características hidrodinámicas. Fuente: Sistema Integrado de Información del Agua (SIA).

Las formaciones acuíferas se recargan por medio de la infiltración del agua de lluvia y retornos de riegos; y descargan principalmente por medio del drenaje hacia ríos y por descargas laterales hacia los materiales carbonáticos cretácicos.

La porosidad efectiva y permeabilidad de cada nivel de la formación acuífera depende de la mayor o menor presencia de niveles arenosos o de gravas y cantos, de su tamaño de grano y selección granulométrica. Por ello, los lentejones de arenas y gravas, englobados en una matriz limo-arcillosa semi-impermeable hacen que se comporte en conjunto como un acuífero heterogéneo y anisótropo, confinado o semiconfinado según zonas y profundidades (IGME y DGA, 2009). De ahí que los niveles freáticos en las captaciones (norias, pozos y sondeos) varían localmente y en su distribución espacial.



Figura 21. Diferentes niveles de captación en los sondeos en un acuífero detrítico y efecto del cono de depresión de la superficie freática por bombeo desde los niveles permeables. Fuente: IGME.

Las líneas generales del flujo subterráneo se dirigen en dirección general NW, existiendo cierto drenaje transversal hacia los ríos afluentes.

Valseca ... ¿de Boones o de Bodones?

Durante algunos periodos de la historia moderna (a partir del siglo XVI) y contemporánea (siglo XIX), la localidad de Valseca ha recibido el añadido “de Boones”, en alusión a la integración del despoblado con dicho nombre en su actual término municipal.

Diversos autores han escrito sobre el origen del nombre de Boones, Bohones o Buhones, relacionándolo algunos con buhoneros (vendedores ambulantes de mercaderías) y otros con los boyeros (personas que cuidan o conducen los bueyes; García, 1992).

Sin embargo, un **bohonal** o **bodonal** es un lugar con drenaje deficiente donde se originan encharcamientos. Según el diccionario de la Real Academia Española, un **bodón** es, en primera acepción, una charca o laguna invernal que se seca en verano; y en segunda acepción, un espadañal.

En el paraje donde se ubicó el ahora despoblado de Boones se sitúa una vaguada con manantiales difusos que drenan un nivel del **acuífero detrítico superficial**, en el que estacionalmente se producirían encharcamientos y abunda la vegetación freatofítica, como juncos.

Para confirmar más la relación de Boones con la hidrogeología, la tradición oral dice que los habitantes de esta localidad “...murieron envenenados por una serpiente que se introdujo en la fuente” (García, 1992, p. 13). De hecho, en 1842 hubo desavenencias con Zamarramala por el aprovechamiento de hierbas en el barranco de la Fuente del Pájaro y la situación de la cotería en relación con “aguas vertientes”.

Los garbanzos de Valseca, los suelos y las aguas subterráneas



Como todo el mundo sabe, el buen desarrollo de los cultivos agrícolas y la cantidad y calidad de sus productos resultantes dependen de varios factores, fundamentalmente: las semillas, de especies y variedades genéticamente buenas y adecuadas; el clima y la meteorología local en cada ciclo vegetativo, tanto por la temperatura ambiente, la precipitación, la humedad, la insolación y los eventos y extremos meteorológicos (heladas, olas de calor, sequías, inundaciones, granizadas...); las prácticas agrícolas y el buen hacer de los agricultores; y en último lugar, pero no menos importante, del **substrato, terreno o suelo** sobre el crecen las plantas, por su textura, estructura, composición y grado de humedad y nutrientes.

En el caso concreto de los afamados garbanzos de Valseca, este último aspecto, el suelo (estudiado por una disciplina científica llamada Edafología), ha sido pormenorizadamente analizado por el Laboratorio Agropecuario Provincial de la Sección Agraria y Calidad del Agua de PROdestur Segovia (Diputación de Segovia), como parte indispensable del Informe de justificación de la Marca de Garantía ‘Garbanzo de Valseca’.

Parámetro / unidades	Resumen de Resultados			MED. ABS.	Interpretación
	Media por zonas				
	Z. Norte	Z. Media	Z. Sur		
Arena %	61,04	42,43	61,04	54,84	-
Limo %	13,25	24,97	13,25	17,16	-
Arcilla %	25,70	32,60	25,70	28,00	Suelo medio a pesado
Clasificación USDA	-	-	-	-	-
pH	7,51	7,53	7,51	7,52	Medianamente básico
CE dS/m	0,16	0,13	0,16	0,15	No salinos
Nitrógeno total %	0,13	0,12	0,13	0,13	Normal
Carbonatos %	2,21	0,03	2,21	1,48	Muy bajo
Caliza %	-	-	-	-	-
Materia Orgánica %	1,28	1,22	1,28	1,26	Bajo
Fósforo asimilable Olsen ppm	16	17	16	16	Bajo
Potasio asimilable ppm	209	189	209	202	Bajo
Relación C/N	5,73	6,00	5,73	5,82	Bajo

Tabla I. Resumen de resultados de análisis físico-químico de suelos del Municipio de Valseca. Fuente: PROdestur Segovia (2018).

A través de centenares de análisis físico-químicos y estudios llegan a la conclusión de que las características edafológicas de los suelos sobre los que crecen los garbanzos que se cultivan en Valseca son:

- Textura (distribución del tamaño de grano de las partículas): media a pesada (arcilla >10%); por lo general el contenido en arcilla se encuentra en el rango del 20% al 35 %.
- Bajo porcentaje de carbonatos, menor al 10%.
- Bajo contenido en materia orgánica, menor al 1,5%.
- No salino, conductividad eléctrica a 25°C menor de 0,4 mS/cm.
- pH medianamente básico (7,4 a 7,8).
- Baja fertilidad (bajo contenido en nitrógeno y fósforo; en cuanto al potasio, los valores son más variables).

Los tres primeros aspectos edafológicos son los que se consideran que dan a los garbanzos de Valseca su buena calidad característica, unido por supuesto a la variedad local, clima y esmero en la producción y manejo de la cosecha.

Respecto a la **textura**, el cultivo de garbanzos prefiere las tierras silíceo-arcillosas o limo-arcillosas. En tierras muy arcillosas la producción es similar pero la calidad disminuye, ya que el exceso de arcilla suele dar

lugar a una piel basta del grano; si bien, es imprescindible para su cultivo en secano un contenido mínimo que permita la acumulación de agua en el terreno. El rango de arcilla (%) adecuado para el cultivo del garbanzo de Valseca sería: un mínimo de un 10% de arcilla para permitir una acumulación suficiente de agua para el desarrollo de cultivo; y no más de un 40% de arcilla para evitar el detrimento en la calidad (PROdestur Segovia, 2018). Esto corresponde, dentro del rango del diagrama triangular de texturas, a los suelos denominados ‘francos’, esto es, con parecidas proporciones de arena, limo y arcilla; y a todas sus variedades: francos-arcillosos, franco-limosos, franco-arenosos...

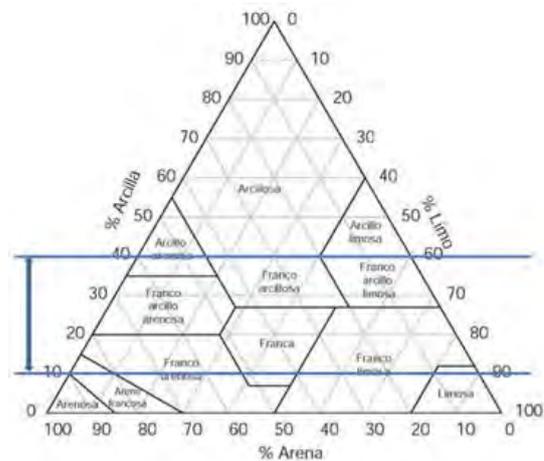


Figura 22. Clasificaciones de Suelos USDA para el rango de porcentaje de arcilla adecuado para el cultivo del garbanzo de Valseca entre un 10% y un 40%. Fuente: PROdestur Segovia (2018).

Respecto al **contenido en carbonatos del suelo**, favorece a la finura del grano del garbanzo la ausencia o bajo contenido de ellos (carbonatos totales <10%); aunque pueden producirse garbanzos de buena calidad en terrenos calizos, siempre que sean muy ricos en potasa (potasio asimilable \geq 150 ppm), pues el potasio abundante detiene en la planta la absorción de cal, y además se tendrá en cuenta que la caliza activa no supere el 5%.

Finalmente, las tierras con elevado porcentaje de **materia orgánica**, y más sin descomponer, tampoco favorecen a la calidad.

Pero los garbanzos en Valseca no se han cultivado históricamente ni se siembran en la actualidad en cualquier sitio. Hay tres sectores del término municipal, todos ellos en la parte occidental, donde se concentran la mayoría de los cultivos de garbanzos: zona nor-(o)este, en los parajes de La Redonda y El Canto (hacia Los Huertos); zona media-(o)este, en el paraje de Arquites (hacia Hontanares de Eresma); y zona sur-(o)este, en los parajes de Rompezapatos y El Parralejo (hacia Lobones).

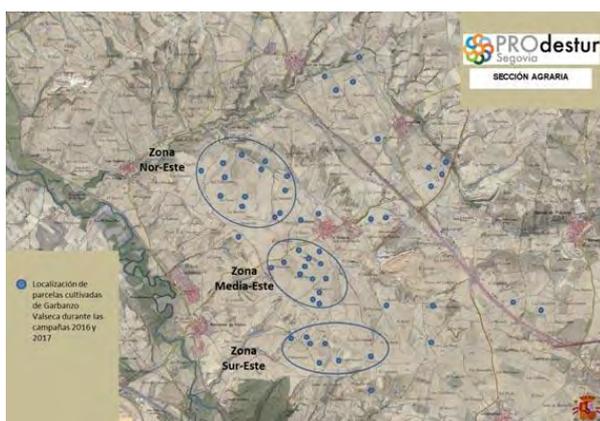


Figura 23. Mapa de localización de parcelas cultivadas de garbanzo de Valseca en las campañas 2016 y 2017 por productores de la Asociación para el desarrollo del Garbanzo de Valseca. Fuente: PROdestur Segovia (2018).

Y estos parajes de Valseca no están sobre los berrocales y terrenos pedregosos en los granitos; ni en las lastras y cuestras arenosas sobre las calizas, dolomías y arenas silíceas; sino solo y exclusivamente sobre las campiñas y llanos desarrolladas sobre las rocas sedimentarias cenozoicas (antes llamadas ‘terciarias’), con conglomerados, arenas, limos y arcillas. Justo son la **zona no saturada (vadosa) del acuífero detrítico cenozoico**.

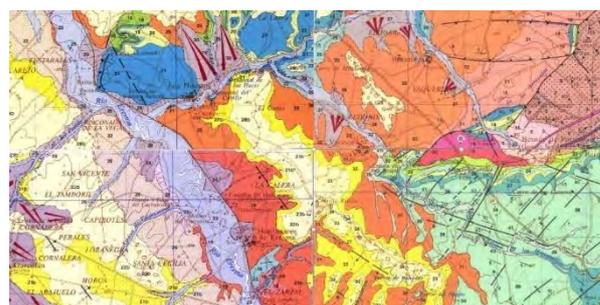


Figura 24. Composición de cuatro esquinas de los mapas geológicos a escala 1:50.000 de las hojas 456 (Nava de la Asunción), 457 (Turégano), 482 (Valverde del Majano) y 483 (Segovia), que comprende todo el término municipal de Valseca y colindantes.

Y más concretamente a un polígono irregular lobulado (como una hoja de roble), de disposición elongada sureste-noroeste (como las principales tierras de cultivo de garbanzos), que en el mapa geológico aparece con colores amarillos y la numeración 33 (cuadrante de Segovia), 22b (cuadrante de Valverde del Majano) y 28 b (cuadrante Nava de la Asunción). La leyenda de estos mapas identifica esta zona como: “Cantos y arenas”, de edad Aragoniense inferior a medio (entre hace 16 y 12 millones de años), dentro del Mioceno (Cenozoico).

Más hacia el sureste, en los términos de Bernuy de Porreros, Zamarramala y La Lastrilla, las mezclas de rocas del sustrato dan suelos más pedregosos, conglomeráticos, y arenosos, y además con demasiados carbonatos; y más hacia el noroeste, en los términos de Los Huertos, La Roda de Eresma y Carbonero de Ahusín, afloran rocas calcáreas con suelos pedregosos y demasiados carbonatos; y hacia el noreste (Encinillas) y suroeste (Hontanares de Eresma) las rocas del sustrato dan suelos demasiado arcillosos para el buen cultivo de los garbanzos. Valseca y sus alrededores están, por lo tanto, en el sitio perfecto por su geología para generar los suelos idóneos para cultivar sus afamados garbanzos.

FLORA Y VEGETACIÓN



Buena parte del recorrido desde las localidades de Valseca y Zamarramala está ocupado por campos de cultivo de secano (trigo, cebada, garbanzos...), pero en algunas lindes y en los eriales podemos reconocer especies vegetales que forman parte de las etapas de sustitución del encinar que se extendía hace siglos en las campiñas y los llanos como: retama (*Retama sphaerocarpa*), rosál silvestre (*Rosa canina*) y mejorana (*Thymus mastichina*).



Las lindes entre los campos de cultivo y las cunetas de los caminos cuentan con comunidades ruderales y nitrófilas en las que son frecuentes especies herbáceas de pequeño y mediano porte como: amapola (*Papaver rhoeas*), manzanilla bastarda (*Anthemis arvensis*), correhuela (*Convolvulus arvensis*), azulejo (*Centaurea cyanus*), viborera (*Echium vulgare*), cenizo (*Chenopodium album*), malva (*Malva sylvestris*), cardo corredor (*Eryngium campestre*), cardillo (*Scolymus hispanicus*) y gordolobo (*Verbascum pulverulentum*).



La vegetación cambia por completo en el entorno del manantial, donde se produce la surgencia difusa de aguas subterráneas, apareciendo vegetación freatófita dominada por juncas y prados húmedos mediterráneos (pastoreadas de forma permanente por el ganado ovino) sobre los que se plantó hace años una fresneda y por comunidades de plantas herbáceas de talla elevada en las zonas más húmedas o encharcadas, entre las que destacan el cardo cardador (*Dipsacus fullonum*) y la espadaña (*Thypha latifolia*).



FAUNA

Un punto permanente de agua en un ambiente mediterráneo seco, convierte a la Fuente del Pájaro, en un pequeño oasis húmedo en la campiña cerealista que es utilizado por la fauna del entorno para beber y refrescarse sobre todo en los meses estivales.

Los campos de cultivo cerealistas albergan una fauna específica que frecuentemente presenta tonos ocres y pardos para mimetizarse con el paisaje. Cuenta con numerosas especies de aves como: alondra común (*Alauda arvensis*), calandria común (*Melanocorypha calandra*), cojugada común (*Galerida cristata*), escribano triguero (*Emberiza calandra*), terrera común (*Calandrella brachydactyla*), perdiz roja (*Alectoris rufa*), codorniz común (*Coturnix coturnix*), mochuelo (*Athene noctua*), milano real (*Milvus milvus*), cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), busardo ratonero (*Buteo buteo*) y aguilucho cenizo (*Circus pygargus*). Posiblemente alguna de estas especies de aves, cuyo nombre no era conocido por las vecinas y vecinos de Zamarramala y Valseca, fueron las causantes de la denominación “Fuente del Pájaro”. Son también frecuentes en los linderos y eriales varias especies de mamíferos como: zorro (*Vulpes vulpes*), liebre (*Lepus capensis*) y topillo campesino (*Microtus arvalis*)

El arbolado presente en la Fuente del Pájaro y a lo largo de todo el Arroyo Aguamala ha facilitado el establecimiento por un lado, de especies de aves que requieren cierta cobertura arbórea pero que en invierno prospectan las áreas cerealistas buscando semillas como: jilguero (*Carduelis carduelis*), pardillo común (*Linaria cannabina*), serín verdicillo (*Serinus serinus*) y verderón común (*Chloris chloris*) y por otro lado, de especies consideradas como forestales: carbonero común (*Parus major*), herrerillo común

(*Cyanistes caeruleus*), pinzon vulgar (*Fringilla coelebs*) y petorrojo europeo (*Erithacus rubecula*). Los herbazales que crecen entre los fresnos son frecuentemente utilizados como lugar de alimentación y de reposo de jabalíes (*Sus scrofa*) y de corzos (*Capreolus capreolus*).



Por último, la zona encharcada cercana al manantial y el abrevadero es un lugar de cría de diversas especies de anfibios como: rana común (*Pelophylax perezi*), sapo común (*Bufo spinosus*) y sapo corredor (*Epidalea calamita*). Es necesario compatibilizar el uso ganadero de este punto de agua con la actividad de ranas y sapos para facilitar su supervivencia en lugares donde la disponibilidad de zonas húmedas para su reproducción es muy limitada.



AGRADECIMENTOS

Al Laboratorio Agropecuario Provincial de la Sección Agraria y Calidad del Agua de PROdestur Segovia (Diputación de Segovia), y en especial a Elena Soblechero, Ana Escorial, María Gómez y Magdalena Rodríguez (Vicepresidenta de la Diputación), por facilitarnos toda la información y documentos necesarios para realizar este estudio divulgativo y poner todo tipo de facilidades a su publicación y divulgación pública. Y por continuar con la labor de muestreo y análisis de suelos en la Marca de Garantía Garbanzo de Valseca, con el fin de mejorar la calidad y prestigio del producto.

A la Asociación para el Desarrollo del Garbanzo de Valseca y varios de sus miembros, como Eva Herranz, Ignacio Rincón, José María de Marcos y otros tantos que siempre nos han transmitido su conocimiento y sabiduría sobre el garbanzo y su cultivo en Valseca.

A los vecinos de Valseca, por su apoyo incondicional a nuestras iniciativas, empezando por su cronista, Álvaro Pinela, y a José Luis Herranz; los colectivos como la Peña Rondaera; y a su exalcalde, Alfonso Gil.

A los vecinos de Zamarramala, la asociación de vecinos y amigos 'Pinilla', y en particular a: Pepa y José Mate; Bea y Susana (restaurante El Alcázar); y Jesús y María (restaurante La Alcaldesa); por su apoyo a todas nuestras iniciativas

A la Junta Directiva de la Asociación Internacional de Hidrogeología, y en particular a su Presidenta, la Dra. Carolina Guardiola Albert (IGME, CSIC); y la coordinación a nivel nacional del Hidrogeodía, y, en particular, a Almudena de la Losa (IGME, CSIC).

MONITORES-GUÍAS DEL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2024



Coordinación provincial Hidrogeodía 2024 Segovia:

Andrés Díez Herrero
(Geología de Segovia, GSg, e IGME-CSIC)

Guías-monitores del Hidrogeodía 2024 Segovia:

- Fuencisla Vicente Rodado (GSg e IES Vega del Pirón)
- Juana Vegas Salamanca (GSg e IGME-CSIC)
- Nuria Sacristán Arroyo (GSg e IES Peñalara)
- Gonzalo Lozano Otero (GSg e IGME-CSIC)
- Alberto Díez Herrero (GSg y Segovia Educa en Verde - Talher)
- Jesús del Pozo Tejado (GSg y Tragsatec)
- Suset Barroso-Solares (GSg y UVa)
- Andrés Díez Herrero (GSg e IGME-CSIC)

Para saber más ...

Arenas Martín, R., Fuster J.M., Martínez-Salanova, J., del Olmo Sanz, A., Villaseca, C. (1991). *Mapa geológico de la Hoja nº 483 (Segovia)*. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid.

Del Olmo, A., Martínez-Salanova, J., Martín Parra, J.M. J.G. (1986-87). *Mapa geológico de la Hoja nº 482 (Valverde del Majano)*. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid.

Díez, A. y Martín, J.F. (1993). Geología, geomorfología y paleontología; Hidrología e hidrogeología. En: Abella, J.A. y Yoldi, L. (Coord.). *Varios autores (1993). Segovia: ecología y paisaje. Guía para una comprensión integral de la Ciudad, 37-49*, Ed. MOPT, MEC, MAP y otros, Valladolid, 416 pp.

Díez Herrero, A. y Martín-Duque, J.F. (2005). *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. En: Abella Mardones, J.A.; Salinas, B. y Yoldi, L. (Coords.), Colección Hombre y Naturaleza, VII. Ed. Junta de Castilla y León, 464 págs.

Díez Herrero, A.; De Marcelo Rodao, G.; Díez Herrero, A.; Escobar Burgueño, A. (2022). *Los desastres naturales en la cultura tradicional segoviana*. Colección Becas de Investigación, 16. Instituto de la Cultura Tradicional Segoviana 'Manuel González Herrero', Diputación de Segovia, Segovia, 320 pp. (295 pp + 5 Anexos).

García García, T. (1992). *Valseca de Boones*. Ayuntamiento de Valseca y Caja Segovia Obra Social. Segovia, 124 pp + anexo fotográfico.

IGME y DGA (2009). *Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. 021.09 Adaja-Cega*. Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Dirección General del Agua (DGA) e Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, 66 pp.

ITGE (1991). *Memoria del mapa hidrogeológico de la Hoja nº 38 (Segovia)*. Mapa Hidrogeológico de España E. 1:200.000. Primera edición. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, Mapa + Información Auxiliar + Memoria, 135 pp.

PROdestur Segovia (2018). *Suelos. Extracto Informe justificativo Marca de Garantía 'Garbanzo de Valseca'*. Laboratorio Agropecuario Provincial. Sección Agraria y Calidad del Agua. PROdestur Segovia, Diputación de Segovia, 9 pp. (documento inédito amablemente facilitado por Dña. Elena Soblechero).

Sacristán Arroyo, N. y Vicente Rodado, M. F. (2018). *Las piedras y los paisajes en la cultura tradicional de Segovia. Primera aproximación a la etnogeología segoviana*. Instituto de la Cultura Tradicional Segoviana "Manuel González Herrero". Diputación Provincial de Segovia. 420 pp.

OTROS RECURSOS DE UTILIDAD PARA EL HIDROGEODÍA 2024

Entradas en la web Geología de Segovia de utilidad en el Hidrogeodia Segovia 2024

- Hidrogeodía Segovia: <https://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-segovia/>
- Hidrogeodía Segovia 2024: <https://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-2024-segovia/>

- Fuente del Pájaro: <https://www.geologiadesegovia.info/fuente-del-pajaro/>

- Cruz de Justo Herranz (minero fallecido de Valseca): <https://www.geologiadesegovia.info/in-memori-am-justo-herranz-1758-minero-de-valseca/>
- Garbanzos de Valseca: <https://www.geologiadesegovia.info/sobre-que-crecen-los-garbanzos-de-valseca/>
- Geo-ruta antigua de Valseca, parada 06: <https://www.geologiadesegovia.info/geo-ruta-valseca-06/>
- Carrera del Garbanzal: <https://www.geologiadesegovia.info/corre-por-la-sabana-y-anda-sobre-las-aguas-del-mar-sin-salir-de-valseca/>

- Las Lastras calcáreas: <https://www.geologiadesegovia.info/de-la-lastra-a-asia/>

- Montón de trigo, de paja y de tamo: <https://www.geologiadesegovia.info/monton-de-trigo-de-paja-y-de-tamo/>

¿Cómo citar este documento o parte de él como referencia bibliográfica?

Díez Herrero, A. (Coord.); Sacristán, N.; Vegas, J.; Vicente, F.; Del Pozo, J.; Lozano, G.; Barroso, S.; Pinela, A.; Pascual, E.; Díez, A. (2024). *Fuente del Pájaro: lugar de confluencias. Guía del Hidrogeodía 2024 Segovia*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español, Asociación Geología de Segovia y 'Segovia Educa en Verde' (Ayuntamiento de Segovia), Segovia, 22 pp.



Tarragona

Un paseo hidrogeológico por el Valle Bajo del Ebro, entre Tortosa y el Delta.

23 de marzo de 2024



EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA
Plazas limitadas.
Se recomienda llevar ropa y calzado cómodo.
Desplazamiento en minibus (gratis).

PUNTO DE ENCUENTRO:
Passeig de Ribera, 11. Tortosa
(Auditori Felip Pedrell - Puerta Escola
Municipal de Teatre)

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA
e-mail de contacto: mpbarrero@gencat.cat
Las reservas serán por orden de inscripción,
hasta un máximo de 25 participantes.

Hora de encuentro: 9:00
Hora de llegada (estimada): 14:30

Información detallada y folleto de la excursión en: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024/>



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 para su realización se ha contado con la colaboración de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) y del Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Tarragona (CETIT). La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos/as y abiertas a todo tipo de público, sin importar sus conocimientos en la materia.

En la **provincia de Tarragona**, el **Hidrogeodía 2024** se celebra en el Valle bajo del río Ebro, entre las poblaciones de Tortosa y Amposta. Se llevará a cabo una visita guiada por varios puntos representativos, siendo el hilo argumental de la visita las aguas subterráneas de esta zona y las particularidades de la descarga de los acuíferos de este sector visitando 2 zonas de "ullals" (surgencias). Se realizarán cuatro paradas temáticas:

- 1) Explanada exterior del Parador de Tortosa (contexto general).
- 2) Las captaciones de aguas subterráneas y la importancia de las buenas prácticas en su construcción.
- 3) Ullal de la Carroba.
- 4) Ullals de Baltasar.

ITINERARIO

El punto de encuentro de nuestro recorrido es la puerta de l'Escola Municipal de Teatre – Auditori Felip Pedrell, en Passeig de Ribera, 11 de Tortosa.

Los participantes tienen amplias zonas para aparcar sus coches en esta parte de la ciudad.

Recepción. 9:00 h

Sobre las 9:10 salida en minibús hacia el Parador de Tortosa.

Parada 1. EXPLANADA EXTERIOR DEL PARADOR DE TORTOSA. Se explicará el contexto geológico e hidrogeológico del tramo final del río Ebro, donde el río ha depositado un gran volumen de sedimentos de carácter lineal-fluvial que constituyen el acuífero aluvial del Ebro. El substrato geológico del sistema son las calizas mesozoicas que forman las sierras colindantes, como el Massís dels Ports o la Serra del Montsià, y que corresponden al acuífero Regional de la Plana de la Galera.



