HIDROGEODíA

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

Año 2025








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

ISSN 2952-0569

Título clave: Hidrogeodía

ÍNDICE

Introducción **1**

Guías explicativas – Carteles **4**

Albacete – Hidro-Quijote de la Mancha **4**
David Sanz, Ana Teresa Moreno, Juan José Gómez-Alday, Esperanza Montero

Alicante – Los manantiales salinos del Vinalopó **13**
J.M. Andreu, M. Fernández-Mejuto, E. García-Sánchez, V. Sala-Sala, J. Albajez, P. Alfaro, J. Antón, V. Arcenegui, V. Blanco, M. Campos, M. Carrillo, A. Escolanao, I. Fuster, V. Gangloff, J.A. Hernández-Bravo, I. Medina, A. Mirat, P. Molina, C. Molina, J.M. Narros, C. Pla, F. Pérez-Calvo, J. Pérez-Tarruella, J. Ramón, J.J. Rodes, S. Rosa F.J. Royuela, J.F. Sánchez-Devesa, F. Santos, F. Sansano, E. Santamaría, F. Soro, J. Valdés y A. Vela.

Almería – Las Albuferas de Adra: Un humedal prisionero **35**
Juan M. Gisbert Gallego, Fernando Sola, Ángela Vallejos Izquierdo

Asturias – Los Garrafes (Quirós): Un manantial kárstico en todo su esplendor **46**
Beatriz González Fernández, Mónica Meléndez Asensio, Montserrat Jiménez Sánchez, María de los Ángeles Fernández González, Nerea Díez Vázquez

Barcelona – Hidrogeología y construcción de túneles urbanos: La nueva L8 de Barcelona **62**
Enriq Vázquez-Suñé

Burgos – Soria- Ecología y grandes manantiales en pinares y sabinares Burgos-Soria **65**
Luis Antonio Marcos Naveira

Cáceres – Acueducto de Plasencia y río Jerte. Recorrido por las proximidades del acueducto y Torre Lucía **67**
Santos Martin Sánchez, Eduardo Rebollada Casado, J.J. Tejado Ramos, A. Trinidad Núñez, F. Alfonso Cervel, R.M-S Sandín Mendo

Canarias – El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza. Una visita por lugares singulares vinculados al agua en el Municipio de Tacoronte (Tenerife) **76**
Juna Carlos Santamarta Cerezal

Castellón – ¿Quieres conocer el Manantial Molí la Font y su hidrogeología? **78**
Jose Antonio Domínguez Sánchez, Arianna Renau Pruñonosa, Belén Sánchez, Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez, José Oriol Navarro Odriozola

Ciudad Real – Las aguas ocultas en el Campo de Calatrava y los Montes: volcanes, manantiales y bosques ribereños singulares **117**
Rafael Ubaldo Gosálvez, Rafael Becerra Ramírez, Pedro Pablo Buitrago Bravo, Estela Escobar Lahoz, Máximo Florín Beltrán, Elena González Cárdenas, Enrique Luengo Nicolau

Granada – Lanjarón paisajes del agua **146**
Sergio Martos Rosillo, Miguel Ángel Díaz Puga, Ángel Romero Martín

Guadalajara – El río Mesa: recurso esencial y peligro ocasional **169**
Enrique Díaz Martínez, José A. Martínez

Huelva – La ría de Huelva: contaminación del agua y problemática ambiental **179**
Rafael Pérez López, Manuel M. Olías Álvarez, Laura Sánchez López, Gerardo A. Amaya Yaeggy, Rafael León Cortegano, Jonatan Romero Matos, Ainara Rodrigo García, Alberto Molinero García, Francisco Macías Suárez, Carlos Ruiz Cánovas, Jose Miguel Nieto Liñán

Huesca – Hidrogeología de la Litera Alta en el entorno de los ríos Noguera, Ribagorzana y Cinca-Ésera **191**
Pedro Bardají Suarez, Estrella Carrero Carralero, Jorge Franco Balaguer, Roberto Gómez de Liaño Pierna, Josep María Masich Polo, Josep María Mata i Perelló, Lucía Moreno Montes, Josep Manel Pascual Díaz

Jaén – Itinerario Hidrogeológico por la Sierra sur de Jaén **218**
Rosario Jiménez Espinosa

Lleida – Las aguas termales y el karst del Val D'Aran **231**
Josep María Masich Polo, Manel Pascual Díaz, Jordi Gavalda, Antoni Freixes

Logroño – Un paseo hidrogeológico en los valles del Ebro y Cidacos. Descubriendo el hidrotermalismo en la Rioja, la evolución fluvial y la construcción de la presa del Enciso **288**
Jon Jiménez Beltrán, Alejandro García Gil

Madrid – El agua en San Lorenzo de El Escorial: Del origen Renacentista del Real Monasterio a sus obras hidráulicas. Un paseo desde el S. XVI al S. XX **290**
Carlos Baquedano Estévez, Almudena de la Losa Román, Juan José Durán Valsero, Luis Moreno Merino, Javier Heredia Díaz, Fabián López Olmedo, Raquel Morales García, Amalia Romero Prados, Elisabeth Díaz Losada

Málaga – Valle de Jorox-Alozaina. "Un legado surgido de la montaña" **328**
Juan Antonio Barberá Fornell, Beatriz de la Torre Martínez, Antonio Fermín Castro, Charo García Cuadra, José Manuel Gil Márquez, Cristina Liñán Baena, Ana Isabel Marín Guerrero, Pedro Marín Troya, José Francisco Martín Rodríguez, Matías Mudarra Martínez, Adrián Palomino Gómez, Juan José Rovira Medina, Damián Sánchez García, Iñaki Vadillo Pérez

Ourense – La geología de la Limia: su influencia en las aguas subterráneas **341**
Eduardo González Clavijo

Pontevedra – Hidrogeodía 2025 en Ponteareas **349**
Acacia Naves García-Rendueles, Eva Álvarez Expósito, Rafael Carrera Díaz

Segovia – A la salud de Sepúlveda **359**
Andrés Díez Herrero, Juana Vegas Salamanca, Nuria Sacristán Arroyo, Jesús del Pozo Tejado, Suset Barroso Solares, Óscar Cabestrero Aranda, Esteban Casaux Rivas, Juan Palomo Martín

Sevilla – Características generales y estado de la masa de agua subterránea Sevilla-Carmona **388**
Miguel Rodriguez Rodriguez, Alejandro Jiménez-Bonilla, Francisco Moral-Martos, Claus Kohfahl, Natalia Fernández, Jose Luis Yanes-Conde, Marina Martínez

Tarragona – Un paseo hidrogeológico por la Plana D'Alcanar **398**
Pilar Barrero Justes, Joan Gabriel Talarn Maigí, Jordi Marsal Llebería

Teruel – Un paseo hidrogeológico en los manantiales de Teruel. El viaje del agua bajo nuestros pies **416**
Alejandro García Gil, Jose Ángel Sánchez Navarro, Jesús Mateo Lázaro, Jon Jiménez Beltrán, Juan Carlos Santamarta Cerezal

Valencia – La transformación de un río: El Albaida en l'Estret de les Aigües **444**
Silvino Castaño Castaño, Alberto Celis

Zaragoza – Soluciones Basadas en la Naturaleza- El humedal experimental construido para la depuración de las aguas de retorno de riego de la Cuenca de Lerma **472**
Jesús Causapé Valenzuela, Eduardo A. Garrido Schneider, Rosanna Margalef Martí, Helena Escalona Orellana, Manuela Barbieri, Neus Otero Pérez, Albert Soler i Gil

Bolivia: San José – Vertientes y agua subterránea en San José de Chiquitos **485**
Mónica Guzmán Rojo, Paola Alvizuri, Jennyfer Viruez

Botswana – Leaching natural springs **501**
Phatsimo Jacqueline Obuseng, Tshenolo Larona Chaba

Brazil: Ouro Preto – Patrimonio hídrico da Serra do Botafogo **503**
Adivane Terezinha Costa, Rodson de Abreu Marques, Alice Mendes dos Santos, Bárbara Maria de Paula Botaro, Helena Alves, Bosze, Izis Samira Cipriano do Carmo, Letícia Massri Barreira Rodrigues da Cunha, Líria Barros, Ludymilla Agnes Ferreira, Nayara Almeida Silva, Vitória Estorino de Abreu, Vitória Rodrigues França, Maria Tereza Godoy, Cristiane Gonçalves, Lia Porto e Wilck Guilherme de Campos

Colombia: Bucaramanga – Las aguas subterráneas en Bucaramanga **523**
Luisa Casadiegos Agudelo

Colombia: San Vicente del Chucurí – Agua: de riesgo a recurso. Conócelas, protégelas, respétalas **525**
Luisa Casadiegos Agudelo

Ecuador: Quito – Acuífero Pifo-Quinche en la ruta ecológica el Chaquiñán **527**
Sandra Teresa Procel Guerra, José Lalvay

Ecuador: Santa Elena – Sitio demostrativo de ecohidrología por Unesco-Manglaralto **529**
María Fernanda Jaya Montalvo, Lady Katherine Bravo Montero, Joselyne Bárbara Solórzano Chauca, Jenifer Allison Malavé Hernández, Josué David Briones Bitar, Emily Nicole Sánchez Zambrano, Robert Oliver Brito Matamoros, Gabriela Beatriz Arámbulo Castro, Brayan Ronny Pinto Ponce, Maribel Estefanía Aguilar Aguilar, Paúl Cesár Carrión Mero, Fernando Enrique Morante Carballo, Jonathan Elías Chica Ramírez, Luis Adrián Pacheco Bautista, Kevin Alexander Padilla Cáceres, Sebastián Alonso Suarez Zamora, Alanis Madelaine Jara Vargas, Gricelda America Herrera Franco, Gloria Malavé Laínez, Doménica Sofía Holguín Arellano

México: Chihuahua – Infraestructura hidrológica **543**
Miguel Ángel González Núñez

México: Ciudad de México – Visita a cuerpos de agua en la Repsa, UNAM **554**
Danael Aceves Padilla, Jurgen Mahlknecht, César Alfredo Nanni De Valle, Ana Yael Vanoye García, Fabiola Doracely Yépez Rincón, Jacinto Treviño Carreón, Paulina Mata Laredo, Sadot Edgardo Ortíz, Sergio Emiliano González Verástegui

México: Monterrey – Visita al parque ecológico la Huasteca, Monterrey **556**
Danael Aceves Padilla, Jurgen Mahlknecht, César Alfredo Nanni De Valle, Ana Yael Vanoye García, Fabiola Doracely Yépez Rincón, Jacinto Treviño Carreón, Paulina Mata Laredo, Sadot Edgardo Ortíz, Sergio Emiliano González Verástegui

Perú – Hidrogeodía en Cieneguilla **558**
Danael Aceves Padilla, Jurgen Mahlknecht, César Alfredo Nanni De Valle, Ana Yael Vanoye García, Fabiola Doracely Yépez Rincón, Jacinto Treviño Carreón, Paulina Mata Laredo, Sadot Edgardo Ortíz, Sergio Emiliano González Verástegui

Portugal: Arquipélago dos Açores – Dia Mundial da agua. Caminhada com explicações sobre aspectos científicos e sensibilização para os recursos hídricos **560**
Paulo Filipe Silva Borges, Paulo José Mendes Barcelos, Salomé C. Meneses, Samuel Mendes Rocha Vieira Pires

Portugal: Guimarães – Festa da primavera. Montanha de Penha **569**
João Miranda, Margarida Antunes Carolina Rodrigues, Sara Lopes, Sofia Bragança, Elisabete Pereira, Carlos Freitas, Armindo Costa e Silva

Principat d'Andorra – Pluja i desglaç, fonts i rius: Inundacions? El rol de les aigües subterrànies en la infiltració i exposició a la inundació del Fons de Vall **575**
Valentí Turu i Michels

South Africa – Hydrogeoday at the Institute for groundwater studies: Site visit to the Boy Louw Wellfield **577**
Julian Conrad

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 encada 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.aihge.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 2025

En 2025, el HIdrogeodía se ha celebrado en 28 provincias españolas, y en otros 10 países de Europa, América y África (Andorra, Portugal, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, México, Botswana y Sudáfrica) (Figura 1).



Figura 1. Provincias españolas y emplazamientos fuera de España donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2025.

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 2025.