Figura 1. Vista del Massís dels Ports y del valle bajo del Ebro desde el exterior del Parador de Tortosa

Parada 2. FINCA DE CÍTRICOS EN VINALLOP CON UN POZO EN EXPLOTACIÓN. Se explicará la importancia de las prácticas constructivas adecuadas en la construcción de captaciones de aguas subterráneas y sus componentes básicos. También mediremos el nivel del agua en el pozo de la finca y explicaremos qué es una piezometría y para qué sirve su trazado.



Figura 2. Captación de aguas subterráneas en una finca de cítricos de Vinallop.

Parada 4. ULLALS DE BALTASAR. Surgencias de aguas subterráneas distribuidas entre las poblaciones de Amposta y La Ràpita, en la zona de contacto con los materiales del Delta del Ebro. Explicaremos las características hidrogeológicas del sector sur del Delta del Ebro y el esquema de funcionamiento de estos “ullals”.



Figura 4. Vista de uno de los “ullals” de Baltasar, laguna de forma redondeada.

Parada 3. ULLAL DE LA CARROBA. Es una surgencia de agua subterránea situada en el término de Amposta. Explicaremos el funcionamiento hidrogeológico de este ullal y las particularidades de la descarga de los acuíferos en este sector.



Figura 3. Zona del Ullal de la Carroba.

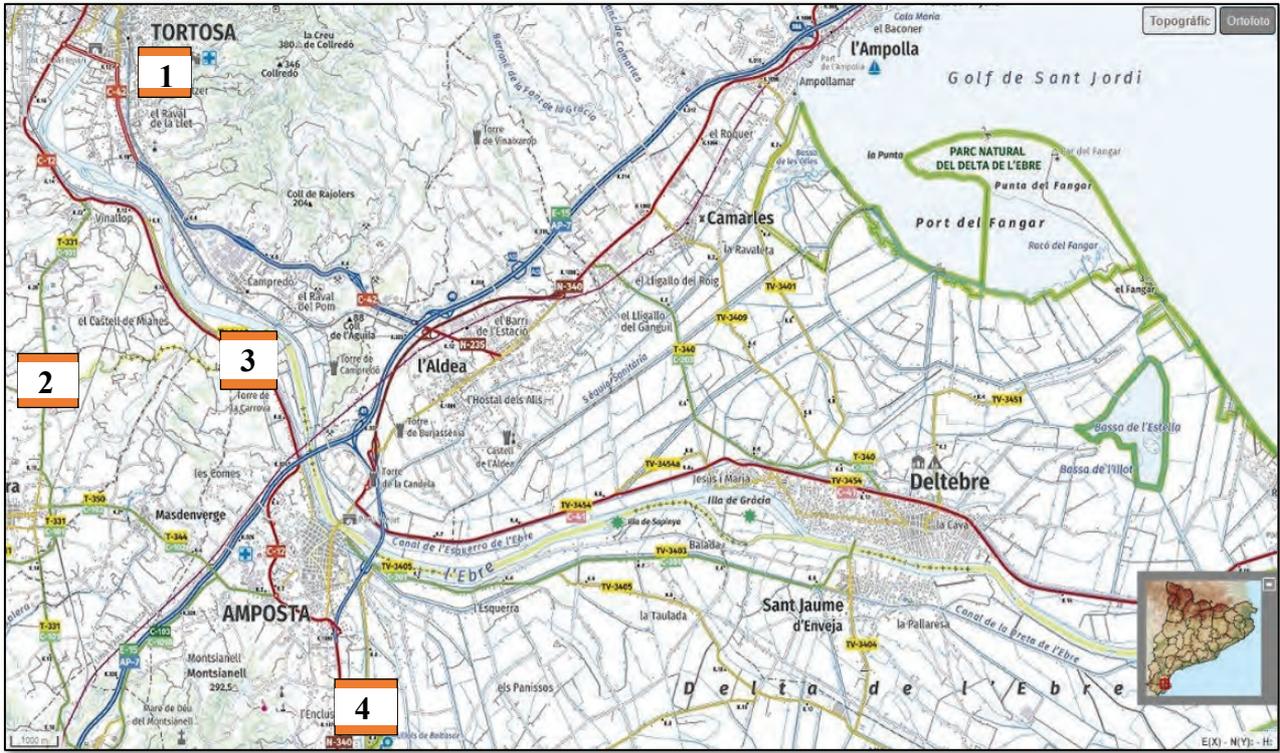


Figura 5. Mapa con la ubicación de las paradas del Hidrogeodia de la provincia de Tarragona 2024. (E: 1:100.000, ICGC).

INTRODUCCIÓN PARADA 1

El objetivo del Hidrogeodía es acercar a la sociedad la ciencia y la profesión hidrogeológica. Por ser una actividad dirigida a todos los públicos, al inicio de la jornada (en la Parada 1) y antes de hablar de hidrogeología, se explicarán unas nociones básicas de geología: qué es la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, cómo se interpreta un mapa geológico y cómo y para qué se realizan los cortes geológicos.

PARADA 1. PARADOR DE TORTOSA. CONTEXTO GEOLÓGICO – HIDROGEOLÓGICO

Nos encontramos en el sur de la comunidad autónoma de Cataluña (provincia de Tarragona, comarca del Montsià), en el denominado Dominio Ibérico Maestrazgo-Catalánides según la delimitación de las unidades hidrogeológicas de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Estamos en un área de marcado carácter tectónico que puede dividirse en dos grandes bloques: los Ports de Tortosa-Beceite y la fosa tectónica de la Plana de la Galera. La explicación de su contexto geológico puede hacerse en el marco geológico de la cuenca mediterránea occidental durante el Terciario. Una de las características de esta cuenca mediterránea son los bordes recortados montañosos que la circundan. La actividad tectónica ha sido muy activa hasta nuestros días de tal forma que la neotectónica es omnipresente en casi todas las costas y eso hace que la configuración morfológica haya

evolucionado rápidamente en las últimas edades geológicas.

Los Ports de Tortosa-Beceite se formaron en la etapa compresiva del Paleógeno. En esta etapa compresiva (orogénia alpina) se forman también los Alpes, los Pirineos y la Cordillera Ibérica durante el intervalo de tiempo comprendido entre el Cretácico superior y el Oligoceno, con las últimas fases en el Mioceno medio. La geometría de los Ports está definida por una compleja tectónica de pliegues y escamas de cabalgamiento de orientación NE-SO y de vergencia norte, formadas por materiales del Triásico (Facies Muschelkalk y Facies Keuper), Jurásico (calizas y dolomías del Lias, Dogger y Malm) y Cretácico inferior (calizas y calizas margosas del Barremiense-Aptiense). El cretácico superior en esta zona está reducido a pequeños afloramientos, mientras que el Jurásico aflora en los Ports principalmente como calizas y dolomías del Dogger. El despegue de los planos de cabalgamiento se realiza fundamentalmente en los materiales arcillosos del Triásico.

A finales del Oligoceno comenzó un periodo distensivo que provocó el adelgazamiento de la corteza y una acusada subsidencia, formándose la fosa tectónica conocida como Surco de Valencia. La fracturación de esta fase distensiva fue muy importante durante el Mioceno, generándose la fosa tectónica de la Plana de la Galera con una estructura de horst y grabens controlada por fallas y desarrollada en los materiales carbonatados del Mesozoico. Los bloques elevados de esta estructura están representados por los Ports de Tortosa-Beceite y por las sierras de Montsià y Godall. Esta fosa tectónica se prolonga decenas de kilómetros bajo el Mediterráneo de tal forma que se sitúa en el borde occidental de la fosa tectónica del Surco de Valencia.

Los materiales de relleno de la fosa de la Plana de la Galera son de edad cuaternaria y pliocuaternaria. Son depósitos aluviales y coluviales procedentes de la erosión de los relieves adyacentes.

Bajo la actual superficie del mar, el relleno de la fosa lo constituye el Neógeno marino. Su estratigrafía se conoce a través de las investigaciones petrolíferas y de la sismica marina. Estos materiales tienen su origen en las distintas pulsaciones tectónicas y subsidencias, así como en las oscilaciones del nivel del mar que ocasionaron diferentes ciclos de sedimentación en las subcuencas independientes del Surco de Valencia.

En el sector de estudio se distinguen 3 unidades aloestratigráficas del Neógeno marino:

- El Grupo Alcanar: constituido por brechas y conglomerados depositados desde el inicio del Mioceno, en régimen progradante.
- El Grupo Castellón: se depositó durante el Mioceno tardío y está constituido por una importancia secuencia clástica progradante sobre la cuenca.
- El Grupo Ebro: para explicar su génesis, hay que hacer referencia a la gran regresión marina que tuvo lugar antes de finalizar el Mioceno, concretamente en el Messiniense. Se produjo una rápida desecación del mar Mediterráneo que produjo un descenso brutal del nivel de base y el depósito de potentes formaciones evaporíticas en las partes más deprimidas de la cuenca. A este episodio se le ha dado el nombre de “Crisis de Salinidad” y terminó con la misma brusquedad al sobrevenir la transgresión pliocena y el subsiguiente relleno marino de

la cuenca. En este ambiente progradante se depositaron sobre la discordancia erosiva intra-mesiniense las Lutitas del Grupo Ebro al inicio del Plioceno, y a continuación la formación Areniscas del Ebro que corresponden al frente deltaico (Delta del Ebro).

Las dos grandes unidades Ebro y Castellón construyen la amplia plataforma continental.

En la Figura 6 se muestra el mapa geológico y la traza del corte geológico realizado dirección NO-SE, desde la divisoria hidrogeológica situada en los Ports de Tortosa-Beceite (el Tossal del Rei con una altitud de 1356 metros sobre el nivel del mar) hasta el sondeo petrolífero denominado Castellón D-2 en el mar Mediterráneo.

La Figura 7 corresponde a un corte geológico-hidrogeológico que representa la síntesis del contexto geológico regional de la zona del valle bajo Ebro. Representa una longitud de 80 km y 4000 metros de profundidad y se ha elaborado a partir de columnas litológicas de pozos, piezómetros y sondeos petrolíferos, además de la cartografía geológica correspondiente. Los pozos y piezómetros en él representados están proyectados sobre la línea que define la orientación del corte geológico.

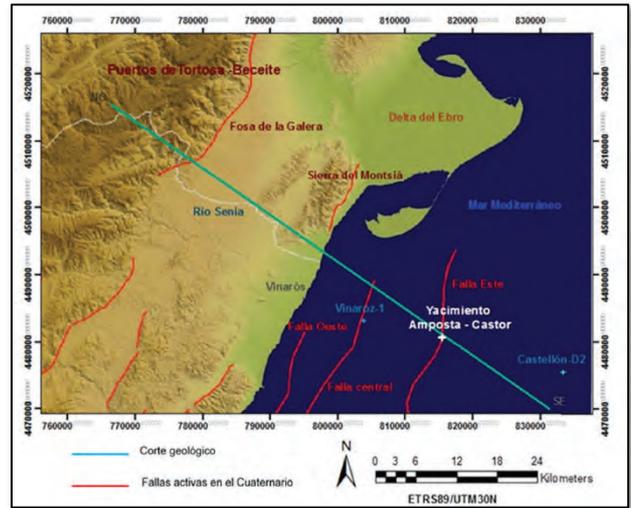
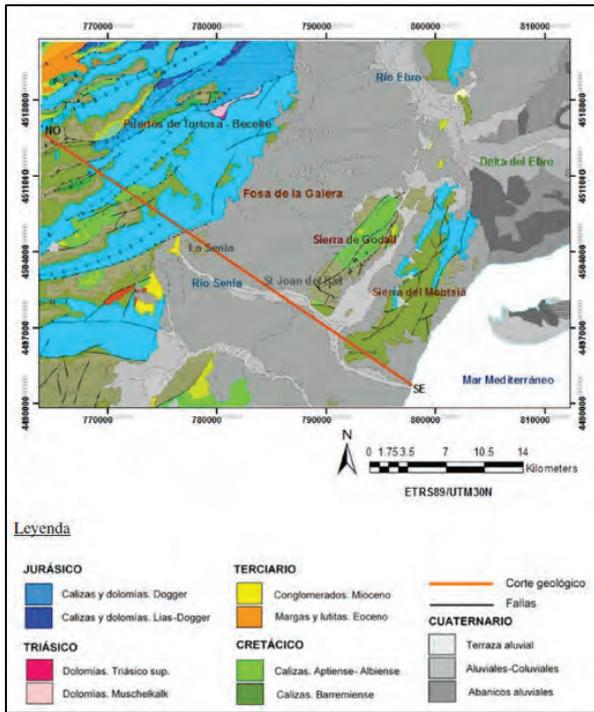


Figura 6. Mapa geológico y traza del corte geológico realizado dirección NO-SE (Barrero, P. 2015).

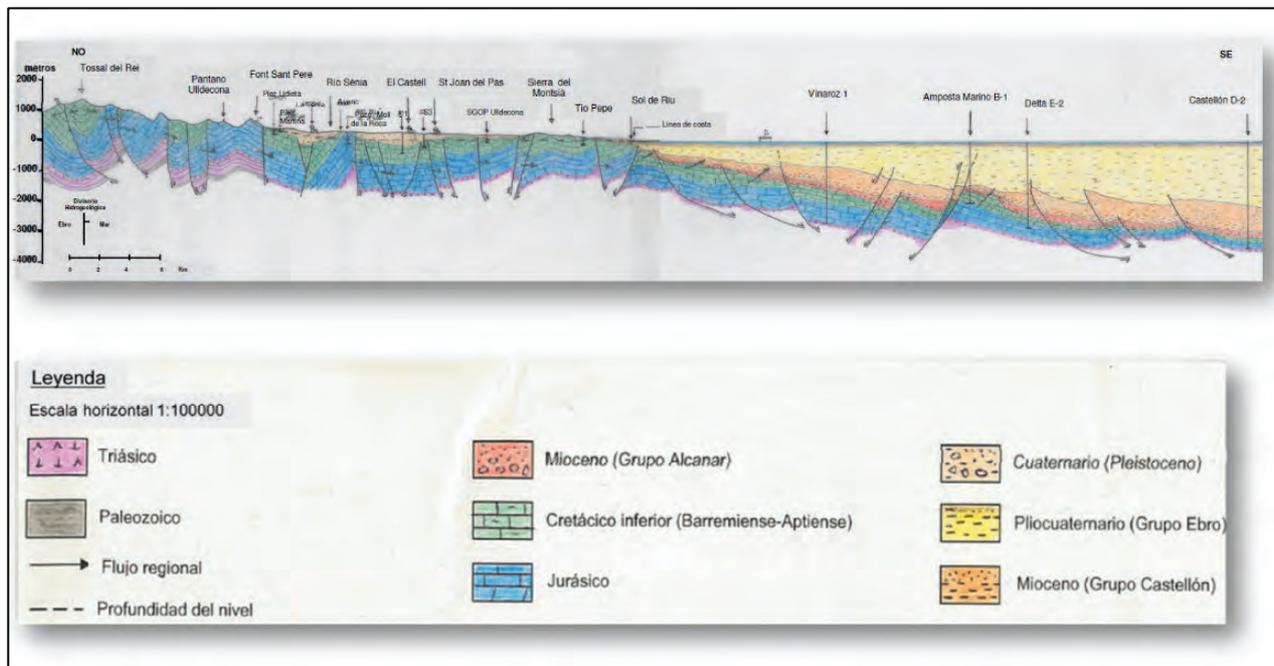


Figura 7. Corte geológico – hidrogeológico (Barrero P, 2015).

Los materiales mesozoicos de la fosa tectónica de la Plana de la Galera limitada por los Ports de Tortosa-Beceite y las sierras de Godall y del Montsià, constituyen el **acuifero Regional de la Plana de la Galera**.

Es un acuifero permeable por carstificación, cuya heterogeneidad y anisotropía se reflejan en la gran variación de sus propiedades hidrodinámicas, de tal forma que puede ser considerado como un acuifero cárstico multicapa. La zona de recarga más importante se sitúa en los Ports de Tortosa-Beceite, y su descarga natural tiene lugar por transferencia profunda hacia la zona costera y hacia el acuifero aluvial del Ebro.

PLANA DE LA GALERA

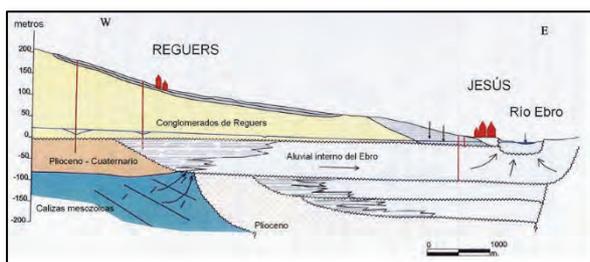


Figura 8. Esquema del funcionamiento hidrogeológico en la zona de Tortosa (Confederación Hidrográfica del Ebro).

Los materiales de relleno de la fosa tectónica de la Plana de la Galera constituyen el **acuifero Cuaternario**, formado por abanicos aluviales de gravas calcáreas que alternan con arcillas. Pueden alcanzar espesores de hasta 300 metros y se indentan con los depósitos aluviales de los antiguos cauces del Ebro constituidos por gravas poligénicas con abundantes cantos silíceos.

Estos depósitos aluviales corresponden al **acuifero Aluvial Interno del Ebro**, de gran permeabilidad y con potencias de hasta 300 metros.

En la Figura 8 se muestra el funcionamiento hidrogeológico en la zona de Tortosa y la relación entre los depósitos cuaternarios de piedemonte, el acuifero Aluvial Interno del Ebro y las calizas mesozoicas subyacentes del acuifero Regional de la Plana de la Galera.

ALUVIAL DEL EBRO

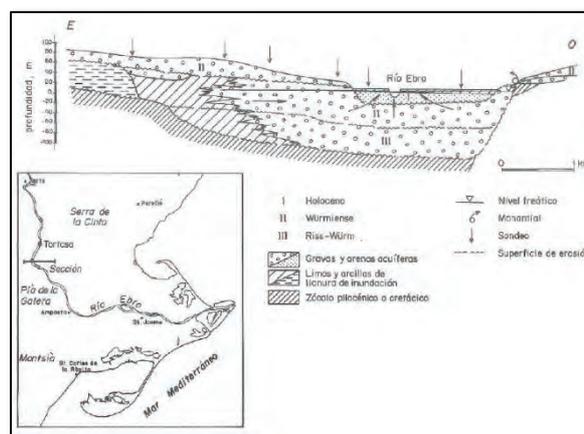


Figura 9. Sección del valle bajo del Ebro, 2 km aguas abajo de Tortosa donde se ve la disposición de las terrazas (Revista de Obras Públicas, 1997).

Las primeras definiciones de Cuaternario se realizaron en base a consideraciones climáticas y antropológicas, situándose su comienzo en hace 1.8 Ma, y considerándose su inicio en el momento de la instalación de los casquetes polares.

La correlación entre los depósitos glaciares y los depósitos fluviales de distintos afluentes del Danubio en la región alpina, dio lugar al establecimiento de las seis glaciaciones clásicas utilizadas como escala cronoestratigráfica en Europa: Biber (Plioceno superior-Pleistoceno inferior), Donau (Pleistoceno inferior), Günz, Mindel, Riss (Pleistoceno medio) y Würm (Pleistoceno superior).

En la génesis de los materiales depositados por el Ebro en su curso bajo, nos interesan dos de estas glaciaciones: Riss y Würm (ver Figura 9).

Pleistoceno inferior: Se caracteriza por la alternancia rápida de eventos climáticos extremos (episodios glaciares e interglaciares). Hay un momento en el que estos eventos climáticos extremos se producen con una ciclicidad de 100.000 años.

Pleistoceno medio (Riss): Misma ciclicidad de fases glaciares e interglaciares que en el Pleistoceno inferior, es decir, ciclos de unos 100.000 años.

Pleistoceno superior (Würm): Oficialmente, y a escala global, este límite coincide con el momento en el que el nivel del mar alcanza una posición superior a la actual de unos 6 metros. Se inicia con el último interglaciario (diferentes periodos de calentamiento y enfriamiento global).

La última glaciación del Cuaternario es el ciclo glaciario Würmiense, que comienza hace 74.000 años y finaliza hace 10.000 años (se da una alternancia de crecimiento de casquetes polares con periodos de fusión).

Y el material más reciente depositado por el río Ebro es el correspondiente al Holoceno que es la época geológica que comenzó hace 10.000 años hasta la actualidad. Se trata de los limos y arenas que constituyen la llanura de inundación.

En la Figura 9 vemos la disposición de las terrazas fluviales encajadas (I, II, y III). El Ebro ha depositado en su tramo final un gran volumen de sedimentos con un carácter lineal-fluvial, con anchuras de hasta 4 km y espesores de más de 100 metros sobre los que se encaja el actual curso de este. El substrato geológico que limita el conjunto fluvial son las calizas del Mesozoico que forman las sierras de Godall y del Montsià y los Ports de Tortosa-Beceite.

Y aquí encontramos las dos grandes formaciones acuíferas de la zona: en las calizas encajantes el acuífero Regional de la Plana de la Galera y en los depósitos fluviales el acuífero Aluvial Interno del Ebro.

El funcionamiento hidrogeológico del aluvial reciente (Holoceno) está íntimamente ligado al río, siendo el principal receptor de sus recursos. Está separado del aluvial interno por una notable capa de limos.

La principal zona de recarga de todo el sistema acuífero se encuentra en los Ports de Tortosa-Beceite y en la Sierra del Montsià y de Godall. Su descarga natural se realiza por transferencia profunda hacia la zona costera y hacia el acuífero Aluvial interno del Ebro. Podemos decir que el río actúa como una zanja de drenaje de todo el sistema.

PARADA 2. FINCA DE CÍTRICOS EN VINALLOP. POZO EN EXPLOTACIÓN.

La excavación de pozos para la extracción de agua es una de las primeras técnicas de construcción realizadas por los humanos. Los pozos más antiguos que se conocen se encontraron en la isla de Chipre y tienen unos 11.000 años de antigüedad.

La construcción de pozos empezó a aumentar en el planeta de forma gradual hasta que en la segunda mitad del siglo XX el crecimiento pasó a ser exponencial. Este rápido aumento se debió a cuatro factores fundamentales:

- Las condiciones climáticas se volvieron cálidas y secas.
- Adquirimos conocimientos científicos y tecnológicos del medio subterráneo que no habíamos tenido hasta entonces.

- Se comenzaron a comercializar las electrobombas sumergibles.
- Se produce un notable avance y gran reducción de costes de las técnicas de perforación.

Se comenzaron a construir perforaciones de mucho menos diámetro y mucho más profundas que los antiguos pozos abiertos tipo noria excavados a pico y pala.

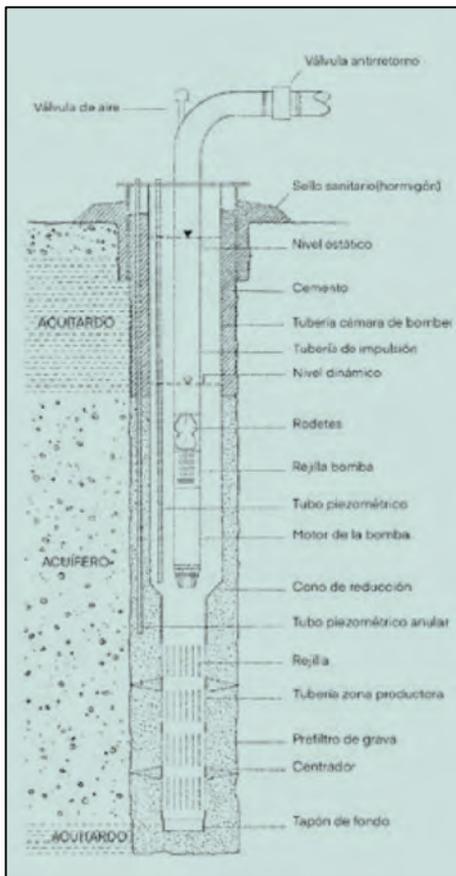


Figura 10. Componentes básicos de una captación de aguas subterráneas (AIH-GE).

Muchos de los problemas de contaminación y de mantenimiento de un pozo para la extracción de aguas subterráneas se pueden minimizar con una **adecuada protección sanitaria**. Esta protección consiste en tres elementos:

- Sello sanitario: Placa de acero o losa de hormigón en masa, solidaria con la tubería de emboquillado del pozo y una superficie mínima de 3 m².
- La tubería de descarga, la de medida del nivel piezométrico y la entrada de los cables eléctricos en el pozo, deben tener un cierre estanco mediante la utilización de juntas adecuadas o soldaduras.
- Una arqueta de obra con cierre con candado.

Con estos tres simples elementos instalados en una captación de aguas subterráneas se evita la entrada de contaminantes en el pozo y por tanto en el acuífero. Además, protegemos la captación de actos vandálicos y de los efectos de posibles inundaciones, y facilitamos las operaciones de mantenimiento del pozo pudiendo realizarlas además de forma más segura.

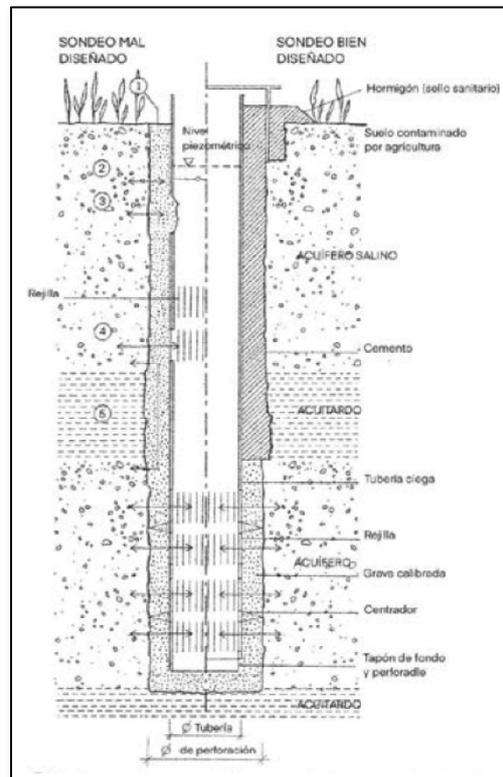


Figura 11. Problemas por el mal diseño de una captación de aguas subterráneas (AIH-GE).

En la Figura 11 podemos ver las posibles causas por las que el mal diseño constructivo de una captación puede provocar la entrada de agua contaminada en el pozo o la conexión de acuíferos con distinta calidad de agua:

1. Entrada de aguas de escorrentía o de aguas contaminadas por actividades agrícolas.
2. Entrada de agua en la captación por uniones defectuosas en las tuberías de revestimiento del pozo.
3. Corrosión de la tubería.
4. Vías de entrada de agua contaminada en el pozo.

CLAUSURA DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

Los pozos, tienen una vida útil, y cuando llega este momento, se han de sellar o clausurar para evitar accidentes y para que no se conviertan en una vía de contaminación de las aguas subterráneas.

Los materiales de relleno para el sellado del pozo deben ser químicamente inertes por sí mismos y en contacto con las aguas subterráneas o con las formaciones geológicas atravesadas. Tampoco deben suponer un riesgo para la salud de los operadores.

Pueden utilizarse para el sellado materiales permeables (áridos) o impermeables. Los materiales permeables serán arenas, gravas, fragmentos de roca o materiales similares que pueden emplearse mezclados, o no, y que procederán de canteras o graveras en activo. Los materiales impermeables serán hormigón, cemento, mortero, arcilla y bentonitas comerciales.

En una misma captación se pueden utilizar de forma combinada distintos materiales, de tal forma que los más específicos se aplicarán en tramos con requerimientos especiales de resistencia, penetración y estanqueidad, mientras que los materiales más económicos podrán utilizarse en el resto de los tramos. Hay que indicar que la función principal de los materiales de relleno impermeables es impedir la circulación al exterior del agua subterránea y la mezcla de aguas de diferentes acuíferos.

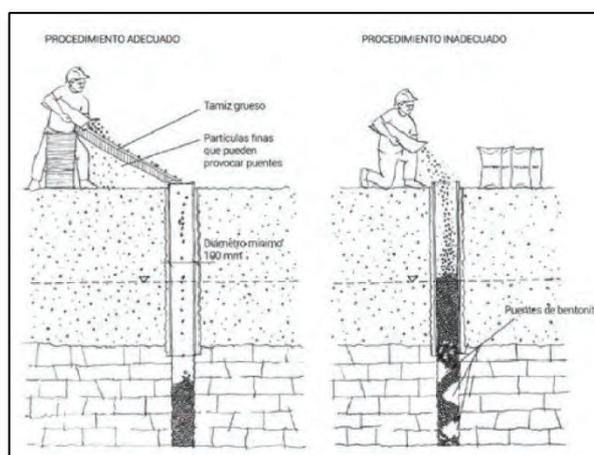


Figura 12. Sellado de captaciones con bentonita de grano grueso mediante tamizado (AIH-GE).

En la Figura 12 se muestra un ejemplo de las tareas de sellado de un pozo con bentonita. La bentonita se comercializa en sacos para preparar lechadas, pero también se puede encontrar en virutas para verterla directamente en el sondeo o como bentonita granulada (pellets de bentonita). Cuando se utiliza bentonita en virutas para el sellado de un pozo se recomienda el uso de cedazos o mallas durante su vertido para evitar la formación de puentes en el interior de la perforación (ver Figura 12).

Independientemente del procedimiento y del material de sellado que se aplique, existen una serie de operaciones comunes a seguir:

- Extracción total o parcial de tubería de revestimiento (cuando sea posible).
- Corte y apertura de la tubería si no se ha extraído.
- Relleno de la perforación con materiales sellante y agregados.
- Instalación de un sello superficial

TOMA DE MUESTRAS DURANTE LA PERFORACIÓN DE LA CAPTACIÓN.

La perforación de un sondeo es una oportunidad de acceso a información real del subsuelo. El análisis de esta información permite al hidrogeólogo/a tomar decisiones sobre si continuar la perforación o detenerla, sobre el diseño constructivo de la captación, sobre el tipo de material de revestimiento o sobre otras muchas cuestiones.

Durante la obra de perforación, se recomienda tomar una muestra por cada metro de avance de la perforación. Estas muestras se deben introducir en bolsas de plástico transparente, que deben ser guardadas y numeradas según profundidad. Además, deberán quedar protegidas de las inclemencias meteorológicas.

Con las muestras que se toman, de su descripción y de su análisis, se puede dibujar la **columna litológica** atravesada (ver Figura 13). Se trata de una descripción gráfica de los materiales encontrados en una zona determinada. Con la interpretación y correlación de diferentes columnas litológicas de pozos situados en un área concreta se pueden dibujar cortes geológicos e hidrogeológicos que permiten identificar la distribución y geometría de las formaciones acuíferas existentes de cara a la ubicación y gestión de los recursos hídricos subterráneos (ver Figura 14).

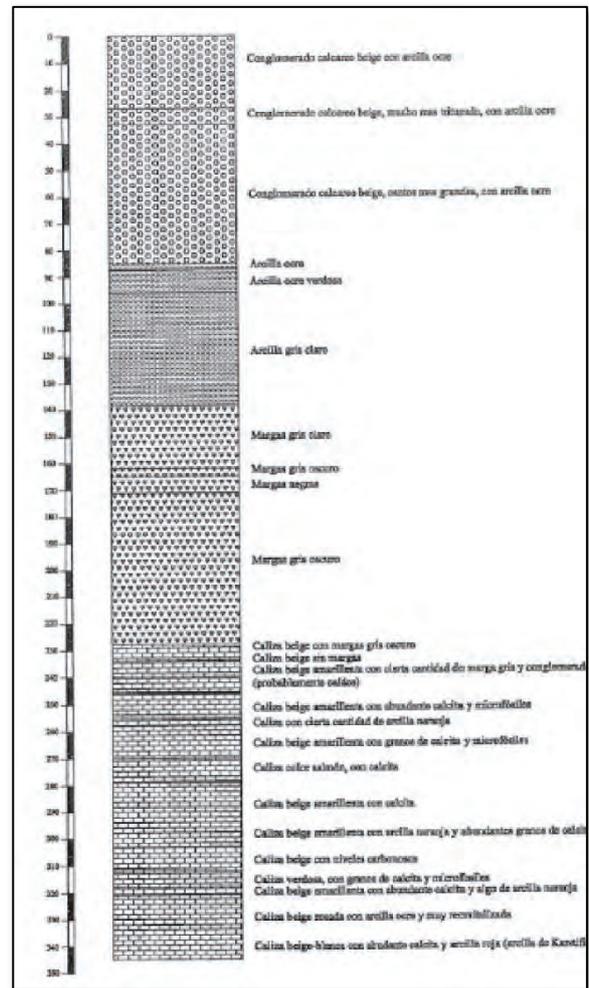


Figura 13. Ejemplo de columna litológica realizada mediante de la toma de muestras en una perforación en la Plana de la Galera (Barrero, P. 2000).

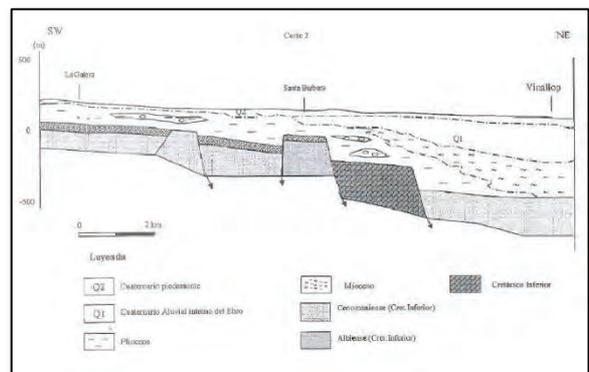


Figura 14. Corte geológico de la Plana de la Galera realizado a partir de columnas litológicas de captaciones de aguas subterráneas (44 CIHS, 2010).

TUBO PIEZOMÉTRICO Y TRAZADO DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS.

La instalación de un tubo piezométrico en una captación de aguas subterráneas sirve para medir a qué profundidad se encuentra el nivel del agua en el acuífero, y a partir de esta profundidad, determinar a qué cota está respecto al nivel del mar (cota piezométrica).

Los **tubos piezométricos** son tubos rígidos, verticales y con un diámetro suficiente para que la sonda con la que se mide el nivel descienda y ascienda por su interior sin roces excesivos. Suelen ser un tubo roscado de PVC con un diámetro de 2.5 mm y se instalan paralelamente a la tubería de la bomba.

Los niveles piezométricos son un parámetro clave para evaluar los recursos disponibles y el estado cuantitativo de las aguas subterráneas. La explotación de aguas subterráneas y el cambio climático son los principales causantes del descenso de los niveles piezométricos, lo cual implica una disminución de los recursos disponibles y un empeoramiento de estos.

A partir de campañas de medición de niveles piezométricos, se trazan las **superficies piezométricas** que permiten obtener información básica sobre el movimiento y el comportamiento del agua subterránea, como la dirección de flujo, la ubicación de la zona de recarga y de descarga del acuífero, la existencia de heterogeneidades hidráulicas, la existencia de flujos laterales o verticales entre formaciones distintas, etc.

Con los valores de los niveles piezométricos se trazan las **isopiezas** (similares a curvas de nivel) cuyo trazado requiere dos cosas:

1. Que los valores de nivel medidos correspondan a un mismo acuífero.
2. Que estén expresados en cotas absolutas (metros sobre el nivel del mar). Como lo

que se mide en los pozos y sondeos es la profundidad del agua desde un punto concreto del terreno o del borde de la entubación, ese punto debe estar correctamente nivelado para poder transformar la profundidad en cota.

Una vez comprobado el requisito 1 y realizada la transformación 2, se trazan las isopiezas mediante interpolación.

Vemos el ejemplo de dos superficies piezométricas trazadas: una corresponde al acuífero **Regional de la Plana de la Galera**, (Figura 15) y la otra al acuífero **Aluvial interno del Ebro** (Figura 16):

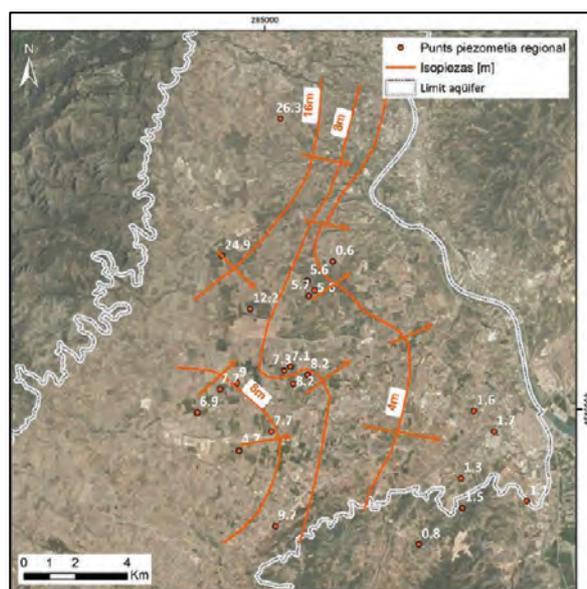


Figura 15. Piezometría del acuífero Regional de la Plana de la Galera (ACA, 2021).

En la piezometría del acuífero Regional (Figura 15) se observa que el flujo del agua subterránea tiene un sentido W-E hacia el río Ebro, lo que indica que es una de las zonas de descarga de este acuífero.

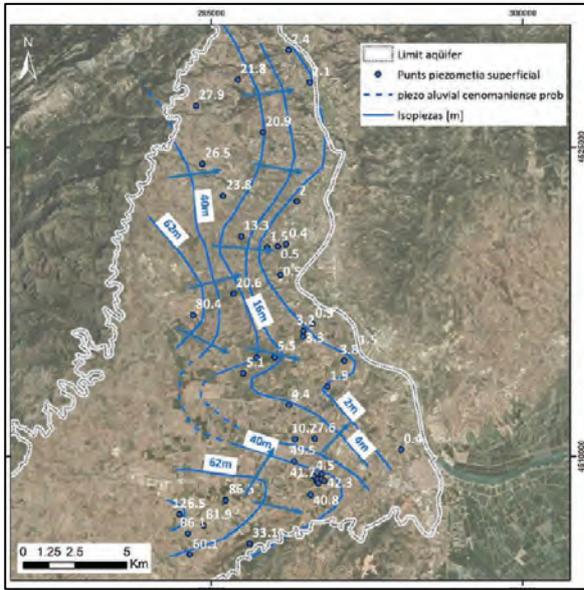


Figura 16. Piezometría del acuífero Aluvial interno del Ebro (ACA, 2021).

En la piezometría del acuífero Aluvial (Figura 16) se ve que se mantiene la tendencia del flujo hacia el Ebro, lo cual muestra que el río recibe en su tramo bajo la recarga de las aguas subterráneas del Aluvial y del Regional.

Como resumen de esta segunda parada, hay que indicar que los/as hidrogeólogos/as realizan minuciosos trabajos de campo para conocer e interpretar las estructuras geológicas existentes. Es básico conocer las zonas de estudio y para ello se realiza trabajo de gabinete (recopilación bibliográfica, climatología, etc.) y trabajo de campo (inventarios de puntos de agua, muestreos, medidas de niveles piezométricos etc.).

PARADA 3. ULLAL DE LA CARROBA

La palabra “ullal” procede de “ull” (ojo en catalán) y hace referencia a la forma redondeada de estas balsas.

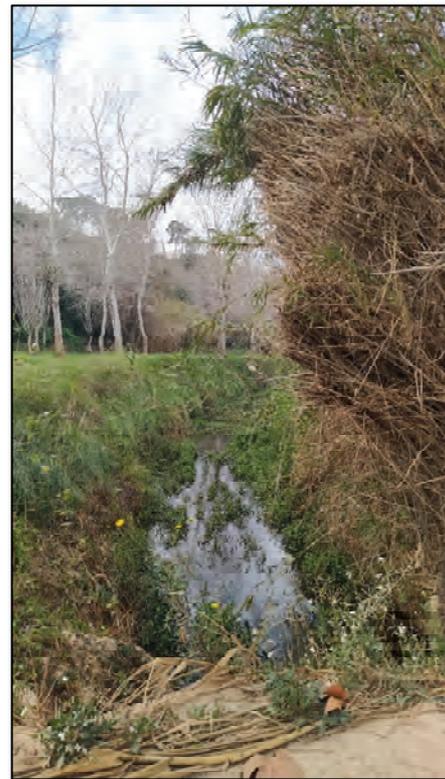


Figura 17. Foto del ullal de la Carroba (2024).

El ullal de la Carroba aparece en el único punto del margen derecho del Ebro en el que la descarga del acuífero carbonatado mesozoico (Regional de la Plana de la Galera) hacia el acuífero Aluvial interno, y de este hacia el Ebro se ve taponado por los materiales cuaternarios correspondientes a abanicos aluviales antiguos y los cursos antiguos del valle del Ebro (Figura 18).

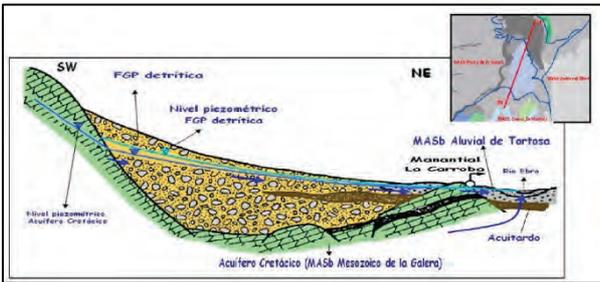


Figura 18. Esquema del funcionamiento hidrogeológico en el área de la Carroba (Confederación Hidrográfica del Ebro).

Los materiales que hacen de tapón están representados en gran forma por un acuitardo correspondiente al depósito de los materiales de progradación deltaica (Delta del Ebro) que convierte el flujo en vertical y ascendente, dando lugar a este tipo de descargas. Se muestra el corte geológico de la zona de la Carroba (Figura 19), donde se aprecia la potencia del acuitardo existente.

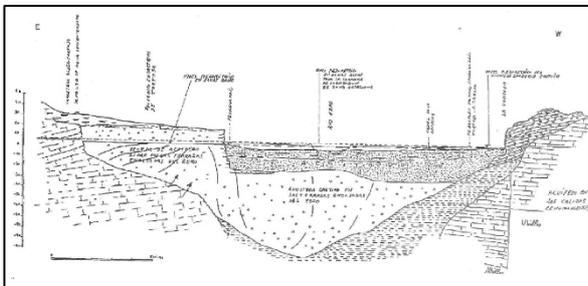


Figura 19. Corte geológico del área de la Carroba (Bayó, A.)

El caudal del ullal de la Carroba varía notablemente en función de la pluviometría. La confederación Hidrográfica del Ebro midió en los años 90 del siglo pasado la aportación de este ullal (5 medidas entre 1990 y 1991) y se calculó un aporte de 29.9 hm³/año.

Sin embargo, actualmente debido al incremento de la explotación de las aguas subterráneas y a la transformación de grandes superficies de cultivos de secano en explotaciones básicamente de cítricos, ha

hecho que el caudal se haya reducido considerablemente y que haya empeorado la calidad de sus aguas porque ha aumentado el contenido en nitratos.

El ullal de la Carroba merece una parada durante el Hidrogeodía por la singularidad e importancia de estos mecanismos de descarga del acuífero carbonatado mesozoico.

PARADA 4. ULLALS DE BALTASAR



Figura 20. Cartel del itinerario de los Ullals de Baltasar (2024).

En 2009 el Parc Natural del Delta de l'Ebre adquirió la finca de los Ullals de Baltasar. Ese mismo año se inició el proyecto "Restauración del espacio natural de los Ullals de Baltasar" con el objetivo de limpiar el lugar de elementos antrópicos y de especies vegetales no propias de los ullals. El proyecto contó con el apoyo de la Diputación de Tarragona, de la Obra Social de la Caixa y de la Fundación Pere Mata.

En el año 2010 y con el apoyo de las anteriores entidades se establecía el proyecto "Creación de un itinerario interpretativo en los Ullals de Baltasar".

Los Ullals de Baltasar son un ejemplo de la importancia de las aguas subterráneas en la

creación de este humedal, con una gran riqueza en cuanto a flora y a fauna.



Figura 21. Cartel del itinerario de los Ullals de Baltasar indicando la importancia de los peces en estas aguas (2024).

Las aguas que se ven en estos ullals representan la salida de los acuíferos continentales, que incorporan pequeñas cantidades de agua salada que procede de los propios sedimentos del Delta del Ebro o incluso del mar Mediterráneo, y cuya lenta circulación está asegurada por la baja elevación de la zona de Amposta y de la disminución de densidad del agua que allí se produce. En la Figura 22 se muestra el funcionamiento hidrogeológico.

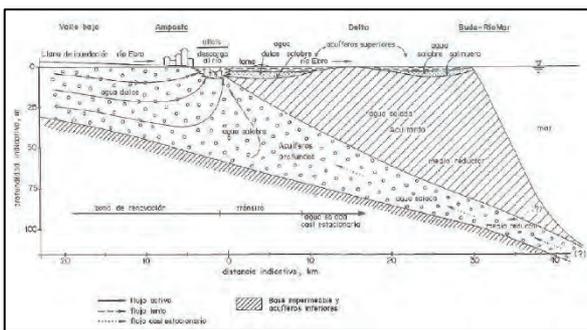


Figura 22. Esquema del funcionamiento de los niveles permeables y acuitardo intermedio del Delta del Ebro (Revista de Obras Públicas, 1997).

El agua subterránea que se recarga en las terrazas fluviales del Ebro y en las elevaciones carbonáticas de la sierra del Montsià, es

forzada a descargar en este vértice el Delta a causa de la poca permeabilidad de los materiales del Holoceno que confinan al Pleistoceno. Lo vemos en la Figura 23.

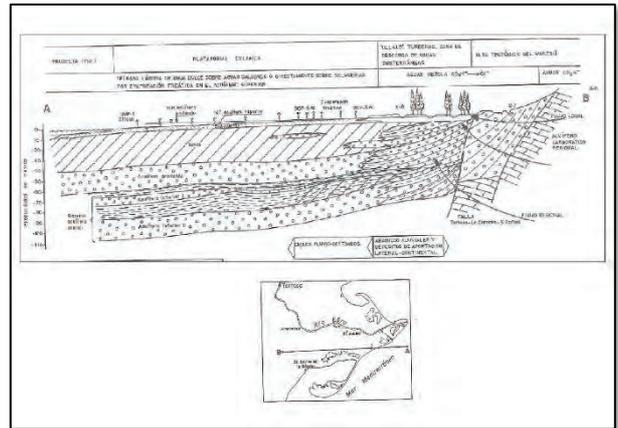


Figura 23. Características hidrogeológicas del sector sur del Delta del Ebro (Revista de Obras Públicas, 1997).

En la Figura 23 se representa una sección que pasa por los ullals de Baltasar y se muestran los materiales y el flujo de agua subterránea. Los acuíferos son:

1. Acuífero superior sobre la plataforma deltaica: llega hasta los 10 metros de profundidad y está formado por arenas finas. Es un acuífero discontinuo, desaparece en el centro del Delta y se confina en las zonas de discos naturales ("levees") a ambos lados del canal de drenaje principal, río Ebro y antiguas desembocaduras.
2. Acuífero profundo, de gravas y arenas de aportación lineal. Se sitúa entre 20 y 100 metros de profundidad, y llega a manifestarse ligeramente surgente en algunas zonas. Se trata de la base fluvial del ciclo deltaico.
3. Sistema acuífero inferior multicapa que se sitúa entre 70 y más de 500 metros de profundidad, con los mayores espesores hacia el hemidelta derecho. Los niveles

acuíferos son las gravas fluviales que se intercalan en los sedimentos deltaicos que corresponden a los diferentes ciclos superpuestos.

Para los acuíferos carbonatados, los depósitos deltaicos son una especie de tapón y el agua descarga en forma de ullals (lagunas redondeadas de poco calado). Se distribuyen a modo de franja irregular entre las poblaciones de Amposta y la Ràpita.

En la margen izquierda del Ebro los ullals ya prácticamente desaparecieron por la disminución de las precipitaciones y el aumento de la explotación de las aguas subterráneas. Así que hay que seguir conservando los Ullals de Baltasar para poder seguir disfrutándolos.



Figura 24. Ullals de Baltasar con nenúfares (2024).

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA TARRAGONA 2024

Pilar Barrero Justes (ACA)

Joan Gabriel Talarn Maigí (CETIT)

PARA SABER MÁS....

Agència Catalana de l'Aigua (2021). *Estudi hidrogeològic de l'aqüífer al luvial del marge dret del riu Ebre entre les poblacions de Xerta i Amposta.*

Ansón Oseñalde, M. y Yañez López, J. (2010). *Estudio hidrogeológico de la Plana de la Galera (Montsià, Baix Ebre – Tarragona).* Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 44 edición CIHS.

Barrero Justes, P. y Beraza Améztegui, A. (1998). *Estudio hidrogeológico de los depósitos fluviales lineales del Ebro. Xerta-Amposta.* Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 32 edición CIHS.

Barrero Justes, P. (2015). *Evaluación de los posibles efectos del almacenamiento de gas en el antiguo yacimiento petrolífero Amposta (Proyecto Castor) sobre el sistema acuífero regional de la Plana de La Galera en el ámbito de las comarcas del Montsià y del Baix Maestrat (Tarragona-Castellón).* Máster profesional en hidrología subterránea, 3ª Edición (2014-2015). FCIHS y UPC.

Bermejo Santos, L. (2008-2009). *Estudio hidrogeológico del aluvial de Tortosa (Baix Ebre, Tarragona).* Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 7ª edición CIHS-d.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2015). *Masas de aguas subterráneas de la cuenca del Ebro.*

Martos Rosillo, S., Barón Périz, A., Guardiola-Albert, C., Martínez Parra, M., García Ruiz, T., Domínguez Sánchez, J., Cantudo Muñoz, A., Hernández Bravo, J., Iglesias López, A., Comino Martínez, D., Iglesias Carreras, M.,



Carceller Layel, T., Martínez Sánchez de la Nieta, A., Pérez-Paricio, A., Pujadas Ferrer J., Sahuquillo, A. (2022). *Guía de Buenas Prácticas para el diseño, construcción, sellado y clausura de pozos de captación de agua subterránea*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español. 258 p.

Órgano Profesional de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (1997). *Revista de Obras Públicas*. N.º 3368. 130 p.



Tenerife



Aula Cultural del Agua
Universidad de La Laguna



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGEODÍA 2024



emmasa
EMPRESA MIXTA DE AGUAS DE
SANTA CRUZ DE TENERIFE, S.A.



Santa Cruz de Tenerife
AYUNTAMIENTO



 **GrupoTragsa**

4ª edición Tenerife: Un paseo hidrogeológico por la galería de Los
Catalanes (Anaga):
abastecimiento de Santa Cruz de Tenerife por aguas
subterráneas 21 de marzo 2024



INSCRIPCIONES

Semana del Día Mundial del Agua en Canarias 2024



Zaragoza

El desconocido BARRANCO DE LA MUERTE en Zaragoza



PLAZAS LIMITADAS

Imprescindible reserva previa e-mail zaragoza@igme.es



Fotos: Heraldo de Aragón



PUNTO DE ENCUENTRO c/ Teatro Malibrán 30. Puerto Venecia (frente a puerta de IKEA)

HORA DE SALIDA 9:00 h

HORA DE LLEGADA 14:30 h (estimada)

Información detallada y folleto de la excursión en aih-ge.org/hidrogeodia-2024/

 **DÍA MUNDIAL DEL AGUA** 22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024
 ¡PARTICIPA!

HIDROGEODÍA 2024  III Concurso de Fotografía hidrogeológica AIH- Hidrogeodía 2024


Organizan



Colaboran

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 del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Aragón (ICOG), Colegio de Geógrafos de Aragón 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 2024** se celebra el 23 de marzo y tiene como temática “El desconocido BARRANCO DE LA MUERTE de Zaragoza”.