PROVINCIA (ESPAÑA)	TÍTULO
Albacete	Hidro-Quijote de la Mancha
Alicante	Los manantiales salinos del Vinalopó (Novelda)
Almería	Las Albuferas del Adra: Un humedal prisionero
Asturias	Los Garrafes (Quirós): Un manantial kárstico en todo su esplendor
Barcelona	Hidrogeología y construcción de túneles urbanos: La nueva L8 de Barcelona
Burgos-Soria	Ecología y grandes manantiales en pinares y sabinares Burgos-Soria
Cáceres	Acueducto de Plasencia y río Jerte. Recorrido por las proximidades del acueducto y Torre Lucía
Canarias	El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza. Una visita por lugares singulares vinculados al agua en el municipio de Tacoronte (Tenerife)
Castellón	¿Quieres conocer el manantial Molí la Font y su hidrología?
Ciudad Real	Las aguas ocultas en el Campo de Calatrava y los Montes: volcanes, manantiales y bosques ribereños singulares
Granada	Lanjarón paisajes del agua
Guadalajara	El río Mesa: recurso esencial y peligro ocasional
Huelva	La ría de Huelva: contaminación del agua y problemática ambiental
Huesca	Hidrogeología de la Litera Alta en el entorno de los ríos Noguera Ribagorzana y Cinca-Ésera
Jaén	Itinerario hidrogeológico por la Sierra sur de Jaén
Lleida	Las aguas termales y el karst del Val D' Aran
Logroño	Un paseo hidrogeológico en los valles del Ebro y Cidacos. Descubriendo el hidrotermalismo en la La Rioja, la evolución fluvial y la construcción de la presa del Enciso
Madrid	El agua en San Lorenzo de El Escorial: del origen renacentista del Real Monasterio a sus obras hidráulicas, un paseo desde el S. XVI al S. XX
Málaga	Valle de Jorox-Alozaina- "un legado surgido de la montaña"
Ourense	La geología de la Limia: su influencia en las aguas subterráneas
Pontevedra	Hidrogeología 2025 de la provincia de Pontevedra. Ponteareas
Segovia	A la salud de Sepúlveda
Sevilla	Características generales y estado de la Masa de Agua Subterránea Sevilla-Carmona
Tarragona	Un paseo hidrogeológico por la Plana D' Alcanar
Teruel	Un paseo hidrogeológico en los manantiales de Teruel. El viaje del agua bajo nuestros pies
Valencia	La transformación de un río: El Albaida en l' Estret de les Aigües

Zaragoza	Soluciones Basadas en la Naturaleza- El humedal experimental construido para la depuración de las aguas de retorno de riego en la Cuenca de Lerma
PAÍS	TÍTULO
Principado de Andorra	Pluja i desglaç. Fonts i rius: inundacions? El rol de les aigües subterrànies en la infiltració i exposició a la inundació del Fons del Vall
Portugal (Arquipélago dos Açores)	Dia Mundial da Água. Caminhada com explicaçoes sobre aspetos científicos e sesibilizaçao para os recursos hídricos
Portugal (Guimarães)	Festa da primavera. Montanha da penha.
Bolivia (San José)	Vertientes y agua subterránea en San José de Chiquitos
Brasil (Ouro Preto)	Patrimônio HÍdrico da Serra do Botafogo
Colombia (Bucaramanga)	Aguas subterráneas en Bucaramanga
Colombia (San Vicente del Chucurí)	Agua: De riesgo a recurso. Conócelas, protégelas, respétalas
Ecuador (Quito)	Acuífero Pifo-Quinche en la ruta ecológica El Chaquiñan
Ecuador (santa Elena)	Sitio demostrativo de Ecohidrología por UNESCO-Manglaralto
Perú	Hidrogeodía en cieneguilla
México (Ciudad de México)	Visita a cuerpos de agua en la REPSA, UNAM
México (Chihuahua)	Infraestructura Hidrológica
México (Monterrey)	Visita al Parque Ecológico La Huasteca, Monterrey
Botswana	Lecheng Natural Springs
Sudáfrica	HydroGeoDay at the Institute for Groundwater Studies: site visit to the Boy Louw Wellfield

En su edición de 2025, el Hidrogeodía ha contado con la mayor participación hasta el momento, tanto a nivel nacional como internacional, superándose los 2000 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, estando muy equilibrada la asistencia de hombres y mujeres. Este año también se ha contado con la participación de público infantil. A continuación, se muestran las guías-carteles de todos los emplazamientos participantes en la actividad en el año 2025.



Albacete

HIDROGEODÍA 2025

ALBACETE



iah aih · Instituto de Estudios Albacetenses Don Juan Manuel · Grupo Hidrogeología UCLM Universidad de Castilla-La Mancha · I.D.R. · Departamento de Ingeniería Geológica y Minera · Castilla-La Mancha · Parque Natural Lagunas de Ruidera, Red de Áreas Protegidas de CLM

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 2025** se celebra el día 22 de marzo en el entorno del Parque Natural de las Lagunas de Ruidera. 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), el Centro de Interpretación del PN de las Lagunas de Ruidera y otros colaboradores.

Es una zona de gran interés hidrogeológico donde en 2019 ya se realizó un Geolodía de Albacete (https://www.iealbacetenses.com/files/portalcontenidos/6/documentos/Geolodia_19.pdf). Cervantes relata en el Quijote cómo Ruidera, sus hijas, sobrinas y su escudero Guadiana fueron transformados en lagunas y ríos, usando una alegoría para explicar su origen. El agua de estas lagunas proviene de un acuífero kárstico, donde permanecen en promedio unos 40 años antes de emerger. En la salida de campo observaremos las rocas que la filtran y moldean el paisaje, revelando su evolución. Este viaje es tan fascinante como las historias del Quijote, con conceptos sorprendentes y difíciles de creer. Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Dra. Esperanza Montero de la Universidad Complutense de Madrid por la autorización para emplear su material publicado (textos y figuras) como soporte didáctico en la Salida de Campo a las Lagunas de Ruidera.

PARA SABER MÁS:

González, E. M. (1994). Funcionamiento hidrogeológico del sistema de las Lagunas de Ruidera (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

PARQUE NATURAL DE LAS LAGUNAS DE RUIDERA

Las Lagunas de Ruidera, se localizan entre las provincias de Ciudad Real y Albacete y pertenecen a la Unidad Hidrogeológica 04.06 "Campo de Montiel". Consisten en un conjunto de 15 lagunas cuyo funcionamiento hidrológico depende de factores como el clima, la posición del nivel piezométrico y su relación con la topografía, posición del fondo impermeable del acuífero y de la distribución espacial de los parámetros hidrogeológicos de las unidades carbonatadas jurásicas y de los travertinos cuaternarios. En función de las características hidrogeológicas de las lagunas se han diferenciado cuatro conjuntos, más o menos conectadas hidráulicamente entre sí: Lagunas Altas, Lagunas Intermedias, Lagunas Colgada y del Rey, y Lagunas Bajas. Entre los factores que afectan la evolución de las Lagunas de Ruidera destacan la extracción de agua subterránea y el régimen pluviométrico. Cuando tiene lugar un aumento de las explotaciones y un descenso en la cantidad de lluvia, se produce una disminución de los aportes de agua subterránea a las lagunas y la desconexión hidráulica entre las mismas. En estos momentos se pone en peligro la supervivencia del humedal.

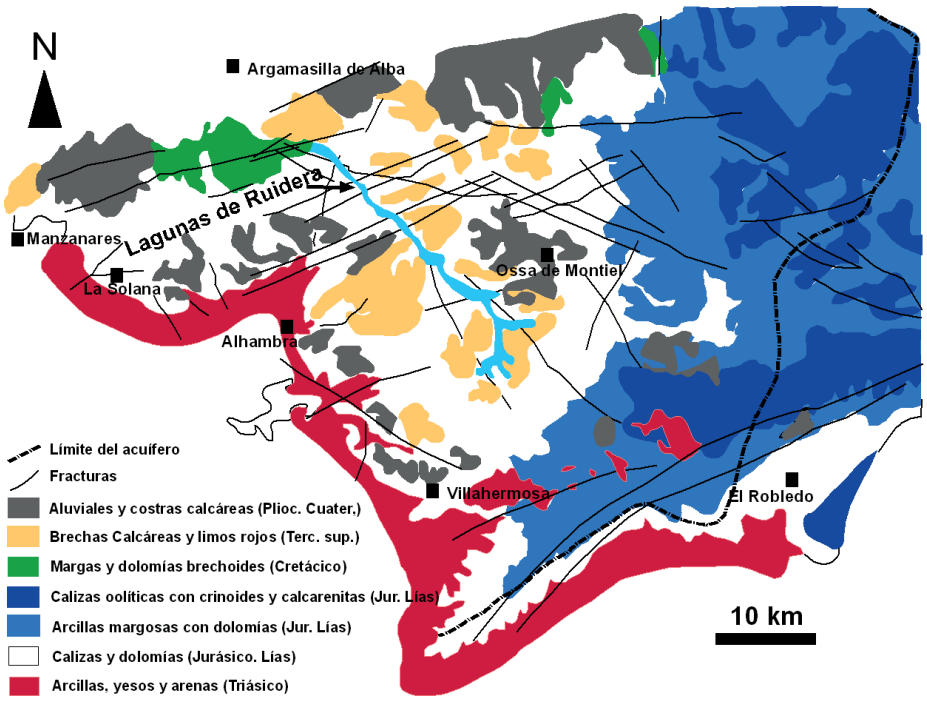


Figura 1. Mapa Geológico simplificado de la Unidad Hidrogeológica de Campo de Montiel

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Las Lagunas de Ruidera forman un complejo sistema hidrológico que comprende 15 lagunas (Figura 2). La mayoría de las lagunas presentan oscilaciones estacionales de nivel, con máximos en invierno y primavera y mínimos en verano y otoño, como consecuencia del reparto anual de las precipitaciones. Es conocido que el funcionamiento hidrológico de los humedales está directamente vinculado a la posición del nivel freático, que normalmente se localiza próximo a la superficie topográfica, y su geometría. En las lagunas que nos ocupan, además, juegan un papel fundamental las características geológicas y propiedades hidráulicas del sustrato que las alberga. En este sentido, la existencia de estas lagunas se ha explicado por la presencia en el sustrato de los materiales impermeables del Keuper que favorecerían el embalsamiento de las aguas. De hecho, se observa que el acuífero quedaba dividido en dos compartimentos con un comportamiento hidrogeológico independiente a ambos lados del valle: para el mismo periodo los manantiales de la margen derecha de las lagunas se secaban antes, mientras que las lagunas de la margen izquierda continuaban dando elevados caudales. Sin embargo, el estudio detallado del sistema de flujo a lo largo de las lagunas arrojó diferentes resultados que modificaron sustancialmente la hipótesis anterior. En este sentido, el sustrato de las lagunas está compuesto por espesores importantes de calizas y dolomías permeables del Jurásico y formaciones de travertinos del Cuaternario. La permeabilidad y transmisividad de estos materiales permite la existencia de un flujo subterráneo que intercomunica las lagunas entre sí. Esta comunicación entre lagunas sólo queda parcialmente interrumpida por la presencia de fracturas y fenómenos de halocinesis que elevan los materiales impermeables en "Facies Keuper".

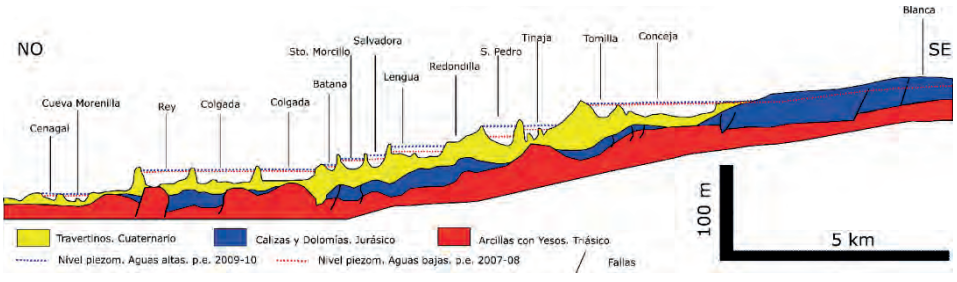


Figura 2. Corte hidrogeológico longitudinal a la traza de las lagunas de Ruidera. Modificado de Montero (2002).

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Lagunas altas (Blanca, Conceja y Tomilla) se encuentran sobre materiales jurásicos muy transmisivos y reflejan el nivel piezométrico del acuífero (Figura 2). La superficie freática muestra un gradiente hidráulico suave (0,34%). Los puntos topográficamente elevados se secan cuando el nivel freático desciende, como ocurre en el caso de la Laguna Blanca. Las lagunas del Concejo y la Tomilla, al estar situadas a cota bastante inferior, reciben aportes subterráneos y siguen siendo "ganadoras". Sólo desciende su nivel cuando esta muy bajo en el acuífero.

Durante la ruta a pie, con inicio en la "Cueva de Montesinos", se realizarán varias paradas donde se explicará el contexto geológico e hidrogeológico regional para pasar, a continuación, a explicar al modelo de flujo de las Lagunas de Ruidera. Se reconocerán los siguientes materiales geológicos: calizas y dolomías del Jurásico, y travertinos del Cuaternario. También visitaremos una estación climatológica donde analizaremos el instrumental necesario para la adquisición de medidas de parámetros climáticos necesarios para el cálculo del balance hidrológico (que compararemos al final de la salida).