Se llevará a cabo una visita guiada con objeto de dar a conocer el curso medio y bajo del barranco de la Muerte a su paso por la ciudad de Zaragoza. Explicar los aspectos morfológicos, hidrogeológicos e hidrometeorológicos de la cuenca, consiguiendo identificar los daños y las señales dejadas sobre el terreno, que todavía perduran, como resultado de la riada de carácter catastrófica acaecida el 6 de julio de 2023. Se han previsto siete paradas:

- 1) La tormenta del 6 de julio de 2023
- 2) Planificación urbanística, ordenación del territorio y riesgos hidrológicos
- 3) Derivación del barranco
- 4) Parque del Barranco
- 5) Efectos de la urbanización en el barranco
- 6) Tanque de tormentas
- 7) La Ronda de la Hispanidad y el Canal Imperial de Aragón

ITINERARIO

El punto de encuentro será en la calle Teatro Malibrán, 30. Puerto Venecia (Junto entrada IKEA). Bus 31 y C4. (Figura 1).



Figura 1. Vista del punto de encuentro en calle Teatro Malibrán, 30. Puerto Venecia (Junto entrada IKEA).

Recepción. 9:00 h. En el punto de encuentro se realizará una pequeña explicación de la jornada.

A continuación, sobre las 9:15 se saldrá caminando hacia el tramo medio del Barranco de la Muerte, al otro lado de las vías del AVE, para comenzar con las paradas previstas (Figura 2).

Parada 1. LA TORMENTA DEL 6 DE JULIO DE 2023. Se hablará del barranco de la Muerte: una cuenca con trágica memoria, detallando

su encuadre geológico e hidrogeológico, así como las características morfológicas de la cuenca. Introducción al episodio hidrometeorológico del 6 de julio de 2023. Se comentarán otros eventos catastróficos en Aragón y se planteará reflexión ¿Episodio excepcional o frecuente? Periodos de retorno y análisis hidrológico. Asimismo, se realizará la Identificación de efectos y daños (represamiento, altura de lámina de agua).

Parada 2. PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y RIESGOS HIDROLÓGICOS. En esta parada se explicarán las implicaciones de la planificación urbanística y la ordenación del territorio en los riesgos de inundación. Identificación de daños y efectos de la riada.

Parada 3. DERIVACIÓN DEL BARRANCO. Corresponde al inicio de la canalización que deriva las aguas del barranco. Se observarán los diámetros de los conductos bajo el puente. Se visualizará la dirección tomada por la riada, desbordando el nuevo cauce y tomando la dirección del cauce natural, así como la identificación de la extensión de la arroyada y los destrozos originados.

Parada 4. PARQUE DEL BARRANCO. Se explicará qué es y qué utilidad tiene un parque-barranco. Elementos constructivos utilizados para disminución de energía de arroyadas. Observación de diámetros de conductos, identificación de la altura alcanzada por la lámina de arroyada y de daños en canalizaciones, represas y otras estructuras.

Parada 5. EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN EL BARRANCO. Se explicará el efecto de la urbanización sobre el barranco y afección al CEIP María Zambrano. Se realizará un análisis hidrodinámico y simulación de calados para explicar la peligrosidad. Se comentarán los

efectos de la riada en los bulones, el colegio, cuartel de policía y supermercado. Identificación de destrozos en mediana de la Avenida de la Policía Local.

Parada 6. TANQUE DE TORMENTAS. Se explicará lo que es un tanque de tormentas y los depósitos de laminación, en concreto el Tanque de Tormentas de Puerto Venecia.

Parada 7. LA RONDA DE LA HISPANIDAD Y EL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN. Se comentarán las implicaciones del trazado actual del tercer cinturón Ronda de la Hispanidad sobre el cauce del barranco de la Muerte. Nos detendremos en el cruce del barranco de la Muerte por el Canal Imperial, desde donde se observará la morfología histórica de la muralla y su estado actual. Se discutirá sobre los posibles efectos que hubiera ocasionado la riada en un escenario con la morfología histórica. Finalmente se describirá el curso final del barranco aguas más abajo, la pérdida de energía, la ramificación del cauce y la sedimentación que se produce.

Además, una testigo excepcional nos contará su vivencia personal sobre los efectos de una riada anterior, acontecida en este mismo barranco en el año 2007.

Se prevé que la jornada finalice sobre las 14 h.

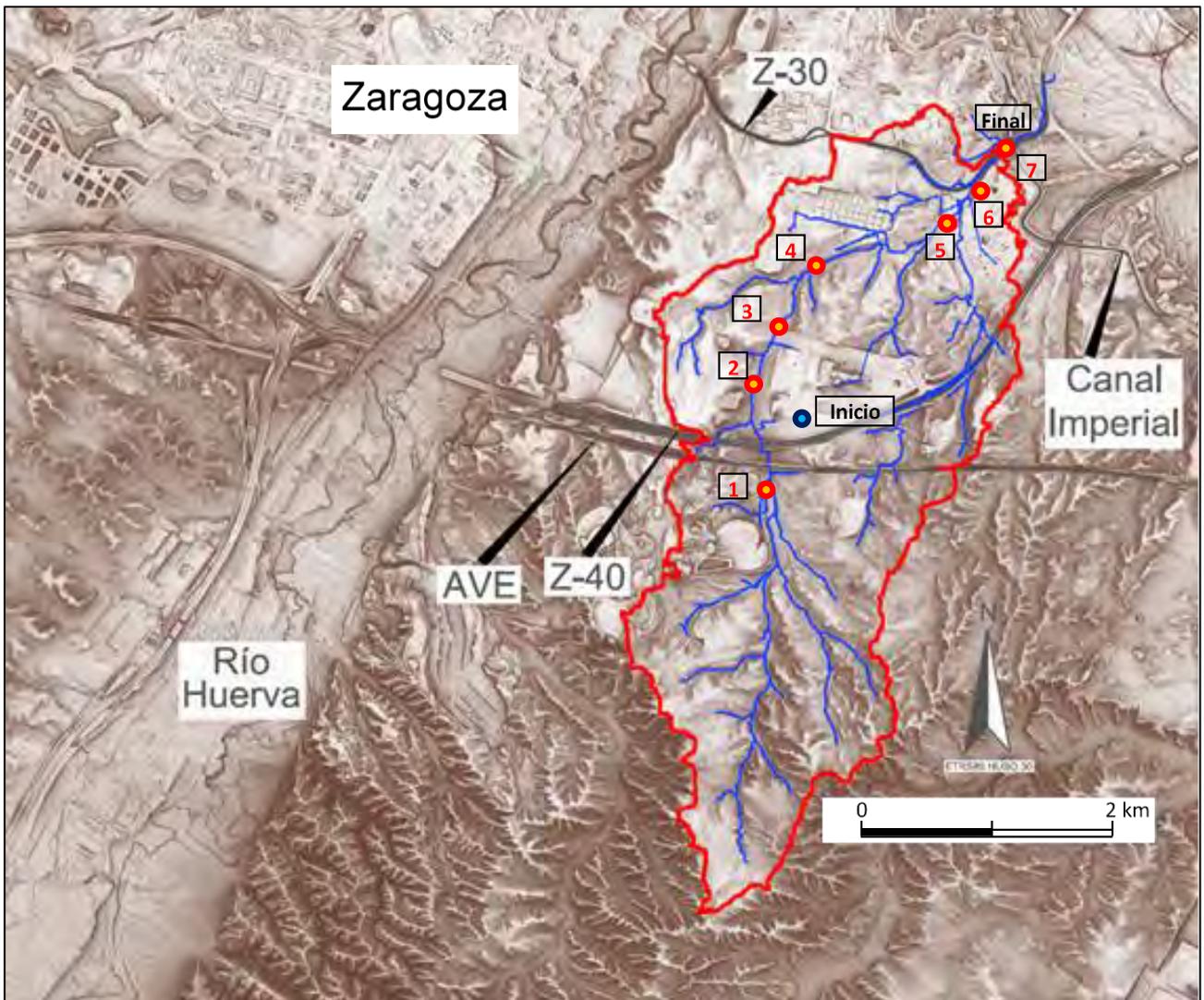


Figura 2. Situación de las paradas, red de drenaje y cuenca vertiente del barranco de la Muerte hasta su cruce con el Canal Imperial de Aragón, punto final de la jornada.

INTRODUCCIÓN

En torno a la ciudad de Zaragoza confluyen dos importantes tributarios del río Ebro, el río Gállego por su margen izquierda y el río Huerva por la derecha. Pero la cuenca del Ebro también está salpicada de pequeños cauces y barrancos de corto recorrido, muchos de los cuales acaban desembocando directamente en el Ebro, que se caracterizan por tener unas cuencas hidrográficas de pequeña extensión.

Algunos de estos pequeños barrancos son escasamente conocidos o directamente ignorados por gran parte de la población, bien porque suelen estar secos la mayor parte del año o porque tienen un caudal exiguo, a lo sumo intermitente, que funciona tan solo en periodos de lluvias fuertes o torrenciales. También, el crecimiento y urbanización de las ciudades difumina el poder apreciar estos cauces que, en ocasiones, se enmascaran con otras canalizaciones de vertido y viales. La ciudadanía acaba adquiriendo una falsa percepción de seguridad y asume, en su propio desconocimiento, la inexistencia de estos cauces, que acaban mostrando su verdadera naturaleza ante episodios hidrometeorológicos extremos.

Éste bien pudiera ser el caso del denominado barranco de la Muerte, un modesto valle en medio de un territorio árido y escaso de precipitaciones, que hasta fechas recientes era un gran desconocido para la mayoría de la población, pero que a raíz de un catastrófico episodio sucedido el 6 de junio de 2023 ha pasado a formar parte de la memoria de todos los zaragozanos. Un repentino fenómeno meteorológico convectivo generó unas intensas lluvias aquella tarde del día seis, queriendo el destino que se concentraran fundamentalmente sobre esta pequeña cuenca

y en un corto espacio de tiempo. La infraestructura de canalizaciones y desagües quedó rápidamente desbordada, siendo incapaz de absorber los casi 50 litros por metro cuadrado caídos en apenas 40 minutos. El torrente de agua acabó buscando el recorrido del cauce natural a través del entramado de calles, avenidas y edificaciones recientemente construidas que se interponen a su paso, causando cuantiosos daños materiales.

No es este el único episodio trágico vivido en este barranco, tal y como cuentan diferentes crónicas (Asociación de vecinos La Paz, 2019; Chóliz, 2023). De hecho, reseñas de su nombre se remontan al S. XII, aunque motivado por sucesos que nada tuvieron que ver con los fenómenos hidrometeorológicos recientes, sino por disputas de índole militar. La designación procedería del resultado de los duros enfrentamientos y elevado número de muertos que se produjeron en este paraje tras el enfrentamiento de las tropas cristianas del rey Alfonso I el Batallador con las del ejército musulmán que acudieron al rescate de la entonces ciudad sitiada de Saraqusta. Trágica y muy sangrienta fue también la denominada Batalla de Zaragoza o de los Montes de Torrero, esta vez en 1710, que dejó unos 6.000 muertos después del enfrentamiento de las tropas del Archiduque Carlos de Habsburgo con las de Felipe Duque de Anjou, en el marco de la Guerra de Sucesión española tras la muerte del rey Carlos II. Más tarde, durante la Guerra de la Independencia a principios del S. XIX, ciertas defensas militares y polvorines colocados en la parte alta de la ciudad fueron objeto de incursiones por parte del ejército francés. Restos de algunas construcciones de estas contiendas todavía perduran en el actual Parque del Barranco (Figura 3).

El barranco se localiza íntegramente en el término municipal de Zaragoza, al sureste de la ciudad y al este del río Huerva. Su cauce, de

unos 7,5 km de longitud, tiene un trazado urbano de unos 4 km que se iniciaría desde la autovía de circunvalación Z-40 al sur de la ciudad. Puede seguirse por la parte occidental del área comercial de Puerto Venecia, atravesando el Parque del Barranco al sur del Cementerio de Torrero y continuando por el actual trazado de la Ronda de la Hispanidad (Z-30), para cruzar después por debajo del Canal Imperial de Aragón.



Figura 3. Ruinas de construcciones militares del siglo XVIII junto al Parque del Barranco.

Desde este punto el terreno pierde pendiente y el cauce se desdibuja por el entramado de calles, avenidas y campos del extrarradio de Zaragoza. No obstante, la parte alta del barranco remonta unos 4 kilómetros más hacia el sur de la Z-40, hasta el Cabezo de las Zorras, en los Montes de Cuarte de Huerva y Cadrete. En la Figura 4 se resalta la extensión que ocupa la totalidad de la cuenca vertiente del barranco, de unos 23 km² de superficie, nombre con el que es conocido este barranco de la Muerte en el Geoportal del MITERD.

ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO

Prácticamente toda la ciudad se asienta sobre materiales muy permeables de naturaleza detrítica, como gravas, arenas, limos y arcillas, que han sido arrastrados y depositados en el lecho de los ríos a lo largo del Cuaternario, componiendo en su conjunto un importante

acuífero de naturaleza aluvial. Las distintas glaciaciones y la alternancia con otros periodos interglaciares que acontecieron en esta época, como consecuencia de los cambios climáticos del pasado, fueron el motor para que estos sedimentos se acumularan con el paso del tiempo formando diversos depósitos de tipo terraza, dispuestos de forma escalonada y ocupando diferentes niveles, hasta unos 190 m de altura desde el cauce actual del río Ebro.

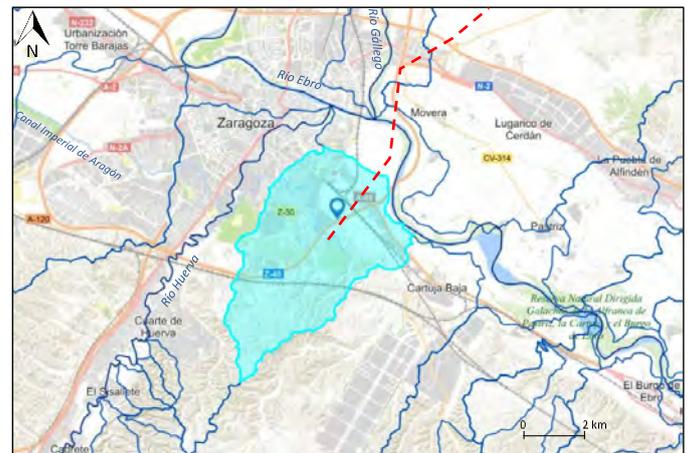


Figura 4. Delimitación de la cuenca del barranco de la Muerte y otras subcuencas vertientes, según el Geoportal del MITERD. La línea discontinua señala la posición aproximada del corte hidrogeológico de la Figura 6.

Depósitos de glaciares de escasos metros de espesor, constituidos por cantos, bloques, limos y arcillas, que son coetáneos a las terrazas, enlazan estas con los relieves que se elevan en posiciones más meridionales y occidentales a la ciudad. Son relieves en los que dominan yesos, margas, arcillas y limos de edad miocena, materiales que al no ser permeables permiten establecer el contacto Cuaternario-Terciario como el límite impermeable del acuífero. Estos materiales también se encuentran con espesores de centenares de metros bajo el lecho del acuífero constituyendo un substrato de naturaleza impermeable.

Hacia la parte alta de la cuenca es significativa la morfología dendrítica que adquiere la red de drenaje, un conjunto de valles de fondo plano

(en Aragón denominados “vales”) que tapiza las formaciones miocenas con depósitos de pequeño espesor compuestos por lutitas, limos yesíferos y cantos de yesos y calizas. Los barrancos de fondo plano (infilled valleys), son barrancos característicos de climas subáridos, que tiene una expresión geomorfológica extraordinariamente importante y frecuente en toda la cuenca media del Ebro, y muy especialmente en el entorno de la ciudad de Zaragoza (Figura 5). Son barrancos que supuestamente, en su inicio tuvieron la característica forma de uve, pero que en las condiciones climáticas subáridas y debido a corriente fluviales efímeras, se han rellenado y adquirido la forma que actualmente presentan. Son por tanto esos episodios efímeros los que cargados de sedimentos e inundando todo lo ancho del fondo del valle han dado lugar a esa morfología de fondo plano. En julio del año 2023 asistimos a uno de esos periodos efímeros, definido así por la corta duración del evento (apenas unas horas), y no por la frecuencia de ocurrencia.



Figura 5. Valle de fondo plano del barranco de la Muerte.

De los al menos 8 niveles de terrazas que se han llegado a distinguir, tendrían relevancia hidrogeológica las 4 terrazas bajas y medias junto con la llanura aluvial actual (Figura 6), que son las que permanentemente mantienen un nivel de agua que satura los depósitos en profundidad, conectándolos hidráulicamente entre sí y con los ríos. Este amplio conjunto define en la ciudad lo que viene llamándose el

acuífero aluvial urbano de los ríos Ebro y Gállego en Zaragoza (Garrido et al., 2010) aunque, a efectos prácticos de la gestión y administración de las aguas, se establece una división en dos masas de agua subterránea según la terminología de la Directiva Marco del Agua: el aluvial del Ebro-Zaragoza y el aluvial del Gállego. Las características hidrogeológicas de este acuífero urbano son bien conocidas (Moreno et al., 2008), tanto su geometría como las propiedades hidráulicas, la calidad del agua, la piezometría o las direcciones de los flujos subterráneos. Todo ello ha favorecido que tenga una importante explotación del agua subterránea, que en las últimas décadas se ha dirigido hacia el aprovechamiento con fines energéticos.

El recorrido que se visita en este Hidrogeodía 2024 discurre por la cuenca media del barranco de la Muerte (Figura 2), un sector donde se hallaría el límite del acuífero, la transición entre los relieves terciarios impermeables, los glaciares y las terrazas altas del acuífero aluvial. Se podrá deducir que la virulencia con la que se manifestó el episodio hidrometeorológico tiene en parte su justificación porque un elevado porcentaje del importante volumen de las precipitaciones caídas esa tarde del 6 de julio de 2023 se produjo sobre los materiales impermeables que ocupan la mitad meridional y las zonas de cabecera de la cuenca del barranco de la Muerte. La elevada pendiente media de la cuenca, aproximadamente del 2,5 %, y la incapacidad del terreno para absorber tan apenas una mínima parte del agua caída favoreció la generación de una escorrentía circulando a muy rápida velocidad a través de la red de vales, con un tiempo de concentración de la arroyada muy corto.

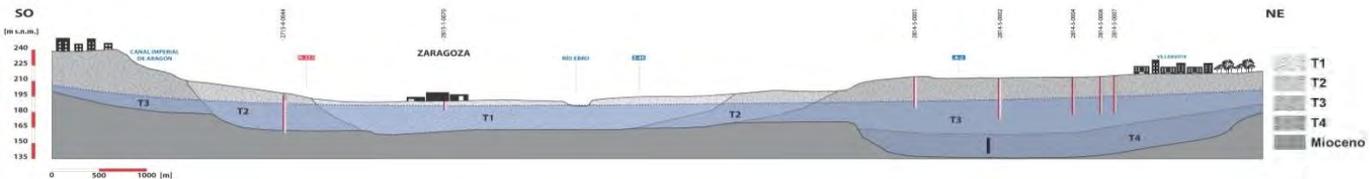
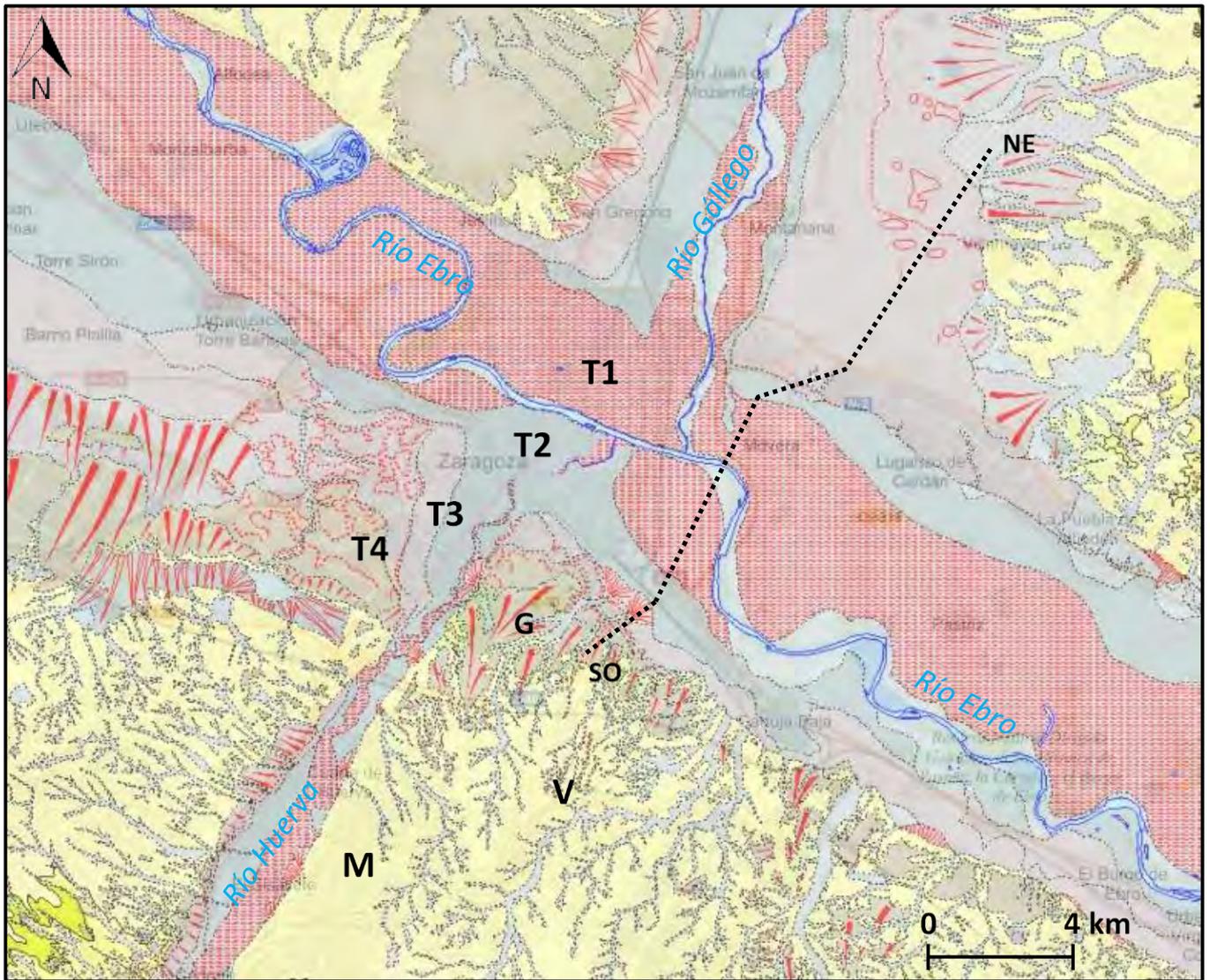


Figura 6. Mapa geológico en el entorno de Zaragoza y perfil hidrogeológico transversal (García-Gil et al., 2020). En el mapa se indica la posición del perfil, cuyo extremo SO coincide aproximadamente con el tramo medio del barranco de la Muerte. T1 a T4 son los niveles de terrazas bajas y medias; G: depósitos de glacia; V: valles de fondo plano; M: depósitos terciarios del Mioceno (Fuente: IGME).

de la Hispanidad (Z-30) hasta alcanzar el curso bajo del barranco. Una vez aquí, la menor pendiente del barranco contribuyó a disipar la energía y la velocidad de la arroyada, mientras que la mayor permeabilidad del terreno incrementó la capacidad de infiltración del agua.

Con un caudal creciente, las canalizaciones, que no estaban dimensionadas para unas precipitaciones de estas características, pronto se vieron desbordadas y el agua tuvo que circular con rapidez atravesando la Ronda

PARADA 1. EL EPISODIO HIDROMETEROROLÓGICO DEL 6 DE JULIO DE 2023

En la tarde del 6 de julio de 2023 se produjo en Zaragoza un evento hidrológico poco frecuente con una precipitación, variable en el espacio y en el tiempo, en torno a 50 litros por metro cuadrado repartidos en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del episodio de lluvia. Aunque, afortunadamente, no hubo víctimas, se produjo un riesgo hidrológico muy grave, en el barranco de la Muerte, antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón, por donde pasa la Ronda de la Hispanidad Z-30, confinada entre muros (Figuras 7 y 8).



Figura 7. Cinturón Z-30 de Zaragoza antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón.



Figura 8. La misma zona tomada desde la obra de drenaje del Canal Imperial de Aragón. Fuente: El Periódico de Aragón.

Dos son las causas de la existencia de este riesgo, una natural debido a la intensa precipitación en corto espacio de tiempo y otra artificial debida a la infraestructura viaria

que no contempla espacio específico para la circulación de las crecidas del barranco.

Sobre la causa natural cabe caracterizar la cuenca vertiente del barranco de la Muerte, que recoge el agua de lluvia concentrándola en las avenidas Policía Local y Tiziano, y finalmente en la Z-30, donde se sitúa el punto de salida que es la obra de drenaje del Canal Imperial (en el Siglo XVIII ya previeron una obra de drenaje para cruzar este barranco). Redondeando cifras, la cuenca vertiente en ese punto de salida tiene una superficie de 9 km², que es bastante, y un cauce principal de 7,5 km. El cauce del barranco de la Muerte atraviesa la Z-40 y el AVE situado a unos 3,5 km aguas arriba del punto de salida de la cuenca y se prolonga 4 km más hasta el cabezo de las Zorras a 402 metros de altitud (Figura 2). En el tramo de la Z-30, la pendiente es 2,5 % lo que hace que el agua haya circulado a con velocidad y energía. Como zonas singulares, la parte baja de la cuenca vertiente abarca Parque Venecia, el barrio de la Policía Local, el cementerio de Torrero y una parte del barrio La Paz. Desde el punto más alejado, el agua podría tardar en llegar 2 horas, lo que implica que, en el momento de la crecida, no estaba descargando toda la cuenca que, de haberse prolongado la lluvia más tiempo, la amenaza hubiera sido peor.

LA CUENCA Y SU REDUCIDO TAMAÑO

Sobre el tamaño de la cuenca vertiente y a modo comparativo, cabría recordar los dos eventos hidrometeorológicos más catastróficos registrados en Aragón en el Siglo XX: el de agosto de 1996 en el barranco de Arás con una cuenca de 18 km², que provocó 89 víctimas mortales; y otro, poco conocido, en septiembre de 1921 en el barranco de Aguilón con una cuenca de 14 km², donde fallecieron 18 personas. Los dos episodios no son únicos en sus respectivas cuencas. Por

ejemplo, en Aguilón se han registrado otros que, aunque sin víctimas personales, también ocasionaron graves daños: en 1981, septiembre de 1986, septiembre de 2003, o en junio de 2007 donde hay estimaciones de 80 l/m² en poco más de media hora. En el barranco de Arás hay constancia de otras riadas en los años 1907, 1922, 1929 y 1955, y hay más.

Como puede verse, las catástrofes graves se han producido en cuencas muy pequeñas. Hay un fenómeno conocido como efecto sorpresa que es una sensación. En el río Ebro todos los años hay más de una crecida, y se prevé una semana antes, a nadie le sorprende. Sin embargo, en las cuencas pequeñas pasan años sin crecidas y, cuando hay una, se produce muy rápidamente, crecidas relámpago se les llaman, y sorprenden mucho más. Parece haber una relación inversa entre sorpresa y frecuencia. En cuencas pequeñas, las crecidas son poco frecuentes, son muy rápidas, sorprenden y tienen mucho peligro.

Respecto a la identificación de este barranco, existen bases de datos para el territorio nacional que recoge los tramos de cauce que se consideran representativos y que normalmente se toma como referencia para definir los cauces sobre los que hay que solicitar autorización de obras. Cabe destacar que, como el barranco de la Muerte no está recogido en estas bases de datos, sería medida prudente su incorporación, así como la de muchos otros casos.

Si la forma de estos barrancos es una consecuencia de la superposición en el tiempo de esos eventos violentos y de corta duración, la pregunta que todos nos hacemos es, con que frecuencias se producen estos eventos. La mejor respuesta viene dada por la hidrología, en concreto la hidrología de pequeñas cuencas. Todos los estudiosos de la hidrología, y en todo el mundo, ha

demostrado que la intensidad de la lluvia va aumentando cuanto más pequeño es el intervalo de tiempo de medida. También se ha demostrado que la intensidad es mayor cuanto más pequeña es la superficie en que se mide.

Estas conclusiones ya profusamente demostradas y publicadas en los años sesenta, se ratifican continuamente gracias a los datos de los radares meteorológicos y la medición en pluviógrafos que dan datos quinceminutales de lluvia, como son los de la red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Todos tenemos evidencia del fenómeno, cuando hay una tormenta estival en Zaragoza, basta refugiarse los 10 o 15 minutos en que el agua cae a “cantaros” y de todos los lados, el paraguas sirve de poco, pero enseguida ha pasado, también observamos que, a poca distancia, en un barrio próximo, apenas ha llovido. Las pequeñas cuencas, tienen tiempos de concentración muy cortos, y por tanto les afectan intensidades de lluvia muy altas, y consecuentemente dan lugar a caudales punta muy elevados. A estas crecidas se les denomina Flash Flood o crecidas relámpago. La denominación sitúa bien su peligrosidad y el escaso tiempo de respuesta que se tiene cuando imprudentemente se está en el cauce de uno de estos barrancos.

Aragón es una de las zonas de España y de Europa donde más tormentas de este tipo se producen, y lo señala D. Lorenzo García de Pedraza, meteorólogo y más de cuarenta años jefe de la demarcación del Ebro, con varios libros y artículos impresionante sobre el clima y los fenómenos meteorológicos que han sucedido y suceden en la cuenca del Ebro. García de Pedraza denomina a las tormentas como la acaecida ese 6 de julio como “tormentas de calor o estivales”; describe perfectamente su origen, los indicios de formación, su evolución... Señala como características más acusadas de estas tormentas de calor los siguientes factores: a)

rápido desarrollo; b) pequeña extensión; c) precipitación local intensa; d) fuertes rachas de viento; e) adquieren su máximo desarrollo después de mediodía y se disuelven por la noche; f) llevan riesgo de granizada; g) el tiempo refresca a continuación. Esto lo decía en los años sesenta.

Actualmente, todas estas características se pueden ver, casi a tiempo real, con la información disponible en nuestros teléfonos móviles, especialmente, las imágenes de radar. La que se acompaña en la Figura 9 es del evento que consideramos, ya con unos 10 o 15 minutos de retraso, ya había pasado la zona del barranco de la Muerte. Con el radar meteorológico, que mide la reflectividad del aire, podemos ver esos “diluvios” locales y como se desplazan, aplicaciones en el móvil como “alarma de lluvia” proporcionan imágenes del radar de AEMET cada 10 o 15 minutos.

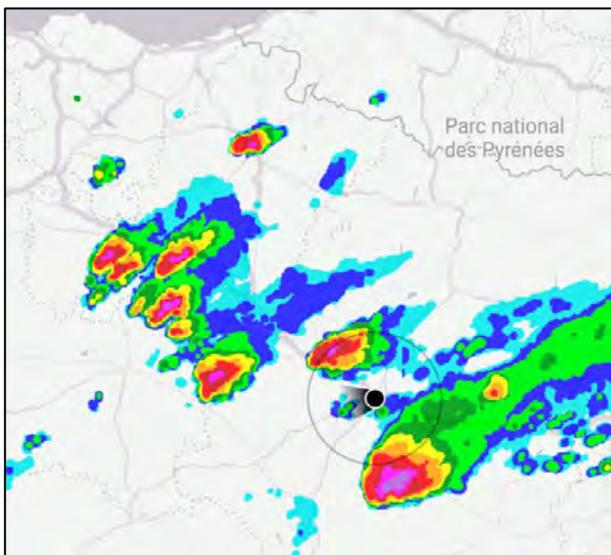


Figura 9. Imagen de radar meteorológico en el entorno de Zaragoza, pocos minutos después de la tormenta del 6 de julio de 2023. La coloración muestra la intensidad de las precipitaciones, azul menor y rojos mayor.

También con el SAIH se puede ver la lluvia que se ha registrado en observatorios cercanos a esos “ecos” intensos de lluvia cada 15 minutos y, por tanto, deducir la intensidad de la precipitación en mm/hora, que es el referente

para comparación de intensidades de lluvia; en el evento del 6 de julio se registraron intensidades de 80 mm/hora. La accesibilidad a esta información es pública, casi inmediata y gratuita.

Núcleos de tormenta como el producido no son raros en Aragón, se producen todos los años y muchas veces, en toda la geografía aragonesa, mejor se podría decir que son extraordinariamente frecuentes en Aragón. Estos episodios tormentosos vienen asociados a lluvias muy intensas pero que, por su carácter local, en la inmensa mayoría de los barrancos no producen daños, porque no hay nada que dañar, “mover las piedras”, por otra parte, nadie habla de ellas porque no hay observador.

¿SE PUEDE REPETIR UN EPISODIO SIMILAR?

Respecto a la probabilidad de que se repita otro evento parecido en Zaragoza, se puede afirmar que se volverá a producir, como en todo riesgo natural la cuestión es cuándo o con qué frecuencia. Para abordar esta cuestión cabría plantear que las series temporales de lluvia con datos más abundantes son de registro diario. El episodio del 6 de julio, como precipitación diaria es bastante moderada, en Zaragoza episodios de 50 l/m² en un día hay uno cada 5 años de promedio. La cuestión es que se produjo en 40 minutos que, aplicando normas estatales, daría como resultado que se trata de un episodio que se repite aproximadamente una vez cada 500 años (Tabla 1).

Tabla 1. Datos estadísticos de en precipitación Zaragoza

Periodo retorno	Años →	2	5	10	25	50	100	500
En un día	l/m ²	41	56	68	84	96	109	143
En 40 minutos	l/m ²	15	20	25	30	35	40	52

Fuente: publicación de 1999 del Ministerio de Fomento y otras.

Sin embargo, los fenómenos convectivos se desarrollan de forma localizada en el espacio y muchos de ellos no se registran en ningún pluviómetro. Además, eventos como éste, con una precipitación muy intensa concentrada en unos cuantos minutos, en los pluviómetros de registro diario pasaron desapercibidos porque a escala diaria no son excepcionales. Producen lo que se conoce como sesgo estadístico. Por lo tanto, antes de clasificar este evento con un periodo de retorno habría que hacerlo con prudencia y con un análisis más profundo porque podría ser mucho más frecuente de lo que aparenta, de hecho, casi todo el mundo ha visto varios episodios de este tipo a lo largo de su vida.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para la estimación de caudales punta, muchas administraciones españolas recomiendan el uso de la aplicación CAUMAX, que es una base de datos que asigna caudales asociados a periodos de retorno para cuencas de más de 50 km². Para cuencas más pequeñas, se recomienda aplicar la metodología que recoge Instrucción 5.2-IC/2016 - Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero), que aplica una adaptación española del método racional y del modelo de Número de Curva del Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos (CN-SCS). Con la adaptación española de este método americano se reducen muy significativamente los valores de caudal punta obtenidos.

Dos son las razones principales, una muy grave es que 5.2-IC considera un coeficiente corrector del umbral de escorrentía que viene a equivaler a seleccionar un estado del suelo previo al evento como muy seco, capaz de absorber cantidades muy significativas de agua que no producen escorrentía superficial. La segunda razón es el considerar un método de cálculo del tiempo de concentración que da resultados muy altos, por lo que las crecidas se estiman de forma muy laminada, con el pico

atenuado y la intensidad de precipitación es menor porque la cantidad de lluvia caída se reparte en un tiempo más largo.

La Tabla 2 adjunta muestra los resultados de caudal punta por periodo de retorno, calculados con la Instrucción 5.2-IC, y otros con el software SHEE, aplicando un método hidrológico distribuido más riguroso y en condiciones normales y estándar. Las diferencias de resultados son abrumadoras (Mateo et al., 2023). Señalar que el programa SHEE (Figura 10) tiene origen en tesis doctorales del área de Geodinámica del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Mateo et al., 2013).

Tabla 2. Caudales por periodo de retorno para la cuenca del barranco de la Muerte

Periodos retorno	Años →	5	10	25	50	100	500
Método 5.2-IC	m ³ /s	7	9	15	20	26	43
Hidrograma distribuido SHEE	m ³ /s	35	56	87	115	150	245

El programa SHEE tiene un módulo que genera lluvias sintéticas que permite simular eventos con distinta distribución espacial y temporal, como ocurre en la evolución de los fenómenos convectivos. Con él se han llevado diversas simulaciones con una precipitación de 50 l/m² en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del evento, 20 l/m² en 10 minutos. Para condiciones estándar el resultado ha sido un caudal punta de 64 m³/s. Si se clasifica este caudal punta con los resultados obtenidos al aplicar la Instrucción 5.2-IC se obtiene un periodo de retorno próximo a 1.000 años, sin embargo, con el modelo SHEE en condiciones estándar resulta un periodo de retorno del orden de 20 años, que es más o menos la edad de la Z-30 en ese punto.

En relación al coeficiente corrector del umbral de escorrentía su significativa reducción en los valores de las estimaciones, señalar que con el

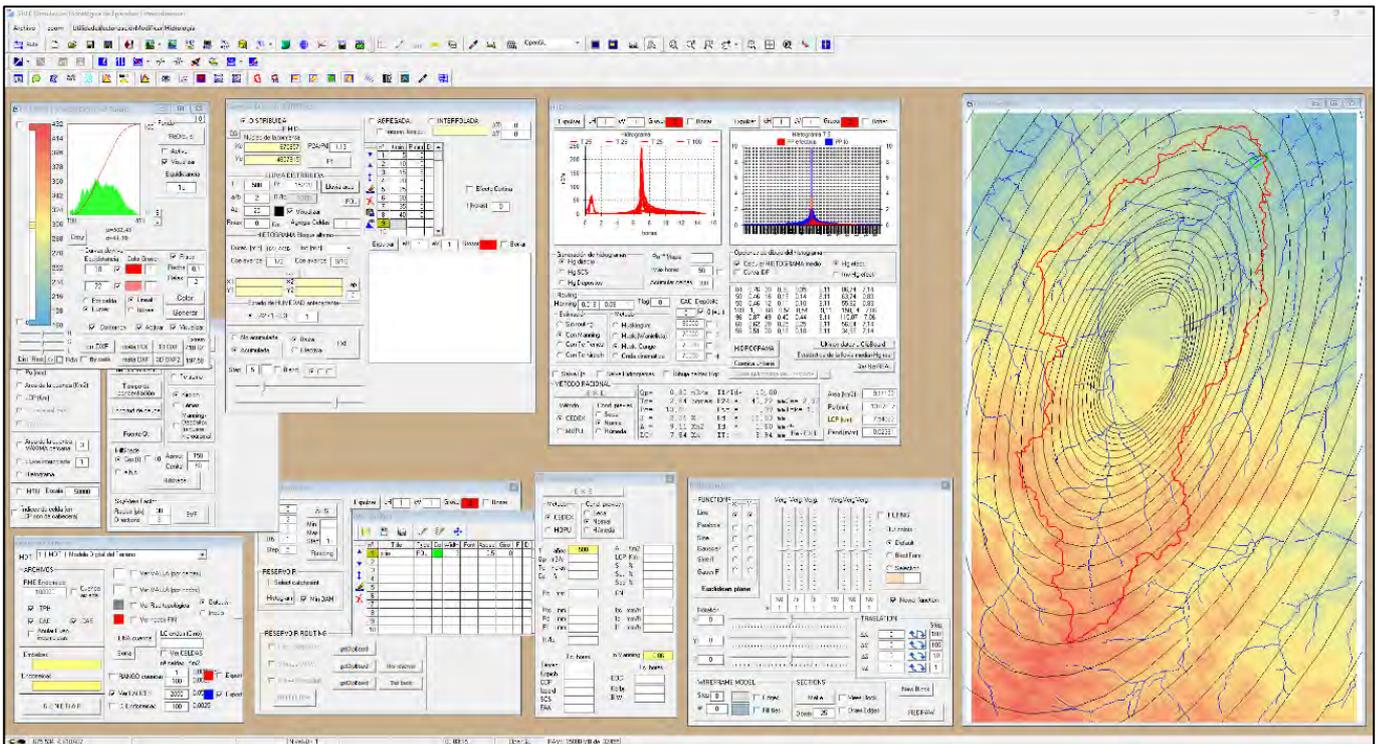


Figura 10. Interfaz del programa de hidrología SHEE (Mateo et al., 2023).

programa SHEE se ha podido comprobar que es el estado previo del terreno la característica hidrológica clave, la más sensible y la que produce mayores variaciones en la estimación de caudales de crecida, con variaciones del 120 %. También se ha comprobado que la combinación de características (significativas hay tres más: diferentes desarrollos en el espacio y en el tiempo para una misma cantidad de precipitación, y rapidez con que circula el agua por los cauces, otro de los criterios infravalorados de la Instrucción) puede producir oscilaciones del 300 % en la estimación de caudales de crecida. En la estimación de caudal punta, por ejemplo 500 años, ya se ve, 43 m³/s frente a 245 m³/s.

En definitiva, y en relación al barranco de la Muerte en Zaragoza, cabe resumir que no se trata de un episodio de 1.000 años como se deduciría al considerar los resultados de la Instrucción 5.2-IC, sino que puede ser más razonable que se repita cada más o menos 20 años, como muestra el programa SHEE. De hecho, los vecinos del barrio de Torrero de

Zaragoza han presenciado en el siglo XXI otros episodios torrenciales, menos severos, con el barranco en descarga.

Durante el transcurso de esta parada se podrán observar diferentes señales, marcas y efectos originados por el evento del 6 de julio en esta parte alta del barranco, destacando la altura alcanzada por el agua como consecuencia del represamiento favorecido por el terraplén del AVE. En este punto, la dimensión del paso de agua que deja el viaducto en el fondo del barranco, de 2,5 m de diámetro, fue claramente insuficiente para evacuar todo el caudal que iba llegando. El agua se fue acumulando hasta que su nivel subió unos 6 metros, alcanzando la cota del paso inferior de vehículos situado unas decenas de metros a la izquierda del barranco (Figura 11). En este paso inferior se observa la marca dejada por la arroyada, que alcanzó unos 0,8 m de altura media.



Figura 11. (A) Terraplén de la línea del AVE atravesando el barranco de la Muerte. La línea discontinua señala la altura alcanzada por el agua acumulada, que encontró salida por el paso inferior de vehículos, al fondo de la imagen. (B) Detalle en la conducción de agua (fondo del barranco).

PARADA 2. PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y RIESGOS HODROLÓGICOS

La planificación territorial y urbanística son las herramientas clave para el desarrollo de una región. Ambas políticas públicas son competencia de la Administración autonómica aragonesa según el Estatuto de Autonomía, es decir, se delega en Gobierno de Aragón por parte del Estado la legislación en cuanto a la redacción y ejecución en materia urbanística y territorial.

¿QUÉ IMPLICA PLANIFICAR?

Implica la ordenación, clasificación y calificación pormenorizada de los usos del suelo a través de diferentes instrumentos que permiten el desarrollo y la implantación de la actividad residencial y económica de la sociedad aragonesa bajo criterios de sostenibilidad social, económica y ambiental principalmente. Y, sobre todo, buscando o persiguiendo la misma calidad de vida equivalente a la ciudadanía aragonesa en cualquier territorio aragonés.

La diferencia principal entre ordenación del territorio y planificación urbana es que la primera es legislada y ejecutada principalmente por el Gobierno de Aragón. Mientras que la urbana la realiza la Administración local, es decir, los Ayuntamientos y entidades locales son el actor principal que ha de legislar sobre su suelo y sobre la proyección que quiere del mismo.

Es decir, la planificación urbana pretende determinar no solo el qué sino el cómo, cuándo y dónde desarrollar o mejorar las infraestructuras, los equipamientos, las viviendas, etc. de un determinado pueblo o ciudad. Es decir, cuando se aprueba un Plan General de Ordenación Urbana se le presupone una entidad de documento legal con proyección en el tiempo a 15, 20 o 25 años de lo que quiere ser esa ciudad al tiempo.

No debería variar mucho la vida de ese documento legal, aunque hay formas previstas para su modificación parcial. Zaragoza es ejemplo de ella siendo una de las principales ciudades de España y motivada por la "vida y desarrollo económico que posee" ·

La realidad en Aragón es muy heterogénea en ambas políticas públicas. Mientras que en la ordenación del territorio está claramente identificada a través de la Estrategia de Ordenación del Territorio y las Directrices parciales, zonas o especiales, la planificación

urbana está desarrollada de una forma irregular. Aún tenemos gran parte del territorio con figuras de planeamiento no desarrolladas como consecuencia de nuestra historia más reciente que dispone de municipios con poca población (y fuerza técnica o interés político) que no han desarrollado sus propios instrumentos urbanísticos. Eso implica que tengamos aún mucho suelo en Aragón con normas jurídicas del siglo pasado como son delimitaciones de suelo urbano o normas subsidiarias municipales o sin figura de planeamiento municipal (normas subsidiarias provinciales).

No es el caso de la macrocefalia aragonesa, Zaragoza, que dispone de Planes Generales desde hace más de 40 años. Toda la información se puede consultar a través del portal web del Gobierno de Aragón o del propio Ayuntamiento de Zaragoza. Dentro de este marco general, el Ayuntamiento de Zaragoza o cualquier municipio desarrolla su planeamiento urbanístico donde se da cabida a la modificación del plan por razones de diversa índole que se tratan a través de órganos colegiados que determinan la idoneidad del cambio desde el punto de vista legal, urbanístico, económico o ambiental. Ejemplo de ello pueden ser la ubicación de la Romareda, la instalación de una planta fotovoltaica o la construcción de una instalación ya sea educativa o sanitaria o de otra índole.

Toda modificación o desarrollo urbanístico parte del Ayuntamiento que es el actor interesado y el que eleva al Gobierno la modificación a realizar bajo una serie de procedimientos donde se evalúan los diferentes aspectos del desarrollo urbanístico planteado o del suelo no urbanizable. La idoneidad, la ubicación, el riesgo o el impacto ambiental son ejemplos de los elementos que se analizan de forma pormenorizada y, por tanto, documentos legales que se han de cumplir tras su aprobación en el Pleno del

Ayuntamiento y en la Comisión Provincial de Urbanismo respectiva. Toda la información tanto legal como técnica queda, por tanto, recogida dentro del expediente administrativo para su consulta por parte de cualquier ciudadano asegurando la transparencia y participación de la ciudadanía aragonesa a lo largo de todo el proceso.

En esta parada podemos observar el límite que separa las parcelas rurales de la actual zona urbanizada, donde el barranco comienza a sufrir un proceso de transformación e integración en el paisaje urbano. En adelante, durante el recorrido se podrá ir observando diferentes marcas del alcance dejado por la arroyada del 6 de julio, así como diversos desperfectos ocasionados en canalizaciones e infraestructuras (Figura 12 y 13).



Figura 12. Losa de cemento arrancada y arrastrada por la fuerza de riada.



Figura 13. Tronco arrastrado por la riada y depositado elevado en una cuneta.

PARADA 3. DERIVACIÓN DEL BARRANCO

Hasta el punto donde se sitúa esta parada, el barranco ha seguido más o menos su curso natural.

Sin embargo, en este punto se ha acometido una obra que ha supuesto la canalización y derivación del barranco de la Muerte unos pocos metros hacia el oeste. Con unos 300 m de longitud, el canal de sección trapezoidal con 3,5 m de anchura por su fondo y calado de 1,5 m, discurre de sur a norte hasta enlazar nuevamente con su trazado natural junto a las tapias del cementerio de Torrero.

Desde allí, el diseño de Parque del Barranco integra el cauce dando un nuevo aspecto y servicio a esta zona de la ciudad. En esta posición se procede a una breve parada para observar la obra de derivación y la canalización existente (Figura 14). Consiste en dos conducciones paralelas bajo pasarela, de 1,75 m de diámetro.



Figura 14. Conducciones para derivación del cauce del barranco de la Muerte.

Cabe destacar que el caudal que pudo concentrarse en este lugar el 6 de julio fue muy superior a la capacidad para la que fue diseñado el paso bajo la pasarela, no teniendo

más opción que continuar la arroyada por su cauce natural. Son más que evidentes los visibles destrozos ocasionados en los estribos de la pasarela y en su entorno (Figura 15).



Figura 15. Desperfectos junto a los estribos de la pasarela en la derivación del cauce.

También se puede advertir la nueva dirección que tomó la arroyada a partir de los restos vegetales transportados y acumulados en los troncos de la arboleda contigua (Figura 16A).

Prueba de ello se tiene es la instantánea de la Figura 16B, que capta la inundación de este pinar por una arroyada similar que aconteció el 10 de julio de 2007, aunque de menor entidad que la sucedida en 2023.



Figura 16. (A) Cauce natural del barranco atravesando la arboleda, junto a restos vegetales atrapados en los troncos; (B) Arroyada del 10 de julio de 2007 en este mismo emplazamiento.

PARADA 4. PARQUE DEL BARRANCO

EL PAPEL DEL PARQUE DEL BARRANCO DE ZARAGOZA EN LA GESTIÓN DE INUNDACIONES.

En medio del bullicio urbano y el tejido urbano de Zaragoza, se yergue un oasis de tranquilidad y biodiversidad: el Parque del Barranco de Zaragoza. Este espacio verde, situado en el cauce del barranco de La Muerte, no solo es un refugio para la fauna y la flora locales, sino que también desempeña un cierto papel en la gestión de inundaciones.

El Parque del Barranco de Zaragoza encaja dentro de lo que se conocen como infraestructuras verdes-azules, cada vez más frecuentes en grandes urbes como Barcelona, Copenhague o Santiago de Chile. Las infraestructuras verdes-azules son un enfoque integrado que combina elementos naturales (verdes), como áreas de vegetación y suelos permeables, con elementos acuáticos (azules), como cuerpos de agua y canales.

Esta combinación crea un sistema multifuncional que puede absorber, retener y tratar el agua de lluvia, reduciendo así el riesgo de inundación y contaminación en zonas urbanas.

El Parque del Barranco cuenta con una serie de infraestructuras hidráulicas, tales como canales y diques (Figura 17A), enfocados a laminar el flujo del agua durante periodos de lluvias intensas, lo que contribuye a reducir el riesgo de inundaciones en las áreas urbanas cercanas. Los estanques y las áreas inundables creadas con la construcción de diques dentro del parque actúan como reservorios temporales (Figura 17B), reteniendo el exceso de agua durante los periodos de lluvia intensa y liberándola gradualmente una vez que el riesgo de inundación ha disminuido. El agua retenida por los diques es evacuada a través de una tubería central de escaso diámetro (≈ 25 cm) que limita el caudal de evacuación. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento y evacuación de agua de estos reservorios es limitada y tan solo resultan eficaces frente eventos de inundación pequeños o moderados.

Parque del Barranco también cuenta con áreas revegetadas que ayudan a prevenir la erosión del suelo, manteniendo la estabilidad de las riberas del canal y reduciendo el riesgo de deslizamientos de tierra durante eventos extremos de precipitación.



Figura 17. (A) Estanques, canales; (B) diques, en el Parque del Barranco.

Adicionalmente, se han instalado escolleras a la salida de las embocaduras de hormigón armado para evitar la erosión del suelo y de las infraestructuras más próximas (Figura 18). Cabe indicar que bajo la pasarela se han dispuesto de dos conductos para paso del agua, de forma y dimensiones análogas a los precedentes.

Sin embargo, una infraestructura de este tipo por si sola y sin un dimensionamiento y características adecuadas no puede hacer frente a eventos de inundación extremos como el ocurrido en julio de 2023.