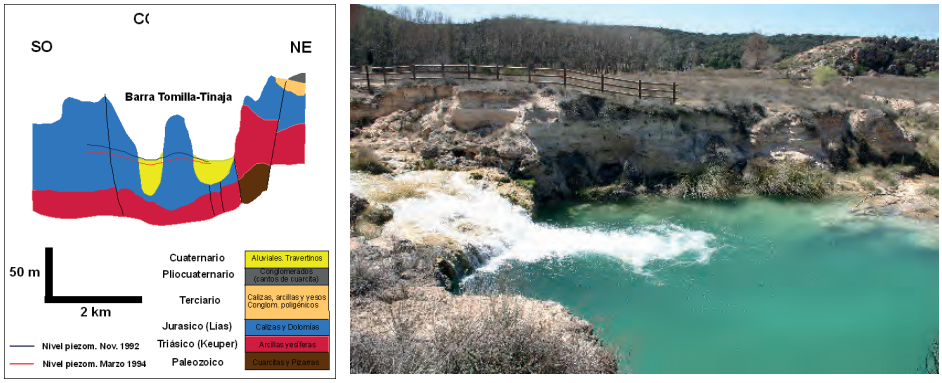


Figura 3. Corte Hidrogeológico de las Lagunas de Tomilla-Tinaja.
Foto: Lugar conocido como la Plaza de Toros. En esta pequeña depresión kársitca (que se produjo por una avenida acaecida en 1947), ubicada en un canal que atraviesa la rampa tobácea entre las lagunas Tomilla y Tinaja, se puede observar la formación de nuevos travertinos y formaciones estromatolíticas actuales.

Lagunas intermedias (Tinaja, San Pedro, Redondilla, Lengua, Salvadora, Sto. Morcillo y Batana).

A partir de la laguna Tomilla se produce un fuerte incremento en el gradiente hidráulico y una disminución en la transmisividad del acuífero. Como consecuencia tiene lugar un descenso de la permeabilidad, mermando el flujo subterráneo. Este fenómeno explica la ausencia o disminución importante del flujo subterráneo desde la laguna Tomilla a la Tinaja. Cuando tiene lugar el flujo subterráneo, parece localizarse en conductos y/o zonas locales más permeables. Por tanto, este conjunto de lagunas se alimenta fundamentalmente por los aportes superficiales procedentes de las lagunas altas y, en menor cuantía, de aportes laterales. Cuando se interrumpen estas aportaciones, las lagunas intermedias comienzan a vaciarse.

El tercer conjunto está representado por las lagunas Colgada y del Rey. Su alimentación se realiza de forma superficial, bien por aportes de las lagunas anteriores bien por los aportes superficiales procedentes del Valle de las Hazadillas (margen izquierda de la laguna Colgada). La posición elevada de los materiales impermeables del Keuper dificulta los aportes subterráneos desde el conjunto anterior, superior topográficamente, pero también permiten que el agua permanezca embalsada durante más tiempo. Este hecho explica porque el nivel de estas lagunas apenas experimenta variación cuando se interrumpe el trasvase de agua superficial desde las lagunas intermedias.



Figura 4. : Replanos estromatolíticos emergidos en forma de visera en la laguna Tinaja.

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Parada 3: Lagunas bajas (Cueva Morenilla, Coladilla y Cenagal)

La barra impermeable situada entre las lagunas Colgada y del Rey, y las lagunas bajas, provoca la desconexión hidráulica entre ellas. La alimentación de las lagunas bajas se produce, casi exclusivamente, por aportes superficiales procedentes de la laguna del Rey (Figura 2).

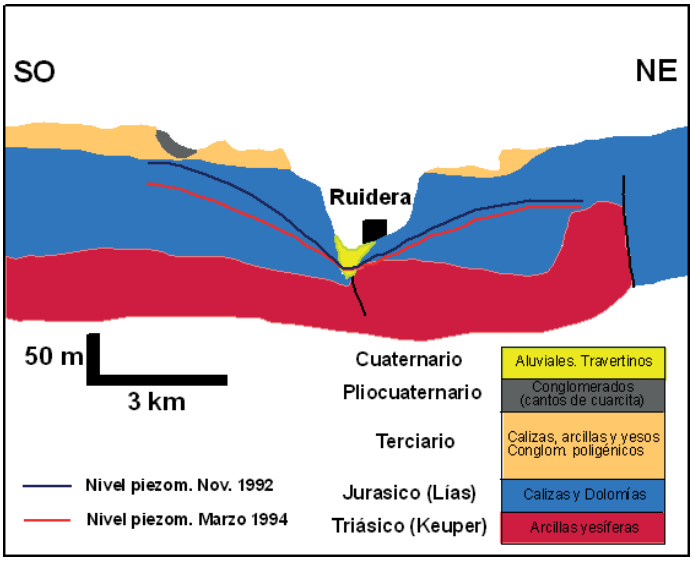


Figura 5. Corte hidrogeológico en el paso entre las lagunas Colgada y del Rey, y las lagunas bajas. Gran parte del flujo superficial se produce en el entorno del conocido lugar "El hundimiento".



Figura 6. El aporte hacia las lagunas bajas que posteriormente es almacenada en el embalse de Peñarroya se puede cuantificar en la estación de aforos aguas abajo de Ruidera y compararlo con las entradas al sistema por la precipitación

HIDROGEODÍA 2025

ALBACETE





Alicante

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

DIPUTACIÓN DE ALICANTE
CICLO HÍDRICO

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Ajuntament de Novelda
Regidoria de Medi Ambient

HIDROGEODÍA 2025



Los manantiales salinos del Vinalopó (Novelda)

22 de marzo de 2025

Recorrido a pie realizado de forma libre
con especialistas en paradas informativas



Salida

Castillo de la Mola (Novelda)
22 de marzo de 2025
Comienzo actividad 09:00-11:30 am (según inscripción)

Inscripción gratuita en:

www.ciclohidrico.com

Clots de la Sal i serra de la Mola
PARATGE NATURAL MUNICIPAL



Organizan

Diputación de Alicante. Área de Ciclo Hídrico
Universidad de Alicante
Universidad Miguel Hernández de Elche
Ayuntamiento de Novelda

COLABORA

¿QUIERES COLABORAR?

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

APADRINA UNAROCA

CSIC IGME 175



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

DIPUTACIÓN DE ALICANTE
CICLO HÍDRICO

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Ajuntament de Novelda
Regidoria de Medi Ambient

Los manantiales salinos del Vinalopó (Novelda)

Guía de la excursión

HIDROGEODÍA 2025

Clots de la Sal i serra de la Mola
PARATGE NATURAL MUNICIPAL

Edita: Diputación de Alicante, Universidad de Alicante y Universidad Miguel Hernández
Imprime: Imprenta Diputación de Alicante
© AIH-GE, 2025

Los manantiales salinos del Vinalopó (Novelda)

Guía de la excursión

HIDROGEODÍA 2025

Descarga la guía en pdf en:

MONITORES HIDROGEODÍA ALICANTE 2025

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

Javier Albajez Pérez (UA)
Pedro Alfaro García (UA)
Josefa Antón Botella (UA)
Victoria Arcenegui Baldó (UMH)
Víctor Blasco Birlanga (UA)
Marina Campos Gómez (UA)
Miryam Carrillo Bautista (UA)
Aitana Escolano Vico (UA)
Ismael Fuster González (UA)
Valentín Gangloff (UA)
Juan Antonio Hernández Bravo (DPA)
Iván Medina Cascales (UA)
Andrés Mirat Rojo (UA)
Paula Molina Botella (UA)
Constantino Molina Motos (DPA)
José Miguel Narros Soria (UA)
Conchi Pla Bru (UA)
Fernando Pérez Calvo (DPA)
Javier Pérez Tarruella (UA)
Julio Ramón Pascual (IES Carrús)
Juanjo Rodes Martínez (DPA)
Sergio Rosa Cintas (UA)
Francisco José Royuela Amorós (UA)
José Francisco Sánchez Devesa (UA)
Fernando Santos Sánchez (UA)
Francisco Sansano López (IES Mutxamel)
Eva Santamaría Pérez (UA)
Francisco Soro Gigante (Ayto. Novelda)
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 2025: 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 y Revoker y muy especialmente al Ajuntament de Novelda.

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 2025** se celebra en **Novelda**, el próximo 22 de marzo. Para ello se ha elegido un itinerario en el paraje natural municipal "Clots de la Sal i Serra de la Mola". 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 general del valle del río Vinalopó por donde discurre el itinerario.

CÓMO LLEGAR

Partiendo de la localidad de Novelda, se toma la carretera CV-832 en dirección al Castillo de la Mola y al santuario de Santa María Magdalena, patrimonio histórico y cultural de esta localidad, ambos situados aproximadamente a 4,7 km al NW de la población (Fig. 1). Junto a este entorno monumental se encuentra el parking, desde donde parte el itinerario propuesto, que discurre dentro del paraje natural municipal "Clots de la Sal i Serra de la Mola".



Figura 1: Mapa de acceso al castillo de la Mola y al paraje natural municipal Clots de la Sal i Serra de la Mola.

QUÉ VEREMOS

Los aspectos más relevantes de este itinerario son:

1. El entorno geológico e hidrogeológico del curso medio del río Vinalopó a su paso por Novelda.

2. La singularidad de los manantiales salinos del cauce del Vinalopó.

3. El aprovechamiento histórico y las infraestructuras hídricas que llevaban el agua a la huerta de Novelda.

4. La riqueza de la biodiversidad microbiana contenida en los manantiales hipersalinos.

5. El papel del agua en los procesos que determinan el paisaje.

¿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. Se aprovechan para el abastecimiento de la población, el riego de cultivos, la industria, así como para usos recreativos y ambientales, etc.

ITINERARIO HIDROGEOLÓGICO

El presente itinerario discurre de manera circular por un pequeño tramo del curso medio del río Vinalopó, al N de la localidad de Novelda (Fig. 2).

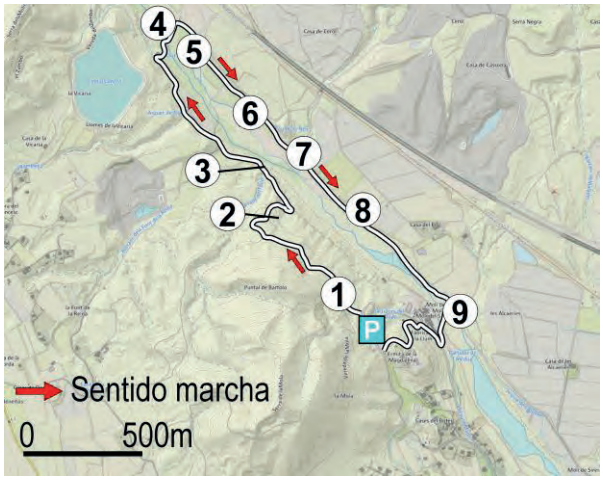


Figura 2: Itinerario con las paradas explicativas.

El río Vinalopó es uno de los cursos de agua más importantes de la provincia de Alicante. Nace en la sierra de Mariola y tiene una longitud de 81 km. Su cuenca hidrológica tiene una superficie de unos 1700 km^2. El río no llega a desembocar al mar, ya que termina en la acequia de Dalt, en el entorno entre el municipio de Elche y las Salinas de Santa Pola.

Se trata de un río de carácter mediterráneo, con un caudal irregular determinado por las precipitaciones estacionales. En su curso medio atraviesa las localidades de Elda y Novelda. Es en este tramo medio donde se han producido algunas de las mayores pérdidas como consecuencia de las crecidas, como las ocurridas en los años 1906 y 1982, que generaron importantes daños materiales y humanos especialmente en la población de Elda.

Desde el punto de vista geológico el itinerario parte desde la ladera oriental de la sierra de la Mola que está formada por calizas y dolomías subbéticas del Jurásico. No obstante, y aunque el trazado se realiza fundamentalmente por materiales recientes de carácter detrítico, se puede observar que el paisaje está dominado por terrenos de tonos rojizos compuestos mayoritariamente por arcillas y evaporitas (Fig. 3). En el mapa geológico del proyecto MAGNA estos materiales son asignados al Triásico en facies Keuper.

En el entorno próximo al itinerario existen una serie de relieves como son las sierras de Bateig al N, Beties al W, o Monteagudo-Chirichola, al SE, que bordean la depresión del Vinalopó y están formados por diversos terrenos cenozoicos (entre 65 y 7 millones de años) en los que predominan las calcarenitas, areniscas y calizas margosas, gran parte de los cuales se encuentran dispuestos directamente sobre los materiales del Triásico Keuper. Muchas de estas formaciones geológicas presentan unas estructuras complejas al mostrar un elevado grado de plegamiento y fracturación.