Por lo tanto, con una planificación cuidadosa y una colaboración entre diferentes sectores, las infraestructuras verdes-azules pueden desempeñar un papel crucial en la construcción de ciudades más seguras, saludables y sostenibles.

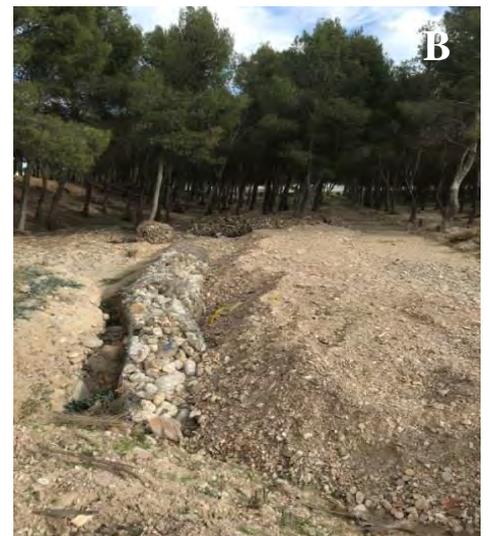


Figura 18. (A) Escolleras y diques; (B) Efectos erosivos de la riada sobre diques de contención en el Parque del Barranco.

PARADA 5. REALIDAD JURÍDICA, URBANÍSTICA Y TERRITORIAL DEL CEIP MARÍA ZAMBRANO. CONSECUENCIAS DE LA URBANIZACIÓN DEL BARRANCO

El CEIP María Zambrano está ubicado sobre suelo urbanizable delimitado (SUz-D) según el Texto Refundido Plan General de Ordenación Urbana de 2007 publicado en el BOA con fecha 30/6/08 y el posterior desarrollo de Parque Venecia en PP SUZ 88/I y sucesivas modificaciones aisladas del PG y del PP así como Estudio de Detalle Modificado de la Parcela EE (PU) 89.38 (Ayuntamiento de Zaragoza, 2023) (Figura 19).

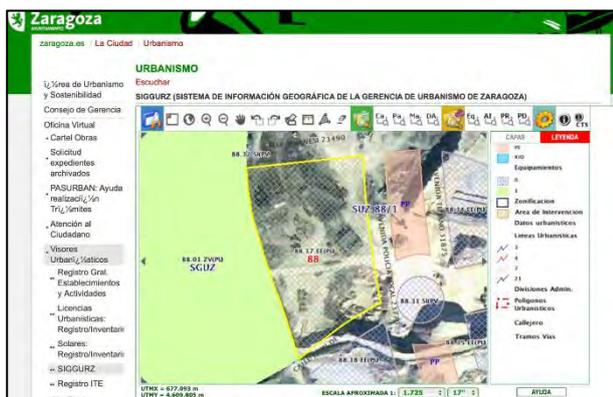


Figura 19. Parcela EE (PU) 89.38. Fuente: SIGGURZ. Ayuntamiento de Zaragoza. Julio 2023.

La principal incidencia desde el punto de vista territorial es la deficiente descripción del barranco y su cuenca receptora dentro de las bases cartográficas oficiales. No se tiene registrado el barranco como cauce ni se dispone de estudios de detalle sobre riesgos en materia de aguas.

No obstante, hay bibliografía documental, gráfica y administrativa que reflejan y evidencian el riesgo que comporta el barranco. Destacan entre otros:

- Diario de Zaragoza 13 de agosto de 1859.

- Diario de avisos 14 de septiembre de 1891.

Ambas originan la rotura de la acequia del plano (sita en la Quinta Julieta tras tanque de tormentas) y lamentablemente la muerte de varias personas.

- Informe preceptivo no vinculante de Protección civil. Año 2003.

- Registros audiovisuales de la avenida Año 2007 que inunda instalaciones de la Policía Local.

Hasta su declaración como suelo urbanizable, los anteriores PGOU declararon este espacio como Suelo No Urbanizable.



Figura 20. Consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales de bien inmueble. Parcela catastral 6997401XM7069H. Fuente: Sede electrónica de Catastro.

La realidad técnica señala que el suelo donde se han instalado infraestructuras y equipamientos antrópicos ha de ser declarado como Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos, tal como se detalla en la última Ley de Urbanismo de Aragón y su desarrollo en la Norma Técnica de Planeamiento Urbanístico de Aragón (Gobierno de Aragón, 2014; 2017).

La información jurídica y catastral de la parcela catastral 6997401XM7069H refleja como suelo de clase urbano sin edificar la parcela

donde está ubicado el CEIP María Zambrano (Figura 20).

No existe sincronización con el Registro de la propiedad, que señala que el CEIP María Zambrano se localiza en una parcela de suelo urbano propiedad del Ayuntamiento de Zaragoza. La parcela EE (PU) 88.17 tiene asignado un uso de Equipamiento Docente Público EE(PU), teniendo una edificabilidad de 1,00 m²/m² y altura máxima B+3 conforme al Estudio de Detalle Modificado de la Parcela EE (PU) 89.38 (Figura 21). Por tanto, la realidad jurídica es clara dada la oficialidad del Registro de la propiedad. Es suelo urbano habilitado para la construcción de equipamiento docente.

En el marco de la planificación urbana, los espacios fluviales son considerados específicamente como una categoría vinculada de Suelo No Urbanizable Especial según el marco legal vigente que es el Decreto-Legislativo 1/2014, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Urbanismo de Aragón.

DATOS DE LA FINCA	
Finca :FINCA DE ZARAGOZA Nº: 24221	
IDUFIR: 50021000488747	
Naturaleza de la finca: URBANA	
LOCALIZACIÓN	
AVENIDA DE LA POLICIA LOCAL, Número: 4	
SUPERFICIE	
Terreno: trece mil cuatrocientos treinta y cinco metros cuadrados	
LINDEROS:	
norte, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE C; sur, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE D; este, CON VIARIO PÚBLICO DE NUEVA APERTURA IDENTIFICADO COMO CALLE E; oeste, CON CAMINO DE LA PARADERA DE ARRAEZ	
PARCELA DE EQUIPAMIENTO EDUCATIVO BB02 RESULTANTE DE LA REPARCELACIÓN DEL SECTOR 88/1 DEL PLAN GENERAL MUNICIPAL DE ORDENACIÓN URBANA DE ZARAGOZA. CARECE DE APROVECHAMIENTO URBANÍSTICO LUCRATIVO. USOS Y CONDICIONES URBANÍSTICAS LOS CORRESPONDIENTES DE SU NATURALEZA COMO EQUIPAMIENTO EDUCATIVO. EDIFICABILIDAD: UN METRO CUADRADO POR UN METRO CUADRADO. OCUPACIÓN: SETENTA Y CINCO POR CIENTO. ALTURA: PLANTA BAJA MÁS DOS ALZADAS.	
TITULARIDADES	
AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA, con C.I.F. número P50303006, titular de la totalidad del pleno dominio por título de REPARCELACION, inscrita el día 08 de octubre de 2007, según la inscripción 1ª al folio 153, tomo 4609, libro 476, por Reparcel de fecha 30 de agosto de 2007.	

Figura 21 Detalle de nota simple. Parcela catastral 6997401XM7069H. Fuente: Registro de la propiedad. Julio 2023.

El Organismo de cuenca (CHE en este caso), Gobierno de Aragón (INAGA e IAA) y la Administración local (Ayuntamiento de Zaragoza en este caso) son los responsables y competentes por razón de la materia en

planificar, analizar, ordenar los espacios fluviales para que la convivencia o relación hombre-medio sea la idónea.

En suma, de todo lo expuesto hasta ahora se desprende que, el barranco de la Muerte tiene un riesgo muy alto de avenidas torrenciales severas debido a un retorno corto de precipitaciones intensas en menos de 24 h. Los datos físicos (dimensión de la cuenca), climáticos (cambio climático), meteorológicos (periodos de retorno estimados de 16 a 30 años) sumados a los urbanísticos evidencian que el suelo sobre el que discurre el flujo preferente del barranco de la Muerte está ocupado legalmente, pero de forma indebida.

EL EFECTO DE LA URBANIZACIÓN. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

Se ha llevado a cabo una simulación con el programa SHEE, ya comentado en la parada 1, donde las zonas urbanizadas se han restituido virtualmente al estado natural y se obtiene un caudal punta más reducido, de 56 m³/s (Mateo et al., 2023). Como dato significativo señalar que el área urbanizada representa el 15 % de la cuenca y ha producido un aumento de caudal punta del 14 %. Quizás este resultado se debería de tener en cuenta para futuras áreas urbanizables.

Para este análisis Mateo et al. (2023) simulan tres escenarios. El primero de ellos trata de reproducir el evento del 6 de julio de 2023 a partir de los datos meteorológicos disponibles, y los otros dos corresponden a los periodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente. Se ha usado el software libre IBER en su versión 3.3. Consiste en un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y desarrollado por varias universidades españolas (Bladé et al., 2014)

Para la realización de las simulaciones se ha modelado una zona desde el CEIP María Zambrano hasta el paso de la Ronda Hispanidad bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón. Se construye una malla no estructurada de triángulos con 2 m de lado, resultando un modelo con un total de algo menos de 94.000 triángulos. Sobre esta malla se ha aplicado el modelo digital del terreno de 2 m de paso de malla, modelo que no refleja las edificaciones existentes en las inmediaciones de las avenidas de la Policía Local y Tiziano, por lo que los resultados reales tenderán a concentrar el flujo del agua en esas zonas.

La condición de contorno de entrada de flujo al modelo se realiza por la zona suroeste, por la parcela donde se encuentra el CEIP María Zambrano, que sufrió abundantes destrozos durante la avenida registrada el día 6 de julio de 2023. Desde allí el agua, tras afectar de forma considerable también al supermercado de la marca Lidl, baja por la Avenida de la Policía Local hasta llegar a la Ronda Hispanidad. La salida del flujo en el tramo simulado se establece bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón.

Las afecciones simuladas son importantes en todas las infraestructuras mencionadas. En la parcela donde se ubica el colegio se superan los 70 cm de calado, con velocidades de flujo superiores a los 4 m/s. Como se ha indicado, el modelo de terreno no contempla la existencia del colegio, de forma que al existir obstáculos para la libre circulación del agua y teniendo en cuenta la energía del flujo, en algunas zonas del colegio el calado habrá superado fácilmente esta cifra. En la Ronda Hispanidad Z-30 se observa igualmente que las afecciones son importantes, en este caso los calados superan el metro de altura con la misma velocidad de flujo.

Habría que recordar que, de acuerdo con el Real Decreto 9/2008 de Dominio Público

Hidráulico, las condiciones para que un flujo de agua pueda generar daños graves sobre las personas y sus bienes son que el calado supere 1 m de altura, o que la velocidad supere 1 m/s o que el producto de ambas sea superior a 0,5. Así, la peligrosidad del flujo fue muy alta durante todo el evento simulado tanto en el colegio, como en el supermercado, la Avenida de la Policía Local y finalmente al Ronda de la Hispanidad; tal y como resulta de la simulación y como se aprecia en todas las imágenes y vídeos que han publicado los medios de comunicación y las redes sociales durante el evento y los días siguientes. Tanto el colegio María Zambrano, como el supermercado y las mencionadas vías de comunicación se encontrarían dentro de la zona de Riesgo Grave de inundación para un evento como el sufrido y por supuesto para los otros dos escenarios simulados. Un ejemplo de los daños causados puede observarse en la Figura 22.



Figura 22. Descalce de plataforma y acera entre el CEIP, el supermercado y el edificio la Policía Local provocado por la erosión de la riada.

De los resultados de las simulaciones que se resumen en la Tabla 3 se comprueba que, para el caso de los periodos de retorno (T) de 100 y 500 años, los daños serían todavía mayores, pudiendo llegar a ser el calado en la parcela del colegio casi del doble del que se ha registrado en este evento y lo mismo en la Ronda de la Hispanidad.

Esto en una situación de periodo lectivo o de gran afluencia de vehículos podría dar lugar a una catástrofe, incluso con posible coste de vidas humanas (Figuras 23 y 24).

Tabla 3. Resumen de resultados de valores máximos simulados

Simulación	Parcela CEIP María Zambrano			Ronda Hispanidad – Z30		
	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Daño Grave RD9/2008	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Daño Grave RD9/2008
Evento 6 julio 2023	0,30	2,07	Sí	0,65	3,39	Sí
T 100	0,50	3,88	Sí	0,90	4,74	Sí
T 500	0,90	4,55	Sí	1,20	5,56	Sí

Ante estas evidencias muchas han sido las voces que se alzaron solicitando a los responsables públicos adoptar medidas cautelares. Desde el Colegio de Geólogos se recomendó que este barranco se incorporara en las bases de datos de cauces del Ministerio de Medio Ambiente y, como medida cautelar, como mínimo y si no se adopta otra solución más taxativa, se realizara un plan de emergencias para el CIEP María Zambrano, para el tramo afectado de la Z-30, para las avenidas de la Policía Municipal y Tiziano y para los concurridos centros comerciales que se pudieran ver afectados por las riadas de este barranco. Se debe considerar que este episodio se puede volver a repetir con más frecuencia de la que parece, y que puede haber episodios todavía más severos

Desde el Colegio de Geógrafos se formularon también algunas recomendaciones recogidas

en el Estudio geográfico CEIP María Zambrano, realizado en septiembre de 2023:

- Obligatorio, urgente e inequívoco realizar un estudio de riesgo por avenidas extremas para el barranco de la Muerte teniendo en cuenta todos los elementos físicos y antrópicos existentes usando la metodología realizada y probada en Benasque por el Instituto Geográfico de Aragón (IGEAR) en el marco del proyecto POCTEFA-Alert. Año 2020 (Gobierno de Aragón, 2020).

- Eliminar cualquier equipamiento ubicado en cauce del flujo preferente del barranco de la Muerte dado el periodo de retorno de precipitación intensa diaria inferior a 20 años.

- Modificar urgentemente el PGOU del Ayuntamiento de Zaragoza para modificar el PP SUZ 88/I como Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos (SNU-E).

- Reubicar de forma urgente los equipamientos existentes en el lecho del cauce del barranco de la Muerte a una nueva ubicación por analizar y estudiar dentro del Parque Venecia.

- Analizar y resolver la responsabilidad patrimonial compartida existente por la declaración legal indebida de suelo urbano de la zona de estudio.

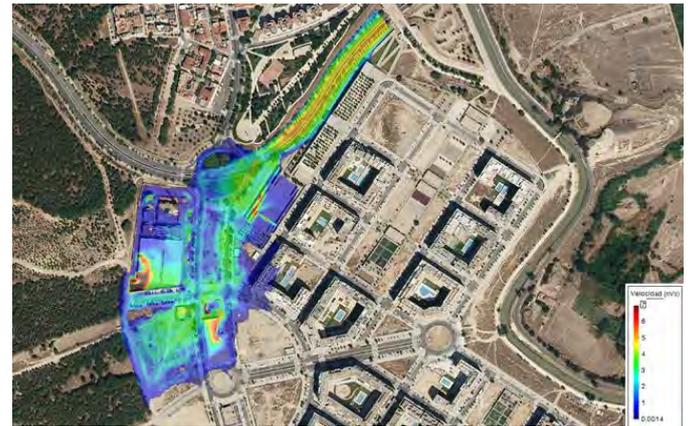


Figura 23. Mapa de calado (izquierda) y velocidad (derecha). Simulación del evento del 6 de julio de 2023.

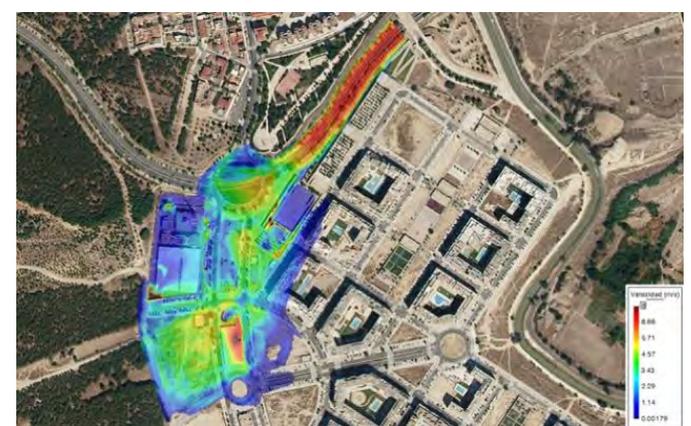


Figura. 24. Mapa de calado (izquierda) y velocidad (derecha). Simulación para un evento de 500 años.

Hasta la fecha, las soluciones adoptadas por las administraciones competentes para reducir el riesgo han sido varias, como la colocación de sensores en algunos de los conductos existentes aguas arriba del barranco, para identificación y alerta cuando se alcanza su máxima capacidad de evacuación; la ampliación del diámetro de entrada del conducto junto al CEIP; elevación de un muro perimetral al CEIP; o la colocación de rejillas para desbaste y la incrustación en el lecho de otros elementos que pretenden reducir la energía de la arroyada (Figura 25).

Sin embargo, la actuación más importante que ha programado el Ayuntamiento de Zaragoza para el segundo semestre de 2024 consistirá básicamente en la excavación por la parte trasera del CEIP de un canal perimetral de alivio de unos 300 m de longitud y 25 de anchura, que conduciría las aguas hasta el colector de la Z-30 (Aragón Digital, 2024).



Figura 25. Estado actual del colector del barranco de la Muerte situado en la parte trasera al CEIP María Zambrano.

PARADA 6. EL TANQUE DE TORMENTAS DE PUERTO VENECIA

Las redes de saneamiento y las instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas suelen tener unas dimensiones y unas características de diseño que garantizan un funcionamiento y rendimiento óptimo de los procesos de depuración cuando se tienen unos caudales de admisión que mantienen cierta regularidad con el tiempo, con pequeñas fluctuaciones de la carga contaminante. Cuando los sistemas que controlan los flujos de agua urbanos no diferencian entre circuitos para las aguas residuales urbanas de los que recogen las aguas de escorrentía superficial, las canalizaciones utilizadas para ambos casos son las mismas, siendo denominadas como redes unitarias de saneamiento; en caso contrario son redes separativas.

Durante episodios de fuertes precipitaciones, el agua que cae y discurre sobre las amplias superficies que impermeabilizan el suelo de las ciudades (tejados, pavimentos, aceras) y la que procede de la escorrentía generada en parques y jardines, es conducida a través de las redes de vertido, llegando a concentrar en breve espacio de tiempo un volumen importante de agua. En estos escenarios, las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas experimentan un súbito incremento del caudal de entrada, con flujos que incorporan gran cantidad de elementos sólidos de gran tamaño, partículas en suspensión y otros elementos disueltos altamente contaminantes, como aceites, grasas, disolventes, materia orgánica, etc., que proceden del lavado del mobiliario urbano, vehículos, cubiertas y superficies pavimentadas. Una repentina incorporación de esta elevada carga contaminante en los tanques digestores de materia orgánica de las

estaciones depuradoras puede interrumpir los procesos biológicos que tiene lugar en su interior, haciendo ineficaces las medidas de descontaminación para las que están diseñadas.

Los tanques de tormenta y los depósitos de laminación son por tanto un tipo de infraestructuras que forman parte del ciclo urbano del agua y que están encaminadas a prevenir estas situaciones. Su cometido consiste en laminar las puntas del caudal que entra al sistema en momentos de fuertes precipitaciones, suponiendo un alivio puntual para los colectores que ven desbordada su capacidad de conducción en sectores determinados de toda la red urbana de vertido. Por su funcionalidad forman parte de un tipo de estructuras conocidas hoy en día como Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).

Un tanque o depósito de tormenta puede definirse como aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimizar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de los mismos (MAGRAMA, 2014). Esta gestión de mezcla de flujos de aguas residuales y aguas de escorrentía pluvial evitan o reducen inundaciones, cuando se diseñan específicamente para ello, pero también minimizan los vertidos de un sistema de saneamiento al medio receptor, el cauce del río Ebro en el ejemplo que aquí se trata. Existen diferentes tipos y morfologías de tanques, disponer de unos u otros depende de cuál será su localización en la cuenca vertiente, las características de la red de vertido, su finalidad y uso al que se destine. Su arquitectura y diseño ocupa gran espacio por lo que suelen construirse de manera que se integran en el paisaje urbano con otro uso secundario de su zona inundable o de su superficie, bien como parques, áreas de juego, anfiteatros, etc. Esto hace que no siempre sean fácilmente reconocibles a simple vista.

Zaragoza cuenta actualmente con varias estructuras de laminación y tanques de tormenta repartidos por diferentes puntos de la ciudad (Figura 26), estando pendiente de ejecución uno nuevo junto al río Huerva, que próximamente se construirá y se unirá al catálogo de los ya existentes.

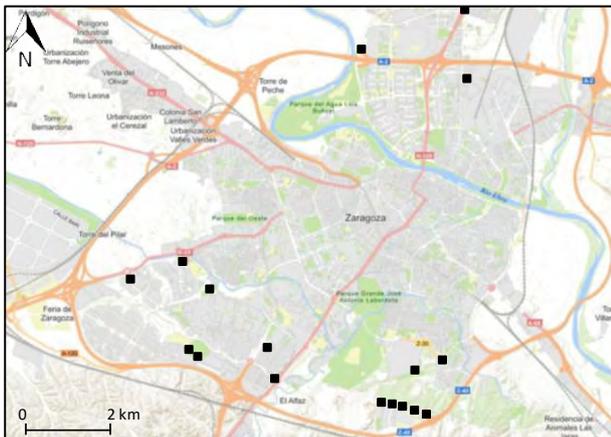


Figura 26. Localización de los tanques de tormenta y depósitos de laminación de Zaragoza, según Soriano (2015).

El tanque de tormentas de Puerto Venecia es un depósito con capacidad para 3.000 m³, algo superior al volumen de una piscina olímpica, que ocupa una zona cubierta (al fondo de la Figura 27) y un gran espacio alrededor abierto, habilitado como plaza o escenario público cuando no realiza su verdadera función laminadora de lluvias.



Figura 27. Tanque de tormentas y depósito de laminación de Puerto Venecia.

Su funcionamiento es simple. En periodos de lluvia, cuando el caudal de agua sobrepasa la

capacidad de la red de colectores que procede del barrio de Parque Venecia, el agua es derivada hacia estos depósitos donde se acumula y almacena. Una vez finalizadas las lluvias, cuando el colector disminuye su caudal, una serie de bombas de achique instaladas en los tanques elevan el agua almacenada de nuevo hacia los colectores para ser conducida hacia las estaciones de tratamiento que completarán su depuración. Más información de cómo funciona este depósito y cómo es en su interior puede seguirse a través de diferentes reportajes realizados por Aragón TV, disponibles en la red Youtube.

PARADA 7. LA RONDA DE LA HISPANIDAD Y EL CANAL IMPERIAL DE ARAGÓN

La geomorfología es una disciplina geológica que, apoyada en las formas del relieve, pretende explicar su génesis y su evolución; es decir, intenta comprender los procesos geológicos que han tenido y tienen lugar, para dar lugar a la forma estudiada. La información geomorfológica disponible sitúa sin lugar a dudas, tanto el colegio considerado, como la carretera de circunvalación Z-30 en el tramo visitado, como emplazados sobre un barranco hidrológicamente activo, identificado incuestionablemente, como un barranco de fondo plano.

Se han publicado mapas geomorfológicos que incluyen detalle de esta zona visitada (Soriano, 1990; Guerrero, 2009; Gutiérrez et al., 2008; Carbonel et al., 2014). Superponiendo en Sistema de Información Geográfica las fotografías aéreas de la zona y la citada cartografía geomorfológica georreferenciada, obtenemos las siguientes imágenes (Figura 28).



Figura 28. Mapa Geomorfológico (derecha) de (Guerrero 2009) superpuesto a la fotografía aérea actual (izquierda). Los barrancos de fondo plano aparecen cartografiados en toda su extensión y el círculo señala la parcela que ocupa el CEIP María Zambrano.

Si ampliamos la zona del CEIP María Zambrano (Figura 29), puede apreciarse su ubicación en el cauce del barranco, cortando transversalmente el paso natural de las aguas. Imposible seleccionar un emplazamiento más desfavorable, puede verse que también afecta, parcialmente, a las instalaciones de la Policía Local, y que afecta también a la parcela que queda pendiente de entregar para servicio de la ciudadanía. Llama la atención, poderosamente, que la práctica totalidad de las zonas de construcción de viviendas, situadas sobre depósitos de terrazas antiguas del río Ebro, están fuera de barrancos, no serían inundables y de hecho no se inundaron en el evento del 6 de julio.

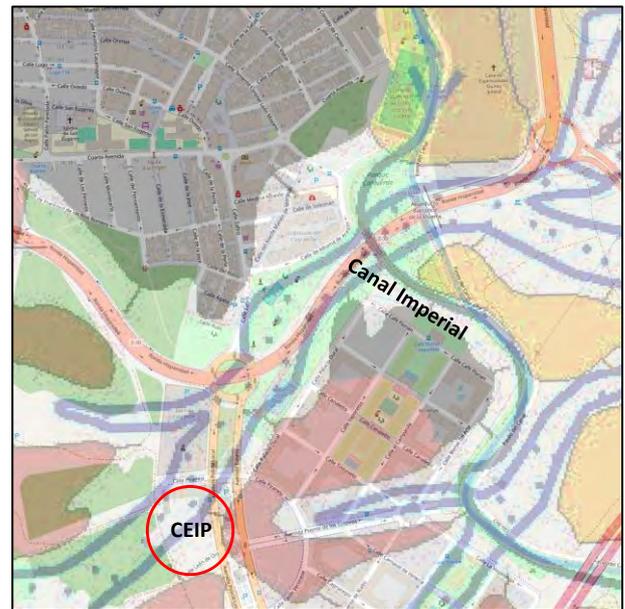


Figura 29. Ampliación del Mapa Geomorfológico del barranco de la Muerte entre el CEIP María Zambrano (en el círculo) y el Canal Imperial de Aragón (Guerrero, 2009).

En una situación similar se encuentra el Tercer Cinturón Z-30 que, desde la rotonda de la Policía Local, hasta agua por debajo del paso por el Canal Imperial, discurre en su totalidad por el fondo del barranco considerado (Figura 30). La situación además se agrava porque el barranco de la Muerte ha sido fuertemente constreñido, disminuyendo su anchura, más aún con el problema añadido del paso por debajo del primer puente del Canal, que es el acueducto original (Figura 31).



Figura 30. Vista hacia el suroeste del acueducto del Canal Imperial en su estado actual.

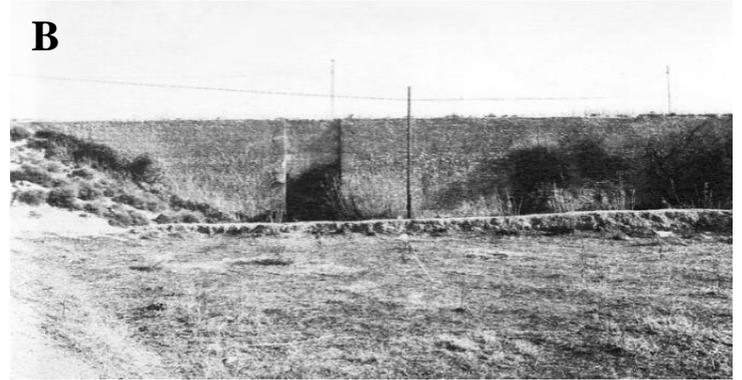


Figura 31. Imágenes del acueducto del Canal Imperial de Aragón. (A) Grabado de 1833, visto desde aguas abajo en el barranco de la Muerte (Fuente: Diputación Provincial de Zaragoza). (B) Estado anterior a la construcción de la Z-30 (Fuente: Canal Imperial de Aragón. MOPU (1984), en: Gran Archivo Zaragoza Antigua).

Con la construcción de la Z-30 esta estructura quedó debilitada para su función original por lo que la conducción de agua se trasladó un centenar de metros más abajo en el barranco (Figura 32).



Figura 32. Efectos de la riada del 6 de julio de 2023 a su paso por el nuevo acueducto del Canal Imperial de Aragón (Fuente: Heraldo de Aragón).

En definitiva, no existe cauce aparte para conducir las aguas que puedan discurrir por el barranco, el cauce es en esencia la plataforma de la carretera, como así lo demuestran las imágenes del día de la riada (Figura 32).

Nótese que el acueducto original contaba inicialmente con un único ojo para el paso de agua, que actualmente se conserva orillado hacia la margen izquierda del barranco de la Muerte (Figura 31).

El ojo de la margen derecha es de nueva abertura mientras que el ojo original está parcialmente aterrado y cuenta en la actualidad con unas dimensiones de 3,90 m de anchura máxima y 2,70 m de altura. Probablemente, si se hubiera mantenido su estructura inicial y no se hubieran perforado los ojos para el paso de la Z-30, la capacidad de evacuación de este único conducto hubiera quedado en entredicho para un caudal como el generado en la riada del 6 de julio de 2023.

REFERENCIAS

- Aragón Digital (2024). Así será el canal perimetral del Barranco de la Muerte para evitar catástrofes en grandes tormentas. Web: <https://www.aragondigital.es/articulo/zaragoza-capital/asi-sera-canal-perimetral-barranco-muerte-evitar-catastrofes-grandes-tormentas/20240217114110863309.html>
- Aragón TV (2021). Tanques de tormentas de Zaragoza. Bajo nuestros Pies. Unidad Móvil Aragón TV. Web: <https://www.youtube.com/watch?v=nnkejfyfkY>
- Aragón TV (2023). Un tanque de Tormentas. Esta es mi tierra. Aragón TV. Web: https://www.youtube.com/watch?v=_FiE8DRQQb4
- Asociación de vecinos la Paz (2019). El barranco de la Muerte: Apuntes Históricos. Web: <https://vecinoslapaz.org/el-barranco-de-la-muerte-apuntes-historicos/>
- Ayuntamiento de Zaragoza (2023). Planeamiento urbanístico vigente y en desarrollo de Zaragoza. Información urbanística actual e histórica. <http://www.zaragoza.es/ciudad/urbanismo/planeamiento/pgouz/historico/index.htm>
- Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G.; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez-Cendón, E.; Dolz, J.; Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30 (1): 1-10. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Carbonel, D.; Rodríguez, V.; Gutiérrez, F.; McCalpin, J. P.; Linares, R.; Roqué, C.; Zarroca, M.; Guerrero, J. (2014). Evaluation of trenching, Ground Penetrating Radar (GPR) and Electrical Resistivity Tomography (ERT) for sinkhole characterization. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 214-227. DOI: 10.1002/esp.3440
- Chóliz, B. (2023). Cómo es el barranco de la Muerte de Zaragoza que provocó las inundaciones y por qué se llama así. Sitio Web de Heraldo de Aragón: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/zaragoza/2023/07/10/barranco-muerte-inundacion-lluvia-zaragoza-1664059.html>
- Colegio de Geógrafos de Aragón (2023). Estudio Geográfico CEIP María Zambrano. Inédito.
- García Gil, A.; Garrido, E.; Moreno, M. (2020). Geotermia somera. Fundamentos teóricos y aplicación. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 38. IGME, Madrid. 422 pp.
- Garrido, E.; Sánchez Navarro, J.A.; Coloma, C. (2010). Aprovechamiento geotérmico somero del acuífero aluvial urbano de Zaragoza: primeros resultados. *Geogaceta* 40: 119-122.
- Guerrero, J. (2009). Dinámica fluvial y riesgos naturales derivados de la subsidencia kárstica en los valles del Huerva y Ebro. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 292 pp.
- Gobierno de Aragón (2014). Decreto-Legislativo 1/2014, de 8 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Urbanismo de Aragón. BOA 18/7/2014.
- Gobierno de Aragón (2017). Norma Técnica de Planeamiento Urbanístico de Aragón. BOA 2/6/2017.
- Gobierno de Aragón (2020). IGEAR. Metodología para el análisis de riesgos en avenidas torrenciales. Benasque. POCTEFA-Alert.

Gobierno de Aragón (2023). Sistema de Información Urbanística de Aragón. <https://icearagon.aragon.es/SIUa/archivo/buscaador?MUNICIPIO=Zaragoza>

Gutiérrez, F.; Guerrero, J.; Lucha, P. (2008). Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain). *Natural Hazards*, 45, 211-233. DOI: 10.1007/s11069-007-9161-y

MAGRAMA (2014). Manual de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 185 pp.

Mateo-Lázaro, J.; Sánchez-Navarro, J.A.; García-Gil, A.; Edo-Romero, V. (2013). Developing and programming a watershed traversal algorithm (WTA) in GRID-DEM and adapting it to hydrological processes. *Computers and Geosciences* 51:418-429. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.07.024

Mateo-Lázaro, J.; Revuelto, C.; Arce, M.; Carnicer, C. (2023). El episodio hidrometeorológico de Zaragoza. *Tierra y Tecnología* 62. Web: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2023/07/el-episodio-hidrometeorologico-de-zaragoza/>

MITERD. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Geoportál. Web: <https://sig.mapama.gob.es/geoportál/>

Moreno, L.; Garrido, E.; Azcón, A.; Durán, J. (2008). Hidrogeología Urbana de Zaragoza. IGME, Madrid. 200 pp.

SORIANO, A. (1990). Geomorfología del sector centromeridional de la Depresión del Ebro. Institución Fernando el Católico. Universidad de Zaragoza. Tesis Doctoral. 269 pp.

Soriano, L. (2015). Indicadores de sostenibilidad de la gestión integral de las

aguas de lluvia en los entornos urbanos: Aplicación a la ciudad de Zaragoza. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2024-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza (IGME-CSIC), Ilustre colegio Oficial de Geólogos de Aragón (ICOG), Colegio de Geógrafos de Aragón, el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) y Delegación del CSIC en Aragón.

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 calzado cómodo.

Llevar bebida y algo para almorzar.

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 la parada 7 (esquina calles Palacio Ducal-Café Florián, Figura 33). La hora de finalización es aproximada (14 h).



Figura 33. Lugar de finalización de la jornada.

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2024

Eduardo A. Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

Miguel Ángel Marazuela (CN IGME-CSIC)

COLABORADORES

Jesús Mateo Lázaro (Ilustre Colegio Oficial de Geólogos - Aragón)

José Ángel Sánchez Navarro (Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza)

Rafael Martínez Cebolla (Colegio de Geógrafos de Aragón)

Patricia Nievedes Val (CN IGME-CSIC)

Beatriz Navarro

CONCURSO DE FOTOGRAFÍA SOBRE EL HIDROGEODÍA

Desde la AIH-GE se propone un CONCURSO DE FOTOGRAFÍA con temática hidrogeológica.

1. Podrán participar todas las personas que hayan sido inscritas en alguno de los Hidrogeodías de la edición 2024 llevados a cabo en las diferentes provincias españolas y Andorra.

2. Cada participante y cuenta de X (antes Twitter) sólo podrá presentar una foto.

3. Serán admitidas fotografías originales (en color o blanco y negro) e inéditas. Las fotografías deberán ser tomadas durante los distintos Hidrogeodías, siendo el tema protagonista algún rasgo hidrogeológico relacionado con las aguas subterráneas.

4. 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 #hidrogeodia24

5. Cada fotografía irá acompañada de la siguiente información:

1) Título de la fotografía

2) Hidrogeodía-localidad

3) Texto breve con la descripción del lugar donde fue tomada

6. En las fotos deberá poder comprobarse que han sido realizadas durante el hidrogeodía de este año.

7. Ganará aquella foto que reciba más likes a día 31 de abril a las 23:59 horas, y en el caso de empate, la que haya sido más veces retuiteada.

8. Las fotos publicadas para el concurso podrán utilizarse por la AIH-GE para dar difusión de las actividades de la AIH-GE en la web y las redes sociales.

El premio consistirá en un diploma y un e-book.

La organización se pondrá en contacto con el participante ganador para hacerle llegar el premio.

La persona participante manifiesta y garantiza ser el único titular de todos los derechos de autor sobre la/las fotografías presentadas al concurso y se responsabiliza totalmente de toda reclamación en cuanto a los derechos de imagen, eximiendo de toda responsabilidad al coordinador del concurso, frente a cualquier reclamación de terceros.

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-2024>



Andorra

HIDROGEODÍA

2024 ANDORRA

M. Chevalier

www.fundaciomarcelchevalier.org



Diumenge, 24 de març de 2024

AQUÍFERS KÀRSTICS I FISSURATS DELS CORTALS D'ENCAMP



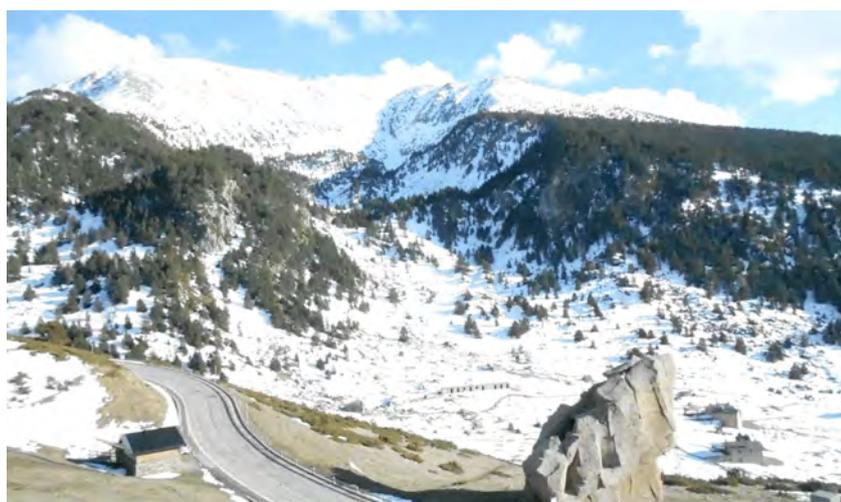
EXCURSIÓ GRATUITA I GUIADA

Punt de trobada: Antic Hotel Rosaleda
Hora de trobada: 9H15
Hora de tornada (estimada): 15H15

Per més informació:
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2024>
www.fundaciomarcelchevalier.org/activitats

Recorregut amb les següents parades:

1 a 4 Riu dels Cortals i La Llosada
5 a 6 Molleres de Rigoder
7 a 8 Riu dels Orris



Vista dels Orris el 18 de març 2024



DÍA MUNDIAL DEL AGUA

22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua
¿Hay agua subterránea cerca de ti?
Concurso del Agua Subterránea, 2024

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

¡PARTICIPA!





Botswana



HYDROGEODAY BOTSWANA: KHURUMELA, PALAPYE

Theme: Water in Our Arid Environments “Our Water, Our Peace.”

22 March 2024



ACTIVITIES:

- Panel of Discussion Topics
- ❖ water security and climate change adaptation: strategies for ensuring water security in the face of climate change impacts in Botswana
- ❖ sustainable management of groundwater resources in Botswana
- Field trip

Venue: Khurumela Ward
Event start: 0800hrs
Event Ends: 1400hrs



For any Enquiries Contact:
Event organizers

Phatsimo Obuseng
Event Organizer
Tell: +267-74001654
Phatsimo.obuseng.18@gmail.com

375

Tshenolo L Chaba
Event Organizer
Tell: +267-76485697
Laronachaba@gmail.com



Brasil - Bauru

HIDROGEODIA 2024

BAURU | SP | BRASIL



O HIDROGEODIA

O **HidroGeoDia** é uma data para comemorar e divulgar as águas subterrâneas. Promovido desde 2017 na semana do Dia Mundial da Água pelo grupo espanhol da Associação Internacional de Hidrogeólogos (AIH), o evento ocorreu pela segunda vez no Brasil – com atividades em **Bauru** (SP), no dia 23 de março de 2024.

O evento tem como objetivo ampliar o conhecimento do público geral sobre águas subterrâneas e sua importância para a sociedade, e fomentar a reflexão sobre os desafios do abastecimento público e o enfrentamento dos problemas advindos das mudanças climáticas globais.

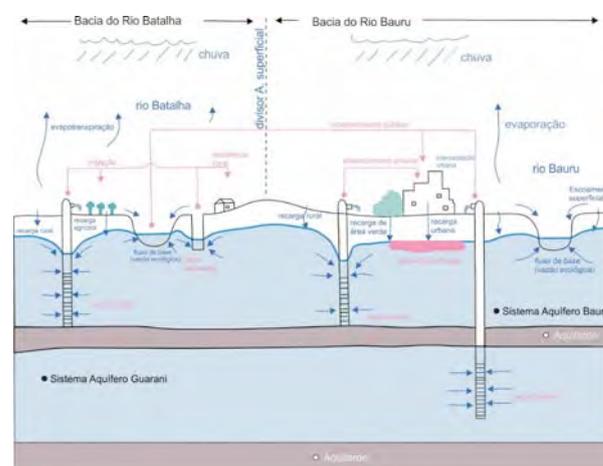
Em 2023 e 2024, o evento foi organizado pelos pesquisadores do projeto SACRE¹ da Universidade de São Paulo (USP), com apoio da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), da AIH-Brasil, do Departamento de Água e Esgoto (DAE), da Secretaria Municipal de Educação e do Jardim Botânico de Bauru, e contando com recursos da FAPESP e do CNPq.

Em ambos os anos, o evento contou com cerca de 30 participantes, entre professores do ensino infantil,

fundamental, médio e universitário, profissionais das áreas de recursos hídricos, meio ambiente e comunicação.

BAURU

Bauru é uma cidade paulista com problema histórico de crises hídricas, onde 75% da população é abastecida pelas águas subterrâneas (pelos aquíferos Guarani e Bauru) e 25% pelas águas superficiais do Rio Batalha.



O sistema de abastecimento público de água, operado pelo Departamento de Água e Esgoto (DAE), é composto de uma captação de água bruta no rio Batalha, cujo tratamento ocorre na ETA Bauru, e de outros 41 poços profundos que extraem água subterrânea do Aquífero Guarani (SAG). Adicionalmente, há mais

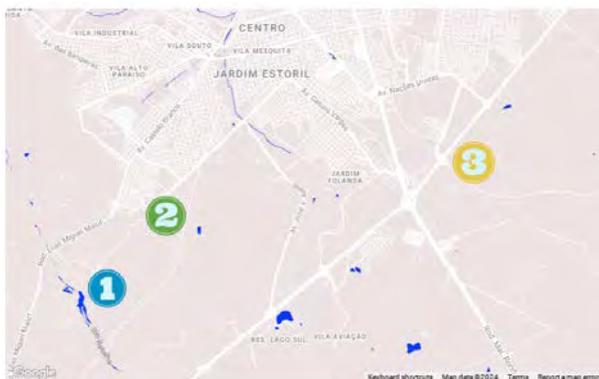
¹ O Projeto SACRE | Soluções Integradas de Água para Cidades Resilientes é financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 2020/15434-0) e conta com a participação

de universidades paulistas (USP, Unicamp, Unesp e Unifesp), estrangeiras (universidades de Waterloo e de Hiroshima), bem como de instituições do Governo do Estado de São Paulo (IPA, Cetesb, DAEE e IPT).

de 500 poços privados que captam água do Aquífero Bauru e que são importantes para a complementação do abastecimento no município.

ROTEIRO

Como na primeira edição do evento, foram visitadas em Bauru: fontes de água de Bauru (incluindo um poço tubular profundo e a lagoa de captação do rio Batalha); a Estação de Tratamento de Água (ETA); e o Jardim Botânico, onde foram mostrados na prática conceitos relacionados a águas subterrâneas e aquíferos, poços e os tipos de aquíferos que ocorrem no Estado de São Paulo.



PARADA 1: Lagoa de captação

Na barragem de captação do Rio Batalha, foram apresentadas as fontes de água de Bauru. Discutiu-se a relação desse rio com as chuvas e o ciclo das águas: de suas nascentes até sua foz no Rio Tietê.



Bauru consome as águas do Rio Batalha há mais de 80 anos, tendo uma grande importância para o desenvolvimento do município. Este rio não se conecta ao rio Bauru, embora desaguem no mesmo local.

PARADA 2: ETA

Na Estação de Tratamento de Água (ETA), explicaram-se as etapas envolvidas desde a captação da água do rio Batalha até sua chegada nas torneiras das residências da população, com especial destaque aos processos de tratamento da água (floculação, decantação, filtração e adição de produtos químicos).

A captação e a ETA foram inauguradas em 1970, ou seja, funcionam há mais de 50 anos.



PARADA 3: Jardim Botânico

No Jardim Botânico, foram apresentados conceitos de águas subterrâneas e aquíferos por meio de demonstrações com materiais didáticos (recipientes, areia, argila, água com corante) e de uma sondagem de 6 metros de profundidade que atingiu o lençol freático, ao longo da qual sucederam-se diferentes horizontes de solo e teores de umidade.

Adicionalmente, houve a apresentação da geologia e hidrogeologia do Estado de São Paulo através do mapa de águas subterrâneas e perfil, seguida pela visita e descrição técnica de um poço tubular profundo utilizado pelo Jardim Botânico na irrigação e em serviços realizados no espaço.

O evento foi então encerrado com uma palestra sobre o Projeto SACRE e a

estrutura e ações do Departamento de Água e Esgoto de Bauru.



EQUIPE

Alexandra Suhogusoff, Claudia Varnier, Daniela Barbati, Elizabeth Naranjo, Fernanda Barreto, Fernando Schuh, Leonardo Capeleto, Ricardo Hirata, Vinícius Rogel.

AGRADECIMENTOS

A equipe agradece aos apoiadores, em especial Rafael Ramos, Danielle Chiuso e Camilla Gonçalves (DAE), Gilberto de Oliveira e Alessandra Cavalieri (Secretaria Municipal de Educação), Vitória Cesar e Luiz Carlos Neto (Jardim Botânico), e às agências de fomento Fapesp (proc. 202/15434-0) e CNPq (proc. 423950/2020) pelos auxílios recebidos.



Brasil – Ouro Preto

HIDROGEO DÍA
2024

SERRA DE OURO PRETO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

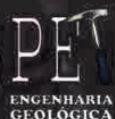
Ponto de encontro:
Em frente ao
Mosteiro Pico de
Raios

23/03/2024 às 10:00h

Contato:  @pet_geo_ufop

Organização:

Apoio:



O HIDROGEODIA

O Hidrogeodia é uma atividade, criada pela AIH-GE (Associação Internacional de Hidrogeólogos), para promover a hidrogeologia.

A atividade, é realizada próximo ao dia 22 de março, Dia Mundial da Água, de forma gratuita e aberta ao público. Ela ocorre através de uma excursão com o público visitando uma área que mostra o papel das águas subterrâneas e a necessidade de aplicar técnicas hidrogeológicas para diagnosticar e corrigir problemas ou valorizar a região visitada.

No ano de 2024, o PET- Engenharia Geológica e a Cátedra da UNESCO Água Mulher e Desenvolvimento, da Universidade Federal de Ouro Preto, realizará pela segunda vez o evento na cidade de Ouro Preto-Minas Gerais-Brasil. As atividades serão realizadas no Moinho de Vento (**Parada 1**), no Parque Natural Municipal das Andorinhas (**Parada 2**) e na Mina do Jeje (**segundo dia**) e ambos os pontos, localizados na Serra de Ouro Preto.

ROTEIRO

A atividade será realizada em dois dias, com dois grupos. O primeiro dia de atividades será em 23 de março, no moinho de Vento e no Parque Natural

Municipal das Andorinhas (Figura 1) com um grupo de inscitos no formulário de divulgação do evento. Haverá um **ponto de partida** no ponto de ônibus do centro às 9:30 h, onde haverá uma linha de ônibus que liga o centro ao Morro são Sebastião, O segundo ponto de encontro será na entrada do Moinho de Vento (local que permite uma visão 360° da cidade de Ouro Preto), às 10 horas da manhã, onde o grupo seguirá a caminhada para o moinho e em seguida para o Parque da Andorinhas, onde ocorrerão atividades práticas sobre aquíferos e sobre as áreas de recarga da Serra de Ouro Preto.



Figura 1: Mapa do trajeto que será realizado no primeiro dia de evento.

Já o segundo dia (04/04, às 8:00 h) ocorrerá na Mina do Jeje com um grupo de estudantes da Escola Estadual Desembargador Horácio Andrade. Essa mina (Figura 2), que está localizada no bairro Alto da Cruz, em Ouro Preto - Minas Gerais- Brasil, é uma antiga mina de ouro datada do século XVIII, com 160 metros de extensão. Os responsáveis pelo evento sairão do Departamento de Geologia da

UFOP em direção à escola, onde se encontrarão com os alunos. Com o grupo reunido, eles seguirão para a Mina do Jeje, como mostrado na figura 2.

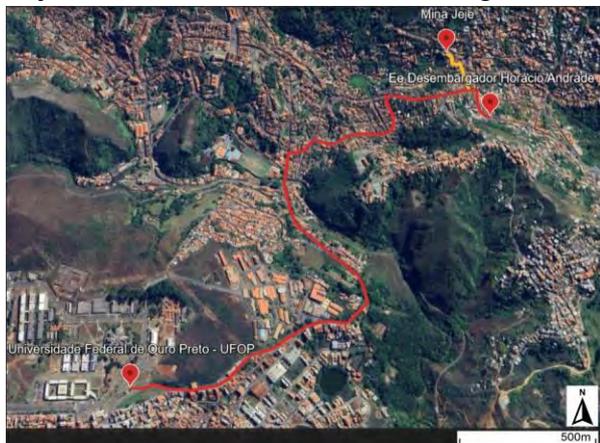


Figura 2: Trajeto que será realizado para o segundo dia de atividades do evento Hidrogeodia. mm

PARADA 1: MOINHO DE VENTO E VISTA PARA A SERRA DE OURO PRETO

O processo histórico de ocupação na Serra de Ouro Preto se dá durante o ciclo do ouro, nos séculos XVII e XVIII, em vales, encostas e no topo dos morros. No alto da Serra de Ouro Preto, na linha de cumeada se acham as ruínas do moinho de vento (**parada 1**), parte de um sítio arqueológico, um território assinalado por um ecomuseu que guarda a memória do primeiro grande assentamento urbano, destruído pela Revolta de Felipe dos Santos em 1720. Desta área (**Figura 3**) é possível observar em ângulo de 360° os topos das serras que são áreas de recarga que abrigam as nascentes de duas importantes bacias hidrográficas: Rio das Velhas e Rio Doce. A vista do

moinho também permite visualizar o aproveitamento e a captação dos recursos hídricos, marcadamente aplicados para fins da exploração do ouro em aluviões e aquedutos nas encostas da Serra de Ouro Preto (Costa e Lucon, 2015 p. 94), com ampla utilização das nascentes e rios.



Figura 3: Parte do Moinho de Vento com Vista para o Pico do Itacolomi onde abriga o aquífero e nascentes do Rio Gualaxo do Sul - Bacia do Rio Doce.

Nesta área, também serão observados um notável aquífero fraturado na serra comportando volumosos reservatórios subterrâneos de água, relacionados principalmente aos Itabiritos e cangas da formação Cauê, além de antigas minas subterrâneas e aberturas para respiração das mesmas denominadas de sarilhos.

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, se posiciona no núcleo do Anticlinal de Mariana, onde se encontram as nascentes do Rio das Velhas.

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 5 e 6). Tais bacias são responsáveis pela alimentação de rios perenes e efêmeros que despejam a maior parte das 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.

PARADA 2: O PARQUE NATURAL MUNICIPAL DAS ANDORINHAS

O Parque das Andorinhas, localizado em Ouro Preto-MG, Brasil, mais especificamente, na Serra de Ouro Preto, que atua como um divisor de bacias hidrográficas. O Parque das Andorinhas foi criado em 1968 e abrangia uma área de um quilômetro de raio, atualmente, o local possui uma área de 557 hectares.

Além disso, 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. O Rio das Velhas 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.



Figura 4: Parque das Andorinhas.