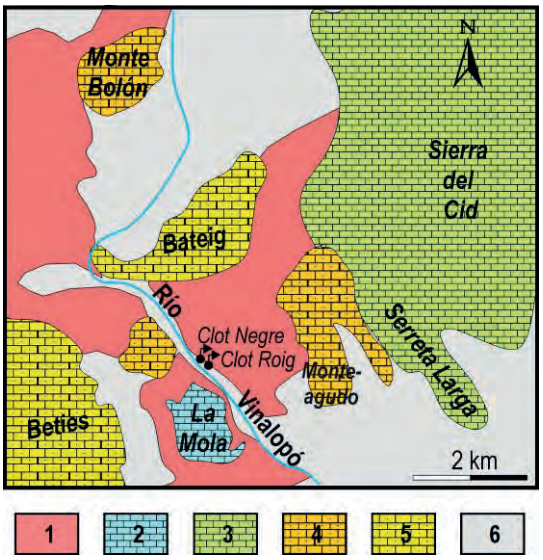


Figura 3: Esquema geológico del entorno del paraje natural Clots de la Sal i Serra de la Mola donde tiene lugar el itinerario: 1. Arcillas y yesos triásicos; 2: Calizas jurásicas; 3: Calizas cretácicas; 4: Calcarenitas y calizas margosas paleógenas; 5: Calcarenitas neógenas; 6: Cuaternario.

Conviene destacar como relieve más importante, la sierra del Cid, que con una altura superior a 1000 m (1034 m Cid y 1113 Mama del Cid), se ubica al E de la depresión del Vinalopó. Se trata de un relieve conformado por una serie de más de 400 m de calizas, calizas margosas y calcarenitas del Cretácico. Esta serie se encuentra buzante hacia el W donde es cortada bruscamente por las arcillas y yesos del Triásico antes de alcanzar el curso del río Vinalopó.

Buena parte de los 750 km^2 del Vinalopó Medio corresponde a terrenos permeables de características acuíferas. La gran mayoría de naturaleza carbonatada (calizas, dolomías y calcarenitas). La elevada complejidad tectónica de la región genera una fuerte compartimentación hidrogeológica, dando origen a numerosos acuíferos (hasta 30, según las últimas actualizaciones). Estos acuíferos quedan agrupados en masas de aguas subterráneas (MASub) (Fig. 4). Algunas de estas MASub corresponden a un solo acuífero como Serral-Salinas. Otras se componen de varios acuíferos como la MASub Sierra del Cid en la que se integran hasta 6 acuíferos, entre los que se encuentran Serreta Larga y Cid. La reducida dimensión de muchos acuíferos unida a unas precipitaciones escasas, de entre 300 y 400 mm/año, hacen que sus recursos sean modestos y su explotación haya provocado numerosos problemas de sobreexplotación.

Las extracciones de aguas subterráneas realizadas antaño provocaron entre otros (I) el agotamiento de muchos manantiales, parte de cuyas aguas terminaban alcanzando el río Vinalopó; (2) el deterioro del agua subterránea, hasta el punto de tener que abandonar las captaciones por la salinización que progresivamente experimentaban las aguas subterráneas; (3) y la afección a cuerpos de agua superficial, como ocurrió con la laguna de Salinas, que dejó de recibir las aportaciones subterráneas, lo que contribuyó a su desecación.

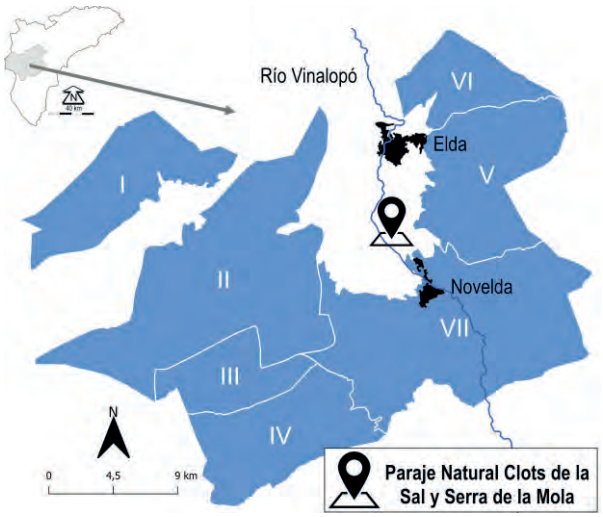


Figura 4: Principales masas de agua subterránea del Medio Vinalopó. I: Serral-Salinas; II: Quibas; III: Sierra de Argallet; IV: Sierra de Crevillente; V: Sierra del Cid; VI: Argeña-Maigmó; VII. Bajo Vinalopó.

Parada 1. Recuperación de ecosistemas acuáticos

En el monte de la Mola existen antiguas canteras para la explotación de la piedra caliza, que estuvieron funcionando entre finales del s. XIX y finales del s. XX, siendo una de las principales la que se sitúa en la vertiente noreste. Tras décadas abandonada, el Ayto. de Novelda implementó un proyecto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para poner en valor este hueco minero. Este consistió en la construcción de dos balsas naturalizadas como zonas húmedas. En las balsas se introdujeron varias poblaciones de Fartet, procedentes de diversas balsas de riego de la población, que presentaban riesgo de desecación, con el objetivo de la recuperación de esta especie.

El Fartet (*Aphanius iberus*) es un pequeño pez endémico de la península Ibérica, que constituye una de las especies de vertebrados ibéricos más amenazadas por su endemicidad, drástica regresión de sus poblaciones y perdidas de hábitats. Se encuentra incluido en todos los listados y catálogos, tanto nacionales como internacionales, de especies amenazadas, entre estos el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Real Decreto 139/2011) y en el

Catálogo Valenciano de Especies Amenazadas (Decreto 32/2004).

En la actualidad, tras décadas extinto en el río Vinalopó, se han localizado diferentes poblaciones de Fartet en tramos del río Vinalopó de Sax, Elda y Novelda.



Foto 2. Solución basada en la Naturaleza (SbN). En primer término, balsa para el estudio, difusión y recuperación del Fartet (Aphanius iberus), al fondo la sierra del Cid.

Parada 2. Arcillas y evaporitas del Triásico: las rocas más antiguas de la provincia de Alicante

A lo largo del itinerario se atraviesan arcillas y rocas evaporíticas del Triásico Superior, con una edad comprendida entre 230 y 205 millones de años. Estas rocas son fácilmente reconocibles en el paisaje por su intenso y dominante color rojo vino que se mezcla con otras intensas tonalidades grisáceas y verdosas, que en geología se conocen como "facies Keuper" o "Triásico Keuper" (Foto 3).

Un aspecto sorprendente es que la posición original de estos materiales tan antiguos se situaba, en el sector de Novelda, a unos 4 kilómetros de profundidad. Entonces, ¿cómo estas rocas tan profundas han podido alcanzar la superficie y aflorar a lo largo del valle del Vinalopó, entre Villena y Elche? La respuesta está en que estos materiales tienen unas propiedades muy especiales cuando son sometidos a esfuerzos tectónicos. Las arcillas y, especialmente, las rocas evaporíticas como los yesos o la sal gema son muy poco resistentes. Si los comparamos con otras rocas como las calizas, son materiales poco viscosos capaces de fluir lentamente en estado sólido.

Cuando en el pasado las rocas de este sector de la provincia de Alicante fueron sometidas a esfuerzos tectónicos, estos materiales se movilizaron y fluyeron tanto lateralmente como en la vertical. Fueron capaces de ascender varios kilómetros hasta alcanzar la superficie a lo largo de una estrecha banda entre Villena y Elche que es, precisamente, por donde circula actualmente el río Vinalopó (Fig. 5).

Estos materiales del Triásico Keuper con una gran cantidad de rocas salinas, forman estructuras que los especialistas denominan diapíricas. Algunas investigaciones recientes muestran cómo las rocas de algunas sierras del entorno como la del Monte Bolón o Bateig, en Elda, están "flotando" o apoyadas sobre materiales del Triásico Keuper.



Foto 3. Aspecto característico de las rocas del Triásico Keuper con sus tonalidades rojizas. Detalle de una excavación en una de las canteras del entorno.

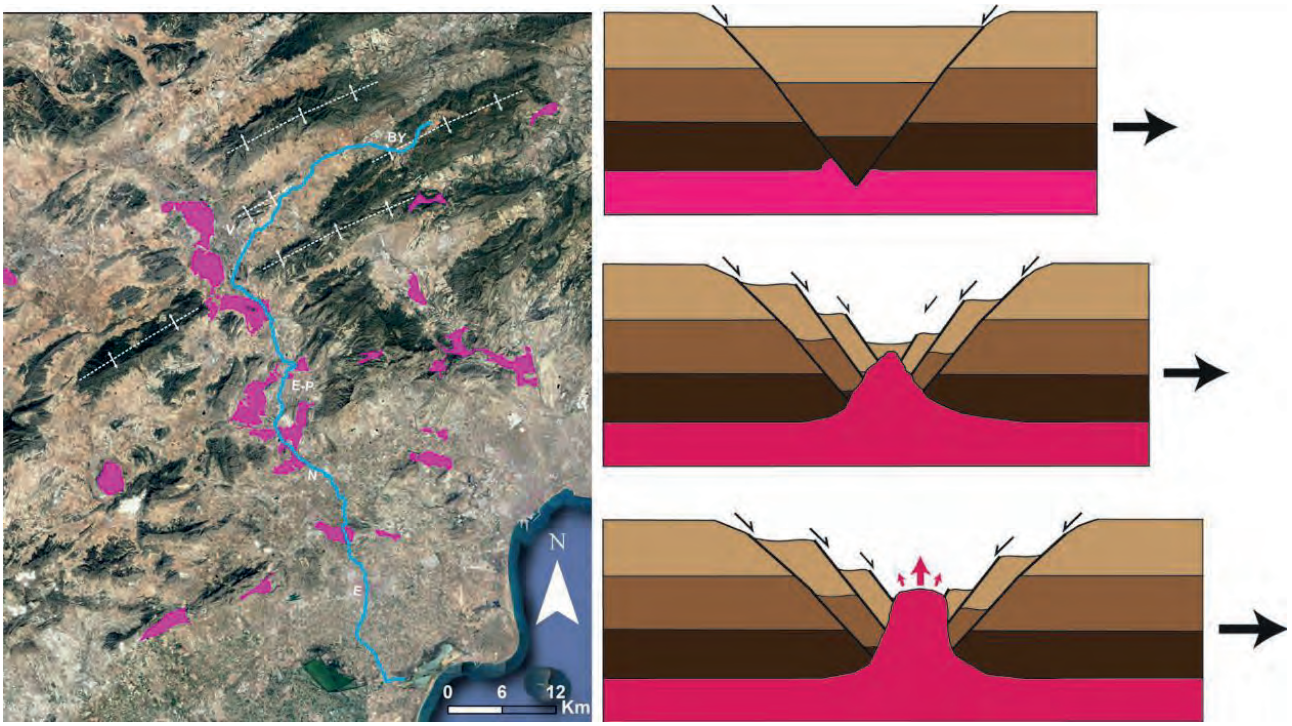


Figura 5: Afloramientos triásicos por el valle por donde discurre el Vinalopó. B. Modelo análogo de laboratorio que muestra cómo cuando unas rocas son sometidas a tensión se favorece el ascenso de material poco viscoso (como las sales). Modificado de Jackson y Vendeville (1994).

Parada 3. El patrimonio hidráulico de Novelda: la Antiga Sèquia Major

La Antiga Sèquia Major constituye uno de los elementos más importantes del patrimonio hidráulico de Novelda (Foto 4). De origen andalusí, sufrió modificaciones durante el feudalismo. La idea parte del aprovechamiento de las aguas sobrantes de las huertas de Villena y de sus fuentes, que fueron motivo de continuos conflictos entre las poblaciones del Vinalopó y que están documentados desde finales del s. XIII. Esta obra forma parte del complejo sistema hidráulico del Vinalopó, donde el regadío ocupaba miles de hectáreas y los molinos harineros, papeleros, textiles y de majar esparto, así como las "fábricas de la luz" (saltos de agua para la generación de energía eléctrica mediante turbinas) alcanzaron una notable importancia.

Los escasos caudales sobrantes de las huertas de Sax y Elda junto con las aguas de varias surgencias localizadas entre Elda y Novelda, entre ellas la font de l´Eixau (fuente de la Jau), eran canalizadas durante aproximadamente 8 km por la Sèquia Major, desde su nacimiento en el término de Elda, pasando por la partida de los Molins de Monòver, hasta el regadío periurbano de Novelda siempre siguiendo la margen derecha del río. Aunque el trazado de la Sèquia Major se mantuvo durante siglos, son numerosos los cambios realizados para ampliar las zonas regables. La obra, de mampostería e impermeabilizada con argamasa, fue incorporando nuevos materiales a lo largo de las sucesivas modificaciones. Las dimensiones medias son de 1,60 m de anchura y 1,20 m de profundidad. En la actualidad se conservan en estado ruinoso tres acueductos sobre la Sèquia Major.

Actualmente, las aguas de la Sèquia Major se distribuyen en múltiples canales en el Partidor del Castell, localizado a los pies del Castillo de la Mola. Originalmente estas aguas se distribuían entre las huertas de la Vila y Lèdua; a esta última, de menor extensión y situada al norte de Novelda en la margen izquierda del Vinalopó, llega el agua una vez que cruza el río

por el acueducto de Lèdua, próximo a la chimenea de la antigua fábrica de la luz, que todavía hoy se conserva.



Foto 4: (Izquierda) Sèquia Major de Novelda a su paso por el paraje natural Clots de la Sal i Serra de la Mola. (Derecha) Segundo acueducto de la Antiga Sèquia Major a su paso por una de las ramblas próximas al cauce del río Vinalopó. Al fondo la nueva Acequia Mayor de Novelda.

Parada 4. El agua del río Vinalopó

Las características del agua del río Vinalopó experimentan una amplia transformación a lo largo de su curso. En su tramo alto, sus aguas son de baja mineralización y bicarbonatadas cálcicas, ya que sus aguas provienen de la descarga de acuíferos carbonatados.

Sin embargo, a partir de Banyeres la composición litológica del terreno atravesado, junto a la actividad humana, juegan un papel esencial que afecta a la calidad del agua. La reducción de caudal para riego conlleva que el agua del río se infiltre totalmente en los terrenos cuaternarios y permanezca seco desde Campo de Mirra. El río no vuelve a llevar caudal hasta el S de Villena, como consecuencia de la descarga de la Acequia del Rey, construida para desaguar la antigua laguna de Villena. Esta descarga es altamente mineralizada debido a la influencia de las evaporitas triásicas y los drenajes agrarios. Esta mineralización desciende curso abajo debido a los efluentes de diversas Estaciones

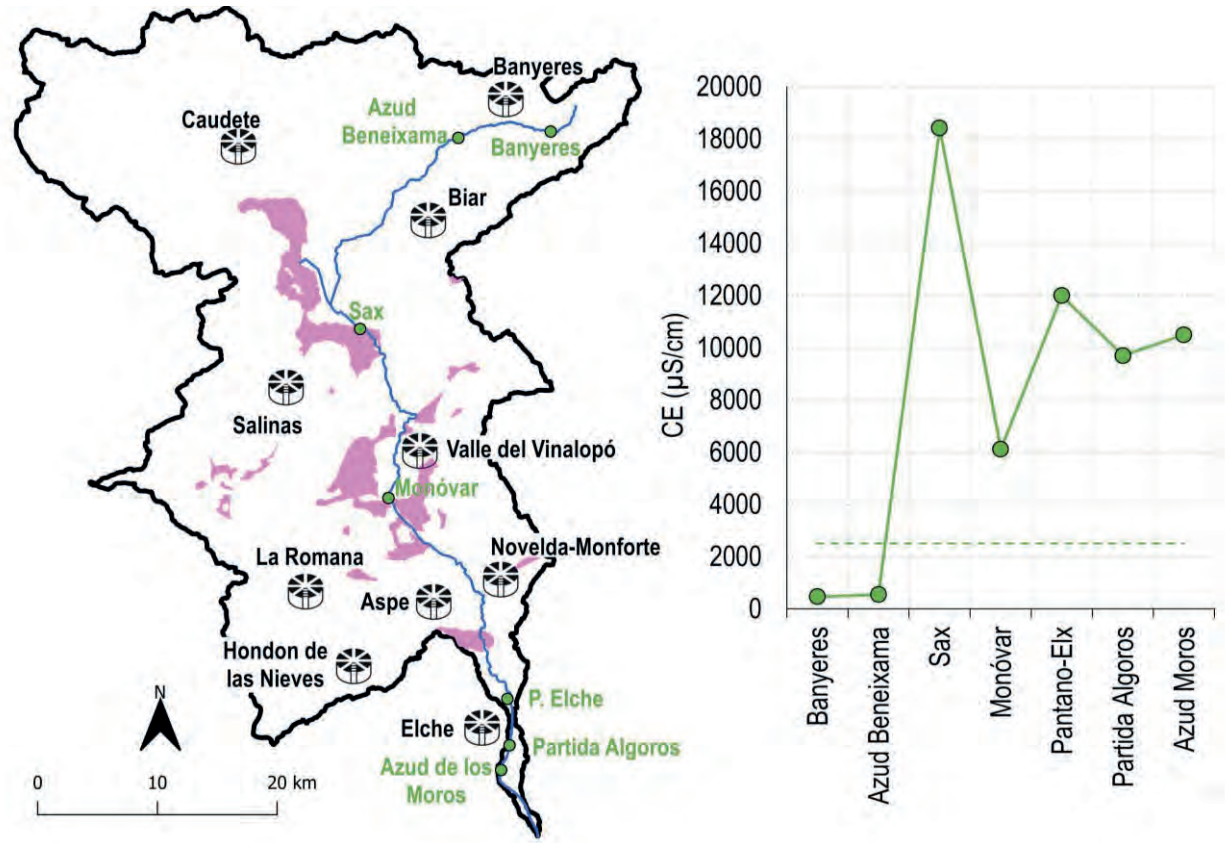


Figura 6: (Izquierda) Puntos de muestreo y ubicación de las depuradoras en la cuenca del Vinalopó; (Derecha) Variación de la conductividad eléctrica a lo largo del río Vinalopó (web CHJ, 2024). La línea discontinua señala el valor paramétrico de calidad.

Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), cuyas aguas tratadas terminan en el cauce del río (Fig. 6). Las oscilaciones en la mineralización de las aguas del Vinalopó dependen de la proporción de mezcla entre ambos tipos de agua.

Parada 5. El Clot Negre: una fuente de su biodiversidad microbiana

Existe una gran cantidad de microorganismos en nuestro planeta (en torno a $2x10^{30}$), distribuidos en multitud de ambientes y sistemas, entre los que se encuentran las aguas termales y los ambientes extremos, como en el caso de las surgencias del paraje natural de los Clots de la Sal i Serra de la Mola, con aguas hipersalinas. Buena parte de los microorganismos existentes son inocuos para el ser humano, si bien son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas y participan en procesos de vital importancia.

El conocimiento que tenemos sobre los microorganismos de los manantiales salinos del Vinalopó es bastante escaso. En el Clot Negre, el mayor de los clots del paraje, el agua emana a unos 21°C y presenta una salinidad cuatro veces mayor que la del mar (Foto 5). A pesar de su especial interés como piscina natural, la composición de la comunidad microbiana del agua del manantial no ha sido estudiada hasta la actualidad. Los procariotas (bacterias y arqueas) detectados son muy variados y podrían participar en la oxidación de compuestos de azufre y de hierro, aunque la mayoría de las bacterias presentes son desconocidas.



Foto 5: Vista del Clot Negre.

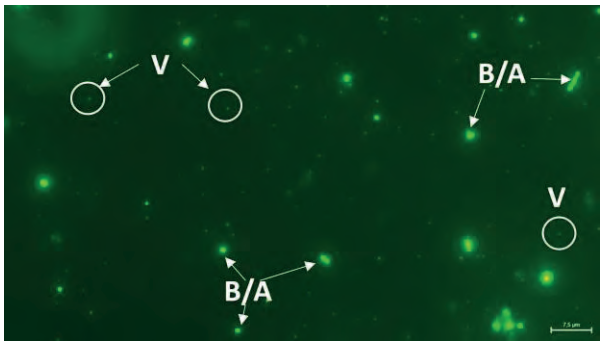


Foto 6: Muestra del agua del Clot Negre. La fotografía se ha tomado con un microscopio de fluorescencia de 1000 aumentos, tras teñir las células de bacterias o arqueas y los virus con un colorante que se une al ADN. V: virus; B/A: bacterias o arqueas.

La abundancia de microorganismos en las aguas del Clot Negre es considerable, del orden de 500.000 procariotas y fagos (virus que infectan a bacterias) por mililitro (Foto 6). Esta cantidad, aunque elevada, es ligeramente menor de la que hay, por ejemplo, en el agua de mar en la costa, que alberga alrededor de un millón de bacterias por mililitro. Estos microorganismos no son patógenos, sino que son los responsables de mantener el sistema en funcionamiento, constituyendo lo que denominamos el *microbioma del manantial*, al igual que los microorganismos del microbioma humano son esenciales para nuestra salud.

Parada 6. El Clot Roig

Aguas abajo del Clot Negre en el propio cauce del río se encuentra el Clot Roig. Su denominación se debe a la turbidez pardo-rojiza que muestra el agua a su salida en el ullal y en el suelo por donde circula el agua (Foto 7). Se trata de otra surgencia hipersalina con contenidos de sales totales superiores a los 160 g/L, en los que domina el cloruro sódico. Su temperatura es de 20°C y su caudal es mucho menor, en torno a 3 L/s.

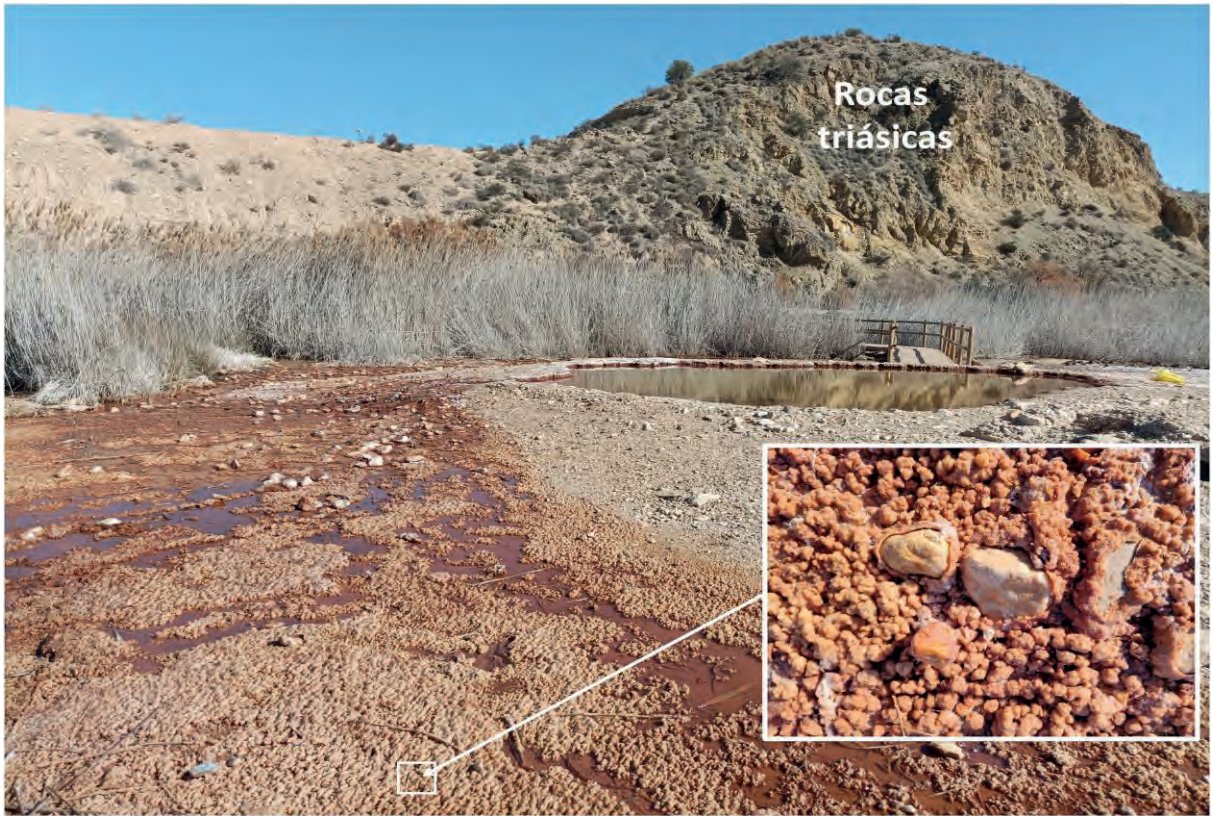


Foto 7: Vista del Clot Roig y detalle de los precipitados y coloración por donde circula el agua.

Quizás lo que más llama la atención es el color rojizo del terreno por donde pasa el agua, lo que apunta a un elevado contenido en hierro. Un análisis efectuado en diciembre de 2024 estableció que estas aguas tienen una concentración de 0,8 mg/L de hierro.

Otro rasgo característico de esta surgencia es la elevada cantidad de eflorescencias y precipitados que se forman en el terreno por donde discurre el agua. El agua mineralizada en el interior del terreno sale a la superficie encontrando otras condiciones ambientales diferentes a las del subsuelo, de forma que se origina un desequilibrio químico y se produce la liberación de elementos mediante el proceso de precipitación. Se trata de precipitados de sales (cloruros y sulfatos) y de carbonato cálcico que forman las morfologías globulares observables en el suelo (Foto 7).