As fontes d'água do Parque Municipal das Andorinhas estão sobre 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 5: 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.

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, 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 16) 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 6: 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.

PARADA 3: ENTRADA NO NÍVEL SUBTERRÂNEO DA CACHOEIRA DAS ANDORINHAS

Na entrada do nível subterrâneo da Cachoeira das Andorinhas, serão visualizadas as fendas ou fraturas nos quartzitos constituindo excelentes aquíferos fissurais ou fraturados dentro das cavidades quartzíticas (Figura 7)



Figura 7. Formação do aquífero fraturado.com as águas subterrâneas da cachoeira das Andorinhas

SEGUNDO DIA, PARADA 1: MINA DO JEJE

A mina do Jeje 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 vêm sendo utilizadas para fins turísticos na Serra de Ouro Preto (Figura 8). Elas estão

localizadas, principalmente, nos bairros Veloso, Piedade, Padre Faria e Antônio Dias.



Figura 8: Entrada da Mina do Jeje.

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 por apresentarem águas subterrâneas provenientes do aquífero da formação Cauê.

interconectados, e foi o agente causador dos 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.

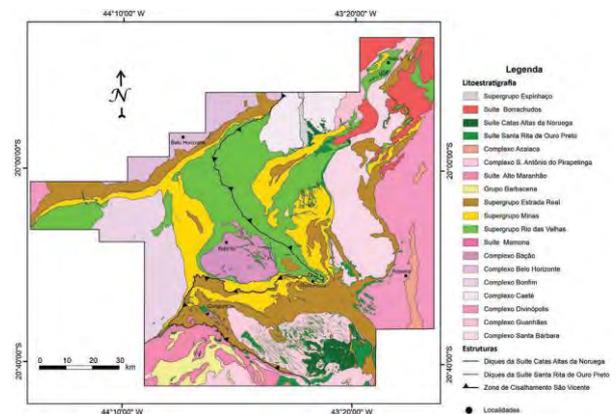


Figura 9: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte; (Endo et al. 2019a)

GEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO E DA SERRA DE OURO PRETO

A cidade de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais - Brasil, está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero – Cráton do 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 compressionalis, de idades Proterozóicas. O primeiro, mais antigo - do Proterozóico Inferior, gerou megassinclinais

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, 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 8). 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 Plamital é composta de xistos e filitos, já a formação Casa Forte é composta por quartzitos, metaconglomerados e metadiamictitos.

● **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, mármores dolomíticos e metacherts da Formação Batatal.

O Grupo Itabira possui rochas metassedimentares de origem marinha, com itabiritos, filitos, quartzitos e mármores da Formação Cauê e filitos

dolomíticos, mármores 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-quartzos xistos.

O Grupo Itacolomi possui as formações, da 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 quartzitos, metacherts, grafita xistos, quartzitos feldspáticos, mica xistos, filitos intercalados de anfibólios.

- **Supergrupo Espinhaço:** composto por metarenitos e metaconglomerados.
- **Unidades Sedimentares:** constituídas por sedimentos terrígenos.

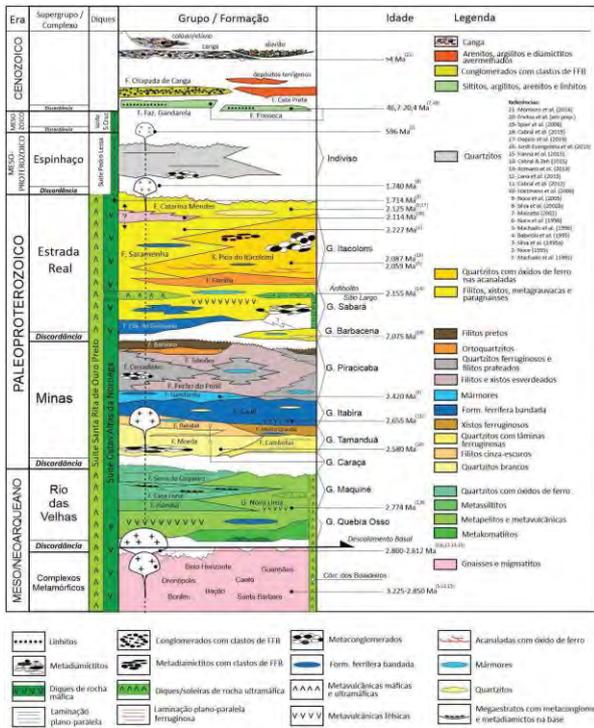


Figura 10: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Endo et al. 2019b

De acordo com Nascimento & Castro, (2019), no sudeste do Quadrilátero Ferrífero está localizada a estrutura regional denominada Anticlinal de Mariana. A Serra de Ouro Preto se encontra no flanco Sul desta estrutura.

A estratigrafia da Anticlinal de Mariana é marcada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas (Nascimento & Castro, 2019). O mapa geológico encontra-se na figura abaixo:

Mapa geológico-estrutural do Anticlinal de Mariana

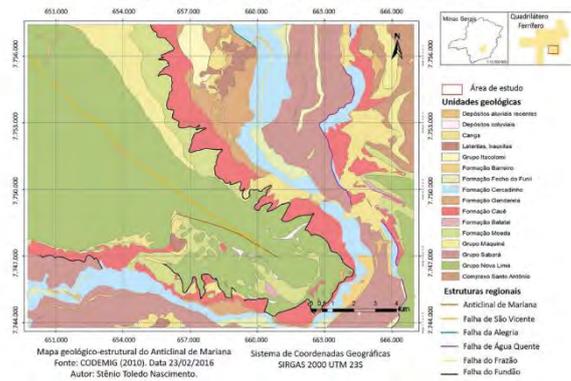


Figura 11: Mapa geológico-estrutural no qual estão definidas as estruturas regionais presentes na área de estudo. Fonte - (Nascimento & Castro 2018)

HIDROGEOLOGIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

A hidrogeologia do quadrilátero ferrífero é classificada, segundo Mourão (2007), em 7 unidades geológicas, são elas: aquíferos inconsolidados, aquíferos quartzíticos, aquífero carbonático, aquíferos em formações ferríferas, aquíferos em xistos, aquíferos em rochas granito-gnáissicas e unidades confinantes.

No caso da Serra de Ouro Preto, as áreas abordadas neste trabalho (Mina do Jeje e Parque das Andorinhas), estão inseridas, respectivamente, nas unidades de aquíferos em formações ferríferas e aquíferos quartzíticos.

O principal aquífero do Quadrilátero Ferrífero e de Ouro Preto, é o Aquífero Cauê. Esse aquífero é caracterizado por apresentar porosidade fissural e intergranular, com predominância de uma ou outra localmente (Magalhães, 2023), além disso, o aquífero apresenta locais de semiconfinamento e confinamento (Mourão, 2007). Ele se

encontra na Formação Cauê, predominantemente, composta por formações ferríferas bandadas.

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 cárstico em conexão hidráulica com o aquífero Cauê.

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.

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.

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 13).



Figura 12: 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.).

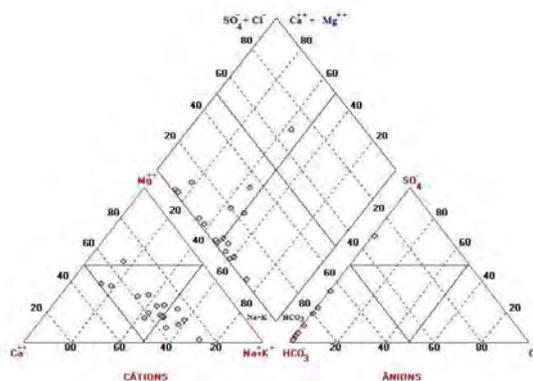


Figura 13: Diagrama de Piper mostrando a classificação das águas das antigas minas de Ouro Preto. Fonte – Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.64.

As águas das antigas minas de ouro parecem puras porque são

QUALIDADE DAS ÁGUAS DE ANTIGAS MINAS OURO PRETO

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

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 14 e 15).

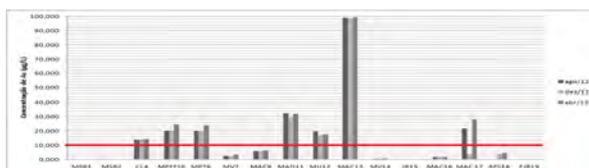


Figura 14: Concentrações de arsênio das águas subterrâneas das antigas minas de ouro de Ouro Preto. Fonte - Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.72)

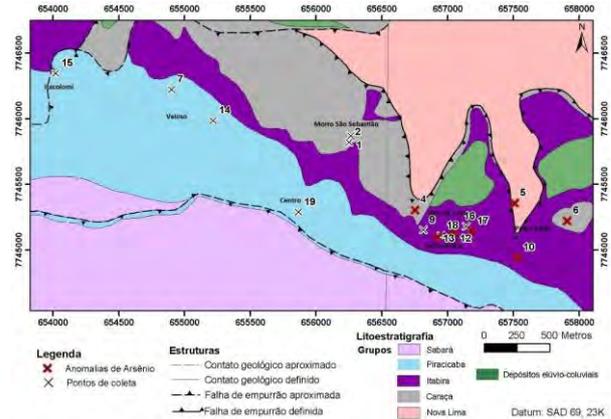
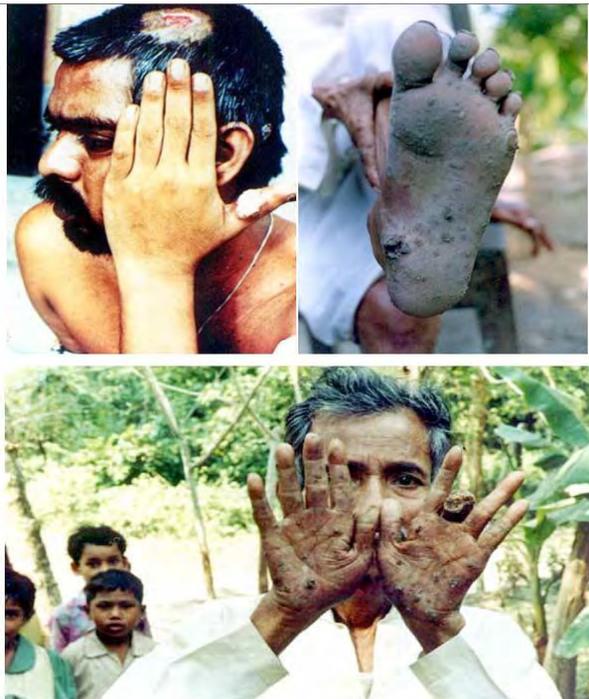


Figura 15: Localização das águas subterrâneas contaminadas por arsênio das antigas minas de ouro de Ouro Preto. Fonte – Avaliação da Composição Geoquímicas das antigas Minas de ouro da Serra de Ouro Preto, 2013 P.74)

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.



Arsenic patients in Bangladesh and West Bengal. (Photos by Prof. Richard Wilson of Harvard University)

Figura 16: 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.)

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.

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.

Scalco, R.F. Desafios, paradoxos e complexidade na gestão do mosaico de unidades de conservação da Área de Proteção Ambiental Cachoeira das Andorinhas – Ouro Preto/MG. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 228. Janeiro de 2009.

SILVA, A. B.; NETO, A. F. S.; BERTACHINI, A. C. POTENCIAL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 1994. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24425>. Acesso em: 6 mar. 2024.

AUTORES

Ludymilla Agnes Ferreira (Estudante UFOP)

Bárbara Maria de Paula Botaro
(Estudante UFOP)

Helena Alves Bosze (Estudante UFOP)

Bruno Henrique Borges (Estudante UFOP)

Vitória Rodrigues França (Estudante UFOP)

Davi Hermógenes Nascimento
(Estudante UFOP)

Adivane Terezinha Costa (Professora UFOP)

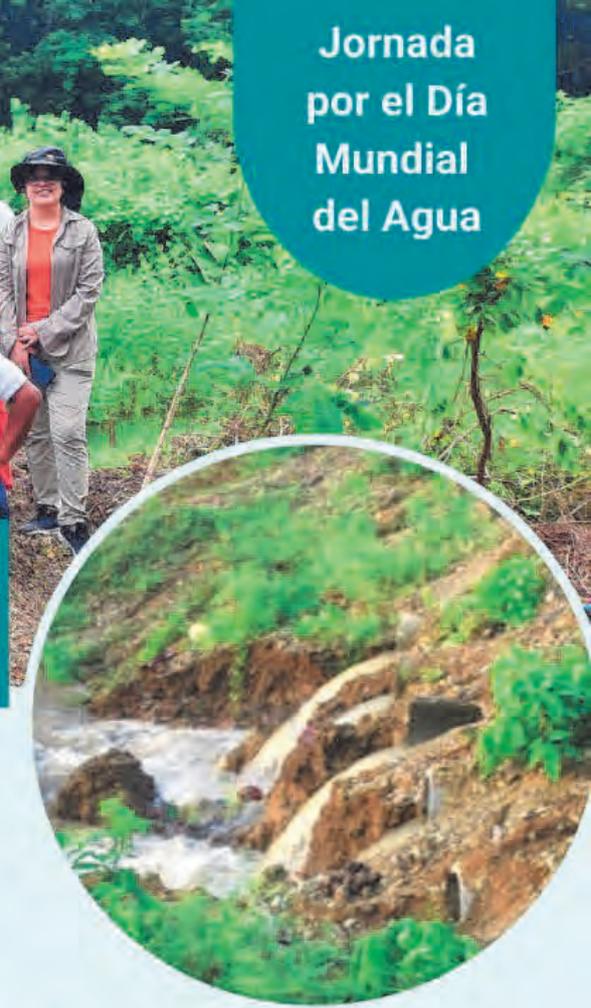
Rodson de Abreu Marques (Professor UFOP)

Luís de Almeida Prado Bacellar
(Professor UFOP)



Ecuador

Jornada
por el Día
Mundial
del Agua



Agua y Sociedad: Resiliencia Comunitaria y Gestión Sostenible

Te invitamos al webinar con expertos en gestión hídrica y una visita guiada en Olón

FECHAS:

21 de Marzo (Webinar)



22 de Marzo (Visita guiada: Olón, Santa Elena)

10h00 - 12h00

07h00 - 16h30

Puntos de encuentro:

- 1) **Guayaquil:** Parqueadero de CIPAT, edificio 3A (ESPOL, Campus Gustavo Galindo Velasco)
- 2) **Olón:** Plazoleta del Parque Central de Olón frente a la Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable de Olón (JASRAPO)

Cupos
Limitados



INSCRIPCIONES:



Para más información :

- mjaya@espol.edu.ec
- jamalave@espol.edu.ec
- emnisanc@espol.edu.ec

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

espol

Facultad de Ingeniería
en Ciencias de la Tierra



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



Universidad
Rey Juan Carlos

HIDROGE DÍA
2024



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 2024** se celebra con la temática **“Agua y Sociedad: Resiliencia Comunitaria y gestión sostenible de cuencas hidrográficas”**, en un evento de dos días que abarcará un primer día de una jornada virtual con conferencias por expertos en el tema; y un segundo día, con una visita guiada al acuífero costero de Olón, en la zona Sur de la costa del Ecuador, que forma parte de ruta turística “Ruta del Sol” o “Ruta de la Spondylus”. La visita contemplará 3 puntos representativos relacionados con el abastecimiento de aguas subterráneas de la comuna rural:

- 1) Pozo I3 de la Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable de Olón (JASRAPO), donde se efectuará la charla “Importancia de construir el hábito de monitoreo de cantidad y calidad de agua en la gestión sostenible del recurso subterráneo.”

- 2) Vestigios de diques artesanales en la cuenca del río Olón como técnica de Siembra y Cosecha del Agua (SyCA).

- 3) Reservorio de agua de la JASRAPO.

CÓMO LLEGAR

El punto de partida de nuestro recorrido será la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), 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 esperará un autobús donde emprenderemos el viaje desde Guayaquil a Santa Elena, con recorrido aproximado de 173 km y una duración de 3h00. A lo largo de esta ruta conocida como “Ruta de la Spondylus” podremos apreciar la vista de las diferentes geformas de la costa ecuatoriana. Visitaremos la Plazoleta del Parque Central de Olón (Parada I), parroquia de Manglaralto, donde se dará apertura al evento y miembros de la JASRAPO brindarán la charla “Gestión comunitaria del acuífero de

Olón”. Después de la charla, visitaremos un pozo de captación de agua subterránea (Pozo 13) representativo de la junta (Parada 2), para una breve explicación de las especificaciones técnicas y de la importancia del monitoreo de la cantidad y calidad de agua en relación a la gestión hídrica sostenible del acuífero; con una consiguiente visita a los vestigios de diques artesanales en la cuenca del río Olón como técnica de Siembra y Cosecha del Agua (SyCA) (Parada 3); y se concluirá con una visita al reservorio de agua de la JASRAPO (Parada 4), donde representantes de la junta, compartirán su conocimiento y experiencia sobre el reservorio, historia, importancia y los proyectos relacionados.

ENTORNO GEOLÓGICO. ACUÍFERO COSTERO OLÓN

El acuífero costero de Olón corresponde a un acuífero aluvial cuaternario ubicado al suroeste de las estribaciones de la Cordillera de la Costa Chongón Colonche (CCC) (Figura 2a), y delimitado por la microcuenca del río Olón. En esta zona se han construido 15 pozos para abastecer de agua a cinco comunas Olón, San José, Las Núñez, Curía y La Entrada (Herrera-Franco, Bravo-Montero, et al., 2020).

En el sector de Olón se evidencia material sedimentario formado por sedimentos del Grupo Ancón, perteneciente al Eoceno superior, el cual está conformado por: Formación Socorro de edad Eoceno Medio, Formación Seca del Eoceno Superior, seguida de la Formación Zapotal del Eoceno superior y Oligoceno inferior y finalmente en el techo de la secuencia deposicional se encuentran los depósitos aluviales (Figura 2b) (Nuñez del Arco, 2003; Valencia Robles, 2017).

El acuífero costero Olón está compuesto principalmente de depósitos aluviales (Cuaternario), con gravas y conglomerados brechados en matriz limo-arenosa que se encuentran rellenando el valle del río (Figura 2b) (Montalván et al., 2013). El acuífero es de tipo poroso-libre costero y está caracterizado por unidades de arena en la parte superior, unidades de arcillas en el centro, y unidades de grava y arenisca en la base (Calderón & Romero, 2011).

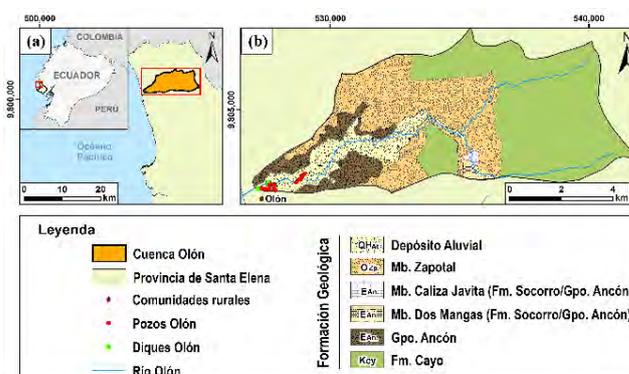


Figura 11: Esquema geológico de las unidades geológicas del acuífero costero de Manglaralto. a) Ubicación de la cuenca, b) Unidades geológicas y locales en el área de estudio.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Históricamente, la comuna de Olón y sectores aledaños se abastecían de agua por medio de tanqueros en horarios y cantidades limitadas. Por medio de la gestión comunitaria, desde el 11 de septiembre de 1982 con el apoyo del Reverendo Othmar Stahellí se construye un primer Aljibe de donde obtenían el recurso hídrico para abastecer temporalmente a las poblaciones. Consecuentemente a la falta continua del recurso, se establece la Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable Olón (JASPARO) en el mismo año, de

manera conjunta con el Ing. Oscar Torre director del Instituto Ecuatoriano de Obras sanitarias y representantes del cabildo comunal Sr. Arpino del Pezo con la finalidad de encargarse del abastecimiento de agua a través de pozos de extracción a Olón y las comunas aledañas.

La JASRAPO es la entidad encargada de la extracción y distribución del servicio de agua en los hogares de cinco comunas con más de 10.500 beneficiarios. Además, mediante trabajos comunitarios, en coordinación con los miembros de la Junta de agua se encargan de reparaciones y ampliaciones necesarias en el sistema. Frente a los eventos de sequía, la comuna ha empleado el rescate de técnicas ancestrales como la construcción de tapes, que han contribuido a la recarga artificial del acuífero. Sus obras son realizadas con material propio de la zona o circundantes al río como, rocas y tierra.

Actualmente la Junta de Agua en colaboración con la academia como CIPAT-ESPOL y la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) llevan una gestión integral del acuífero. De esta manera, se ha creado el hábito de monitorear el estado de los pozos y la calidad de agua, que les permite identificar de manera oportuna problemas en el sistema. Así mismo, han sido partícipes de campañas de sensibilización para concientizar a los más pequeños sobre el uso responsable del recurso, y como esto evita el agotamiento y la contaminación del acuífero de manera natural por la presencia de la intrusión salina.

PARADAS

Parada 1. Plazoleta del Parque Central de Olón en cercanías de Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable de Olón (JASRAPO).



Parada II. Pozo de captación de agua subterránea.



Parada III. Vestigios de diques artesanales en la cuenca del río Olón.



Parada IV. Reservorio de agua de la JASRAPO.



TIPOS DE AGUAS

En el acuífero Olón, 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 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.

Según las investigaciones realizadas en la zona de estudio, se concluye que para el correcto manejo del acuífero se deben actuar para proteger las áreas de recarga en la cuenca (río, terrazas aluviales y zonas altas de la cordillera Chongón-Colonche). Además, es importante considerar que el fenómeno de intrusión salina influenciado por la sobreexplotación de los acuíferos lo que ocasiona el agotamiento-retroceso del agua dulce y el avance de la cuña salina.

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. A esto se suma la alta carga turística en fechas de turismo de sol y playa que sumada a la demanda local podrían ocasionar sobreexplotación del sistema.

AGUA Y SOCIEDAD

La población de las cinco comunas a la que abastece la JASRAPO a través de su gestión, dependen exclusivamente del acuífero costero Olón. En este sector, el agua subterránea es extraída por pozos, localizados en la terraza aluvial pertenecientes a unidades geológicas del cuaternario depositadas en el valle del río Olón (Montalván et al., 2013).

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).

Como parte del trabajo comunitario la Junta de agua realiza informes periódicos a la comunidad con la finalidad de hacerlos partícipes referentes a la calidad del recurso que reciben en sus hogares. Además, trabaja en primera línea con ayuda de la academia en la concientización del uso responsable del agua en las escuelas del sector. Por otra parte, Bajo el rescate del conocimiento ancestral, la JASRAPO ha construido diques artesanales (tapes) para aprovechar el paso estacional del agua superficial del río Olón, y crear condiciones de recarga artificial del acuífero (Herrera-Franco, Carrión-Mero, et al., 2020).

Con el abastecimiento de agua por parte de la JASRAPO, los habitantes de las comunas beneficiadas han podido obtener agua para el uso doméstico, comercios, hoteles e inclusive para la práctica de agricultura y ganadería,

impulsando el desarrollo económico de la población.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Olón y los representantes de la Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable de Olón (JASRAPO). Además, a la Ing. Gricelda Herrera, Ph.D. representante en Ecuador de la Red SyCA. Al proyecto de servicio comunitario “Siembra, Cosecha y Reutilización del Agua para Estrategias de Sostenibilidad”, "Proyecto Geoparque Península de Santa Elena" y al Decanato de Vinculación por todo el apoyo de gestión en la ejecución del proyecto. En especial, a la red CYTED “Siembra y Cosecha del Agua en Áreas Naturales Protegidas de Iberoamérica” con código institucional 419RT0577.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA

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 2024

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 del Sistema Regional de Agua Potable de Olón (JASRAPO)

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. Joselyne Solórzano, M. Sc.

Ing. María Fernanda Jaya, M. Sc.

Ing. Emily Sánchez

Ing. Jenifer Malavé

Sr. Humberto Salinas Neira

Sr. Francisco Ortega Rodríguez

Sra. Marlene De la Rosa Rodríguez

Ing. Robert De la Cruz Reyes

Sr. Klinger Villón Suárez

Sr. Máximo Tomalá Murillo

Sr. Edison Gonzabay Villón

Sr. José Quirumbay Bacilio

Sr. Octavio Yagual Reyes

Sra. Narcisa Laínez De la Cruz

Sr. Juan Baque Baque

Sra. Kathy Rocafuerte

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>

Calderón, M., & Romero, P. (2011). *Modelo Conceptual del Acuífero Río Olón* (p. 5). ESPOL, CICYT.
[https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16005/1/Modelo Conceptual del Acuífero del Río de Olón.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16005/1/Modelo%20Conceptual%20del%20Acuífero%20del%20Río%20de%20Olón.pdf)

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, P., Herrera, G., Briones, J., Sánchez, C., & Limón, J. (2018). Practical Adaptations of Ancestral Knowledge for Groundwater Artificial Recharge Management of Manglaralto Coast. *WIT Transactions on Ecology and the*

Environment, 375–386.
<https://doi.org/10.2495/SDPI180341>

Herrera-Franco, G., Bravo-Montero, Lady, Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., & Apolo-Masache, B. (2020). Community management of the Olón coastal aquifer, Ecuador, and its impact on the supply of water suitable for human consumption. *Sustainable Development and Planning XI*, 1, 169–181.
<https://doi.org/10.2495/sdp200141>

Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., & Briones-Bitar, J. (2020). 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>

Montalván, F., Carrión, P., Fun-Sang, B., Romero, S., & Jiménez, S. (2013). *Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón para Propuesta de Plan de Explotación*. ESPOL.

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. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 229, 139–149.
<https://doi.org/10.2495/WRM190141>

Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador* (E. (FICT-E. Núñez del Arco & R. (FICT-E. Gallegos Orta (eds.); Facultad d).

Valencia Robles, J. (2017). *Análisis hidrogeológico de la cuenca del río Manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos*. ESPOL.

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA OLÓN 2024