Parada 7. El barranco de Salinetes

El barranco Salado o de Salinetes es una pequeña cuenca hidrológica de 8,5 km^2 desarrollada mayoritariamente sobre materiales del Triásico Keuper. Su nombre proviene de la existencia a lo largo de su trazado de varios manantiales de características salinas que aportan aguas que van de saladas a salmueras (Fig. 7). Entre ellos se pueden destacar los manantiales de Font Salada, Salinetes y Dulce (Tabla I).



Figura 7: El barranco de Salinetes y sus manantiales. 1: Font Salada; 2: Salinetes; 3: Font Dulce.

Font Salada es una surgencia hipersalina debido fundamentalmente a la elevada concentración de ClNa y que surge con un caudal bastante constante en torno a 5 L/s. Estas características hicieron que en la década de los años ochenta del siglo pasado se pretendiese explotar el ClNa.

El manantial de Salinetes, situado muy cerca del anterior, era una pequeña surgencia de escaso caudal (<10 L/min) catalogadas como aguas sulfurosas. Si bien, actualmente este manantial está seco, sus aguas fueron aprovechadas con carácter terapéutico en el Balneario de Salinetes durante el periodo 1852-1931.

*Tabla I: Características salinas de los manantiales del barranco de Salinetes. CE: conductividad eléctrica en mS/cm; iones cloruro (Cl) y sodio (Na) en g/L. *Valores de análisis del año 2000.*

Manantial	*CE*	*Cl*	*Na*
Font Salada	168	99,8	58,5
Salinetes*	44,8	16,3	10
Font Dulce	8,9	1,7	0,96

Por último, se encuentra la denominada popularmente como Font de Agua Dulce que con un caudal inferior a 1 L/s descarga sus aguas en el barranco. Se trata de un manantial de agua salada, cuyo actual uso es de tipo recreativo.

Si bien no se dispone de un estudio específico en el que se haya establecido el origen de estos manantiales, todo apunta a que se trataría de pérdidas del vecino acuífero del Cid (Fig. 8). Los materiales triásicos, que actúan de barrera impermeable del acuífero carbonatado, presentarían vías de escape por donde circularía el agua enriqueciéndose en sales hasta llegar a la superficie.

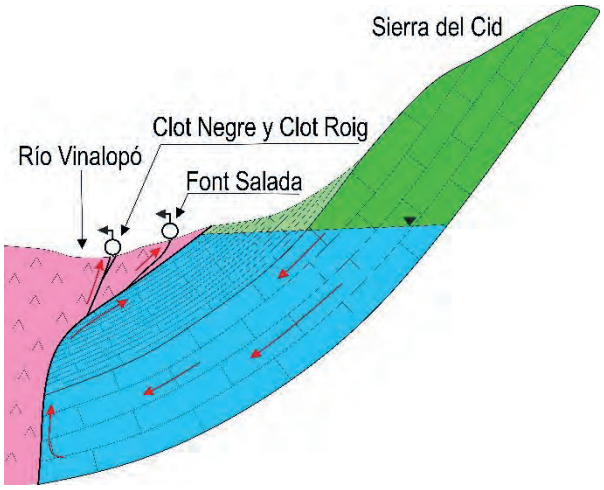


Figura 8: Esquema hidrogeológico del hipotético origen de las aguas salinas de Novelda.

Parada 8. Antiguos sedimentos del río Vinalopó: terrazas fluviales

En los últimos millones de años el río Vinalopó ha erosionado y modelado su actual valle fluvial. El agua del río ha excavado en las rocas que ocupaban el actual valle ensanchándolo por una parte y profundizándolo por otra. En el curso medio del río Vinalopó (Novelda es un buen ejemplo), el agua ha aprovechado la presencia de rocas poco resistentes a la erosión como las arcillas y rocas evaporíticas del Triásico.

A lo largo de la historia más reciente ha habido momentos en los que ha predominado la erosión, pero también otros en los que el río ha acumulado una gran cantidad de sedimentos. En esta región el balance entre sedimentación y erosión depende principalmente de factores climáticos y las subidas y bajadas del nivel del mar, aunque también ha podido influir la actividad tectónica.

Cuando la sedimentación ha sido más importante, el río ha acumulado sedimentos a lo largo y ancho de su valle, tanto en el cauce

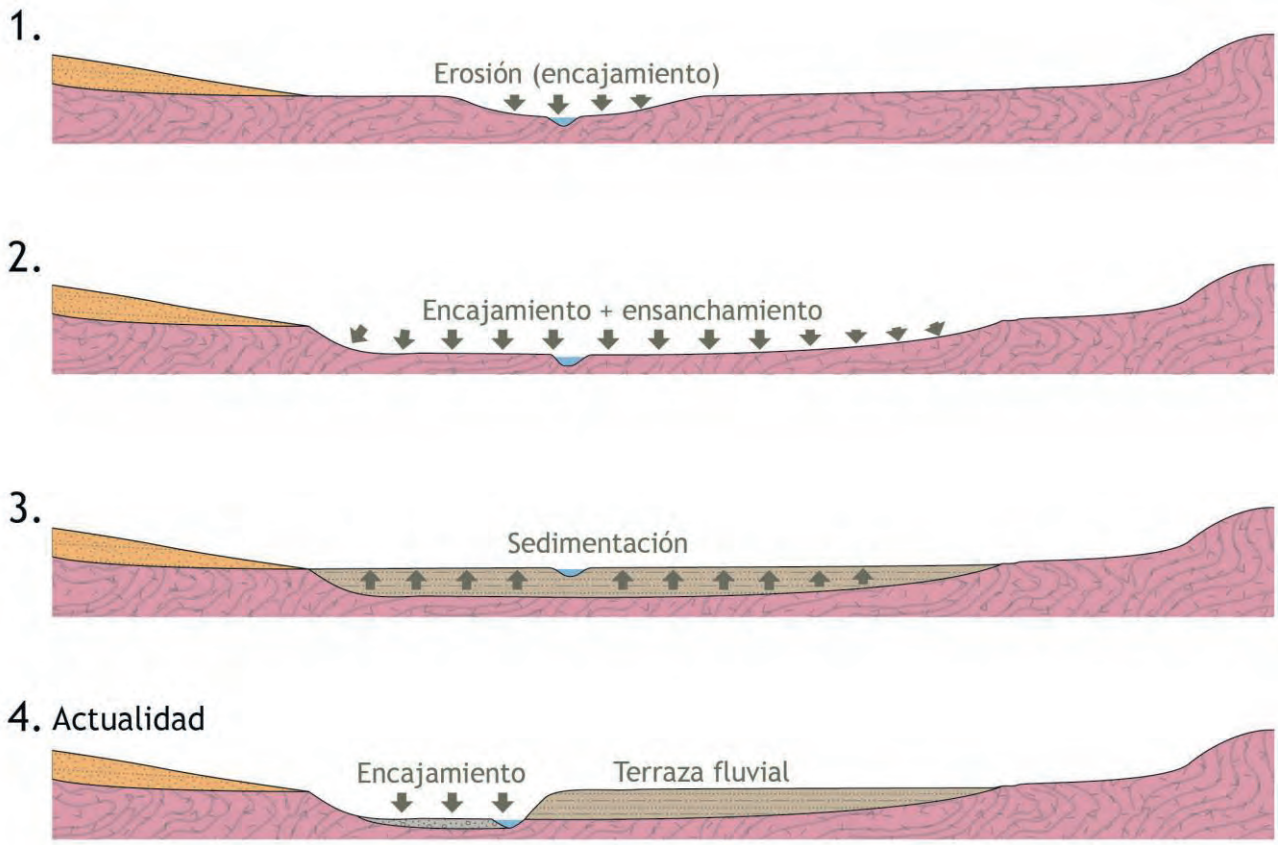


Figura 9. Esquema simplificado sobre la formación de terrazas fluviales.



Foto 8. Panorámica de la terraza fluvial del río Vinalopó.

principal y cauces secundarios como en su llanura de inundación. Sin embargo, cuando ha dominado la erosión, el río se ha encajado erosionando las rocas del sustrato y también sus propios sedimentos. En ocasiones, estos antiguos sedimentos fluviales se preservan formando terrazas fluviales, que reciben este nombre porque tienen techos planos y se encuentran a diferentes alturas formando escalones en el relieve (Fig. 9).

Unos pocos centenares de metros al sur del Clot Roig, se observa un magnífico ejemplo de terraza fluvial, con más de una decena de espesor de antiguos sedimentos del río Vinalopó. Alternan sedimentos finos característicos de llanuras de inundación con sedimentos de gravas de diferentes tamaños que corresponden a episodios más energéticos. Estas terrazas fluviales se pueden reconocer a lo largo de todo el valle del río Vinalopó (Foto 8).

Parada 9. La influencia de los manantiales salinos en el río Vinalopó

La descarga de los manantiales salinos del paraje natural Clots de la Sal i Serra de la Mola supone un importante aporte de sales a las aguas del río Vinalopó. La cuantificación conjunta de la descarga de ClNa de todos los manantiales se estima en más de 130.000 T/año, cuya mayor parte termina siendo incorporada al caudal del río. Esto se observa en la propia conductividad eléctrica del agua del río, que pasa de de 5 mS/cm (antes de llegar al paraje) a 29 mS/cm (después de salir del paraje).

Esta aportación salina supone un notable incremento de mineralización del agua del río que afecta a la calidad del agua, pudiendo inutilizarla para algunos usos (Fig.10). Sin embargo, esta aportación salina no se puede considerar estrictamente contaminación, ya

que no se trata de una alteración antrópica, sino de una modificación de la mineralización del agua con un origen natural.

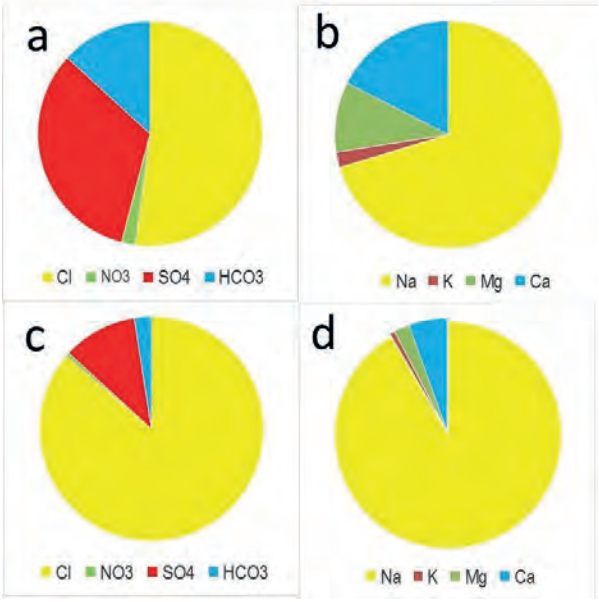


Figura 10: Variación de la composición del agua del río Vinalopó a su paso por el paraje natural Clots de la Sal i Serra de la Mola. A la entrada del paraje aniones (a) y cationes (b); A la salida del paraje aniones (c) y cationes (d).

PARA SABER MÁS

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.

Marquiegui, A. (2013). *El patrimonio hidráulico de la provincia de Alicante. Catálogo ilustrado de mil quinientas obras y actuaciones.* Tomo III. Diputación provincial de Alicante.

SOPA DE LETRAS

Localiza **9 palabras** relacionadas con el Hidrogeodía 2025

S	E	V	I	N	A	L	O	P	O	N	C	R	A	I
M	O	T	O	K	G	C	E	T	O	P	A	L	E	M
G	P	M	D	A	L	H	C	T	E	N	D	O	R	A
B	N	U	S	X	F	S	D	O	R	I	A	T	E	C
M	I	N	S	I	R	A	I	U	Q	E	C	A	A	D
K	E	H	W	G	N	A	I	T	N	R	C	S	A	A
I	T	D	L	G	M	A	I	E	N	H	G	S	R	D
T	D	A	W	E	N	M	G	O	T	A	U	G	B	I
E	A	P	H	R	A	A	O	R	I	E	O	T	Y	L
R	D	N	R	O	B	N	A	C	O	C	I	T	M	A
R	I	E	U	A	S	A	H	M	I	O	E	C	P	C
A	N	O	I	V	A	N	E	S	N	D	R	F	L	A
Z	I	I	O	R	D	T	A	C	P	A	M	C	L	N
A	L	V	C	W	U	I	T	A	R	H	L	U	I	S
S	A	A	N	I	R	A	D	L	S	Z	H	G	N	M
E	S	Y	O	T	M	L	A	L	C	W	E	D	M	H
G	P	R	E	C	I	P	I	T	A	D	O	S	C	N

Respuestas

Acequia
Precipitados
Calidad
Salinidad
Manantial
Terrazas
Microorganismos
Triásico
Viñalopó

NOTAS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

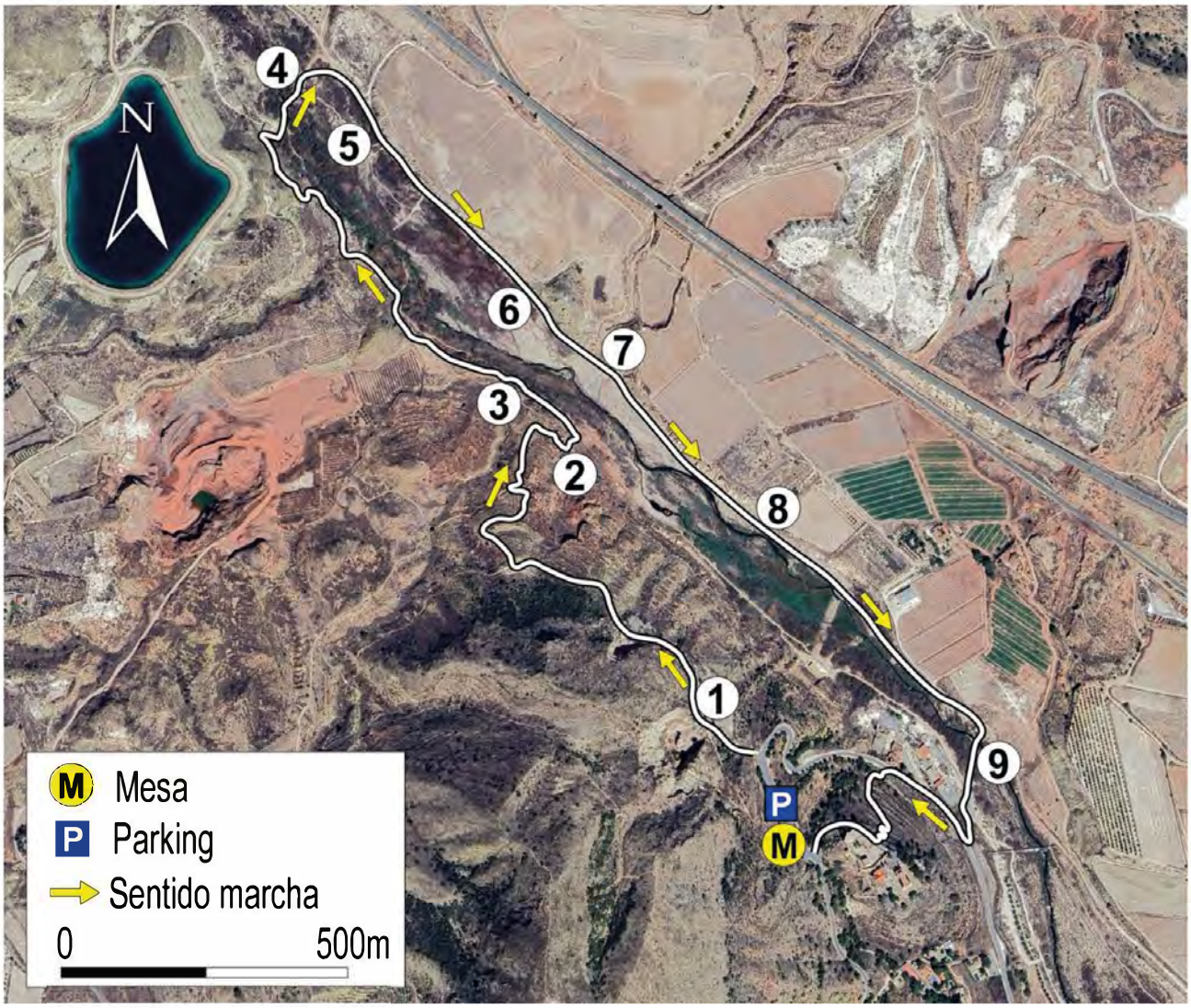
.....

¡Conoce más rutas por lugares de agua en la provincia de Alicante!
Visita: https://rutasazulesalicante.es o escanea el QR

Este año desde la AIH se está promoviendo esta iniciativa para fomentar el proyecto "Apadrina una roca", incentivando el apadrinamiento de LIGs de interés hidrogeológico. Podéis encontrar más información en la web:

https://www.aih-ge.org/apadrina-un-lig-hidrogeologico/





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

Ajuntament de Novelda
Regidoria de Medi Ambient

Clots de la Sal i serra de la Mola
PARATGE NATURAL MUNICIPAL

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

UA 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

METACIRCLE



Almería

HIDROGEODÍA 2025 ALMERÍA

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

cecoual
Centro de Colecciones Científicas de la Universidad de Almería

DIPUTACIÓN DE ALMERÍA

Junta de Andalucía

PABELLÓN DE HISTORIA NATURAL

PHN

Las Albuferas de Adra: un humedal prisionero

Sábado, 22 de marzo de 2025

Punto de encuentro:
Biblioteca Villaespesa

Hora de salida: 10 h
Hora de vuelta: 14 h

Transporte en bus y visita guiada por albuferas de Adra
https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/ **Contacto:** jgisbert@ual.es



Solo 55 plazas. Imprescindible reserva previa en: https://forms.gle/oDBSK2ajPGuL2ciD7

Foto: https://wastemagazine.es/

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

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 Almería, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en **las Albuferas de Adra**. Una albufera (lagoon en inglés) es una laguna costera de escasa profundidad, semicerrada, conectada con el océano y protegida por algún tipo de barrera generalmente arenosa (flecha), donde existe un aporte de agua dulce regular, cíclico o eventual. Albufera significa, según su origen árabe *al-buhayra*, el marecito o el pequeño mar.

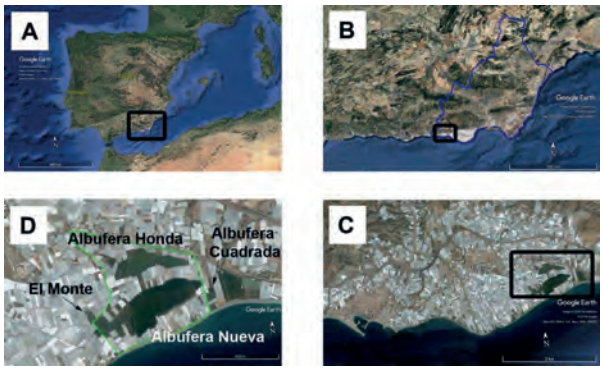


Figura 1: Localización geográficas de las albuferas de Adra, en la margen izquierda del delta del río Adra, al suroeste de la provincia de Almería. A: península ibérica; B: provincia de Almería; C: delta del río Adra; D: albuferas.

Las albuferas están constituidas por tres lagunas: Honda, más alejada de la costa, Nueva, más cercana, y Cuadrada, en una posición intermedia. Las dos primeras lagunas constituyen una reserva natural, la tercera queda fuera de la zona de protección.

Desde el punto de vista de la Directiva Marco de Aguas pertenecen a la Masa de Agua ES060MSPF0634500 que, además, es Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), Zona Especial de Conservación (ZEC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA, código ES6110001) y Sitio Ramsar.

La superficie total de las lagunas no supera las 45 hectáreas y, aunque se trata de humedales permanentes, su profundidad máxima es de unos 4 metros en laguna Nueva y unos cerca de 3 metros en laguna Honda. Ninguna laguna tiene conexión directa con el mar, y sólo la albufera Honda recibe muy ocasionalmente aportes de aguas superficiales a través de dos pequeñas ramblas por encima de ella.

CÓMO LLEGAR

El sábado 22 de marzo de 2025 partiremos en autobús que tendrá su salida a las 10 horas desde la puerta de la Biblioteca Villaespesa de Almería, y que nos llevará hasta las albuferas al punto indicado a continuación: https://maps.app.goo.gl/Ku2obVxdUQymd2fY7 . Las personas que quieran ir en vehículo propio pueden dirigirse directamente a ese punto, donde llegaremos a las 11 horas aproximadamente.

QUÉ VEREMOS

Una vez llegados al punto de encuentro se realizará un recorrido de campo a pie alrededor de las lagunas hasta llegar a la costa, donde podremos acceder a la laguna Nueva bien por su sector oriental o por la zona de anillamiento en su borde occidental.

Los principales elementos que comentaremos en las paradas que se realizarán en el recorrido serán:

- **Características del acuífero** del delta del río Adra.
- **Origen** de las albuferas.
- **Dependencia de las aguas subterráneas**: Relación con el acuífero del delta del Adra.
- **Calidad de las aguas** de cada laguna y evolución temporal.
- Algunos aspectos **ecológicos y biodiversidad** asociada.
- **Problemática** hidrológica de la masa de agua.





Figura 11: Arriba, línea blanca, límite de la Reserva Natural, línea roja, zona de amortiguación. Abajo, situación real de las lagunas, "prisioneras" por la presión de las actividades agrícolas.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

Una definición clásica de Hidrogeología podría ser la dada por Castany y Margat (1977):

"**Hidrogeología** es la ciencia de las aguas subterráneas comprendida en las ciencias de la Tierra que persigue el conocimiento de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y de las leyes físicas que rigen el origen, la presencia, los movimientos y las propiedades de las aguas subterráneas. Se ocupa también de las aplicaciones de estos conocimientos a las acciones humanas sobre las aguas subterráneas, sobre todo a su prospección, captación y protección".

En definitiva, se trata de la disciplina geológica que estudia las aguas subterráneas, las que se encuentran en el subsuelo contenidas en rocas capaces de almacenar y transmitir agua, es decir, **acuíferos**.

Los acuíferos se les denomina también embalses subterráneos y, más recientemente tras la Directiva Marco del Agua europea, masas de agua subterráneas (MAS).

Aunque esté oculta bajo la superficie de la Tierra, el agua subterránea constituye el 99% del agua dulce líquida de la Tierra y juega un papel importante en el ciclo del agua. Los ríos, lagos y humedales son manifestaciones superficiales de las aguas subterráneas, intercambiando el flujo con el depósito de agua subterránea que las alimenta cuando necesitan agua y tomando parte de su flujo cuando el agua de la superficie está presente en exceso.

Las aguas subterráneas también controlan muchas características de la superficie de la Tierra (vegetación, paisaje, ecosistemas, etc.).

ENTORNO GEOLÓGICO

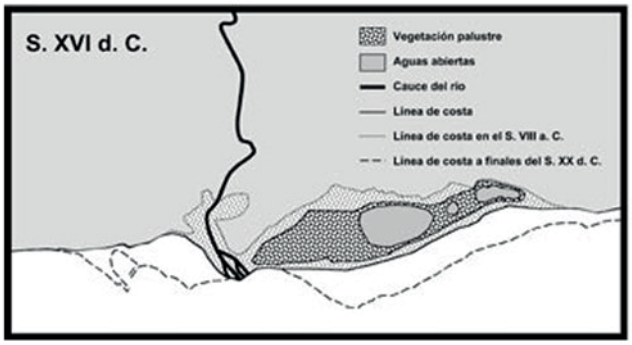
El delta del río Adra se encuentra en el extremo final de la cuenca río Adra. Dicha cuenca tiene su cabecera en las cumbres de Sierra Nevada, a menos de 40 km de distancia y más de 2300 m s.n.m., lo que supone un gradiente altitudinal muy elevado.

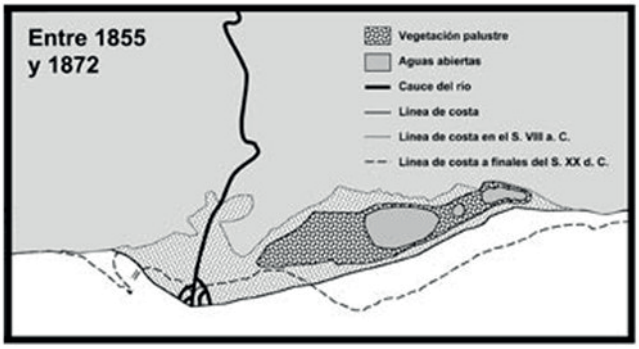
Esta gemorfología junto con un clima mediterráneo que en cumbres puede acumular nieve en invierno, convierte a la cuenca en extremadamente torrencial.

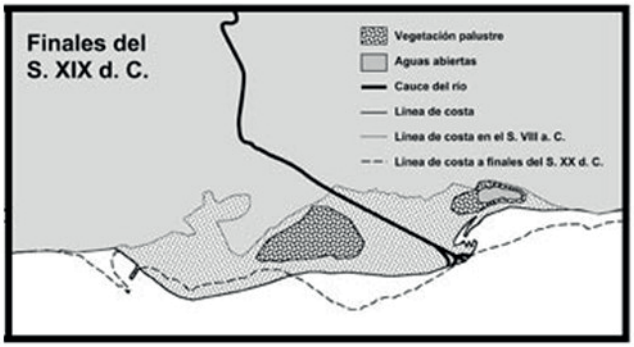
En la cuenca afloran materiales metamórficos (poco permeables) en cabecera, carbonatos alpujárrides en la cuenca media y baja (muy permeables), y materiales detríticos terciarios-cuaternarios a lo largo del río, delta y en las cuencas intramontañosas como la de Berja (permeables).

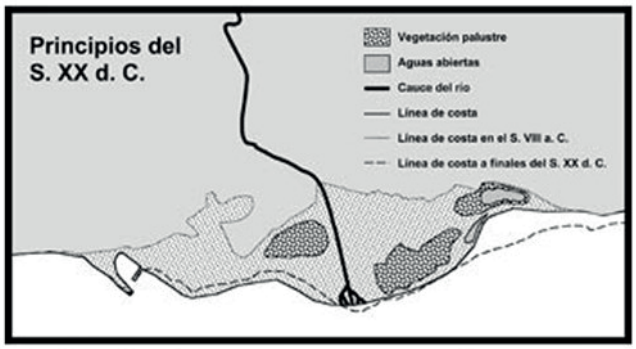
La formación y evolución geomorfológica del delta del río Adra y la aparición de las albuferas han estado condicionadas desde su formación hace varios miles de años hasta la actualidad por el régimen del río, la acción del mar y las actividades antrópicas (deforestación, minería, actividad agrícola, cambio del curso del río, construcción de un puerto en Adra, construcción de la presa de Benínar, entre otras). Se pueden distinguir varias fases de modo resumido:

- Una primera etapa de formación de un delta triangular asimétrico (delta antiguo u occidental) 4000 a.C. a 1872 con influencia antrópica.
- Etapa de construcción de un delta triangular (delta nuevo u oriental) (1872 a 1974) debido a sucesivos desvíos artificiales del cauce del río.
- Por último, una tercera etapa (1974 a la actualidad) de erosión generalizada tras la construcción de la presa de Benínar aguas arriba y puerto de Adra.









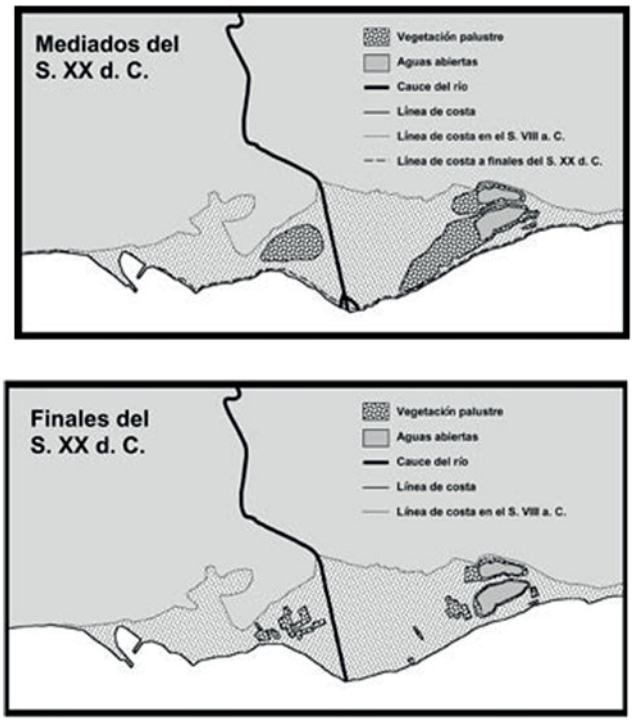


Figura III: Esquemas sucesivos de la evolución del delta del río Adra y las albuferas.

EL ACUÍFERO DEL DELTA Y SU FUNCIONAMIENTO

Las albuferas se encuentran situadas en la margen izquierda del delta del río Adra. Este delta constituye un acuífero detrítico de tipo costero.

Sus límites laterales en los bordes son impermeables y están constituidos por los materiales metamórficos alpujárrides (filitas y esquistos), al sur el límite es permeable con el mar, y el sustrato en profundidad lo constituyen los mismos materiales metamórficos de borde.

El espesor de este acuífero en general libre puede llegar a unos 150 metros y en profundidad los detríticos aluviales cuaternarios y pliocenos (limos, gravas, areniscas) dan paso a calcarenitas y calizas arrecifales miocenas.

Las áreas de recarga del acuífero son fundamentalmente dos: los escasos contactos con rocas permeables en los bordes, y sobre todo el agua circulante por el río (río perdedor). En general el flujo subterráneo sale del río y de las áreas de borde y se dirige hacia el mar. Existen zonas de menor permeabilidad en la margen izquierda del delta, mientras que en la derecha las isopiezas dibujan la presencia de una zona de alta permeabilidad asociada, tal y como se comprueba en la foto II, con la posición del río a finales del siglo XIX.

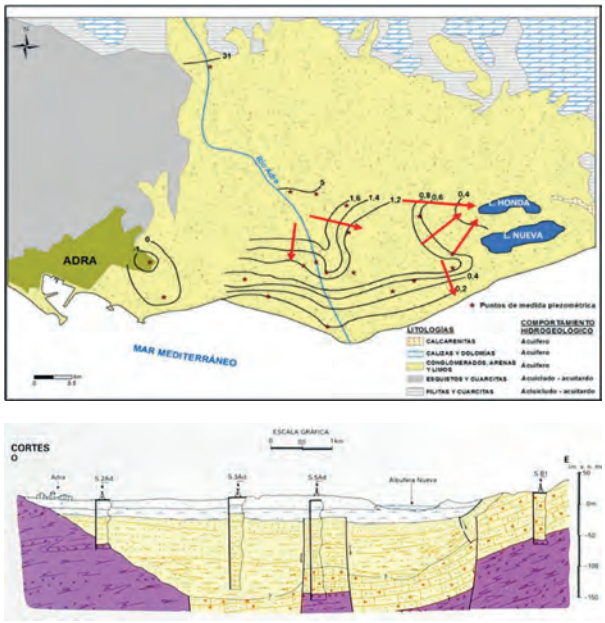


Figura IV: Cartografía hidrogeológica (arriba) y corte E-O (abajo) del acuífero del delta del río Adra. Materiales morados son metamórficos de sustrato, el relleno detrítico que constituye el acuífero aparece en amarillo.

Asimismo, se puede comprobar la relación entre el acuífero y las albuferas, en el sentido de que éste las alimenta, principalmente por el sector de cabecera de las lagunas (Honda) (ver figura IV), mientras que la laguna Nueva debe estar más influenciada por la presencia del mar cercano. La laguna Cuadrada está entre las anteriores, con lo cual debe compartir influencia de ambas procedencias, acuífero y mar. Esta situación es la causante de que las albuferas sean un humedal permanente con pocas variaciones en el nivel de las lagunas, y que sobre todo en Honda estemos presenciando el nivel freático.

TIPOS DE AGUAS Y PROCEDENCIA

A continuación, presentaremos las facies hidroquímicas del agua del acuífero (sondeo) y de las lagunas donde aparecen la contribución de los iones disueltos más relevantes a las aguas en relación porcentual entre ellos (Diagramas de Piper). De estos gráficos podemos obtener una aproximación al origen de las aguas, así como su evolución temporal.

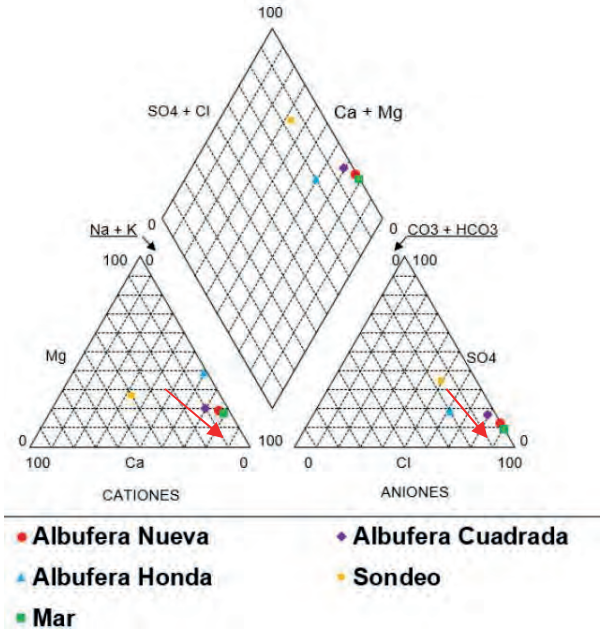


Figura V: Diagrama de Piper con las facies hidroquímicas del agua en 2024. Las flechas rojas representan la evolución espacial de estas facies.

Tanto en los cationes como en los aniones existe una evolución espacial desde las aguas del acuífero (sulfatadas) a las del mar, con un gradiente de salinización progresivo que pasa por laguna Honda, Cuadrada y finalmente Nueva, ésta última con valores en la actualidad semejantes a los del agua del mar.

En relación a la evolución temporal, la conductividad eléctrica del agua de las lagunas ha sufrido en los últimos años una patente salinización en el caso de la laguna Nueva, y comienzan síntomas en laguna Honda. La procedencia de la salinidad deriva de la intrusión marina, tal y como se muestra en la gráfica de la figura VI.

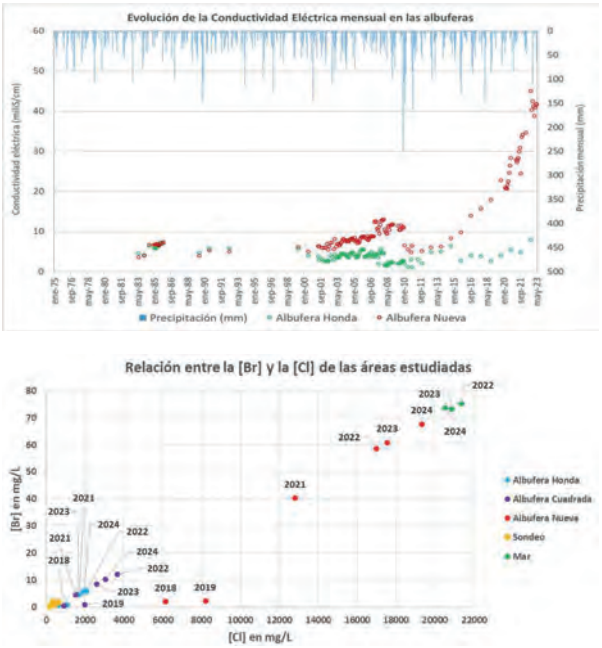


Figura VI: Evolución temporal de las precipitaciones y de la CE en las lagunas (arriba). Relación entre la concentración de cloruros y bromuros en las distintas lagunas, acuífero y mar, por años.

AGUA Y SOCIEDAD

Esta zona ha sufrido grandes transformaciones en los último 70 años, con una expansión de los regadíos agrícolas bajo plástico muy relevante, que ha supuesto cambios en los usos del suelo (figura VII).

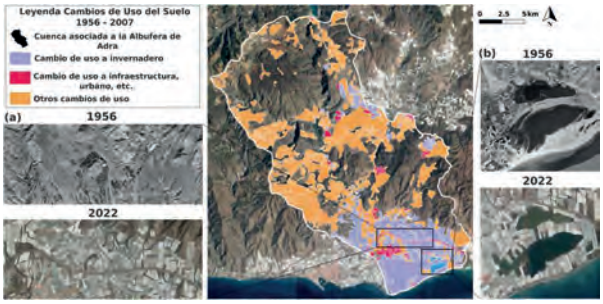


Figura VII: Cambios de uso del suelo durante el período 1956-2007 en la cuenca hidrográfica de la Albufera de Adra. (a) Transformación masiva de matorral y cultivo extensivo (1956) hacia horticultura de invernadero (2022) al noroeste de la Albufera. (b) Albufera Honda (norte) y Albufera Nueva (sur) libres de invernaderos en 1956 y completamente rodeadas 50 años después.

Por otro lado, la dependencia de las aguas subterráneas para este desarrollo agrícola ha sido fundamental, dado que el embalse de Benínar aguas arriba de esta cuenca no llegó a suministrar nunca agua a esta zona por diversos problemas de construcción. El sector donde actualmente se capta el agua es en la zona apical del delta a través de galerías en el propio lecho del río o bien a través de sondeos. Los sondeos en el sector bajo del delta se suelen usar en épocas de estío o bajo caudal del río.

Existe, por tanto, una infraestructura abundante de acequias, canales, balsas, y depósitos de cabecera que cubren todo el delta y dan servicio a las necesidades de regadío aglutinadas en la Comunidad de Regantes del canal de San Fernando y del río Adra.

CONCLUSIONES RELATIVAS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los humedales dependientes de aguas subterráneas suponen masas de agua permanentes que albergan ecosistemas ricos y biodiversos que cumplen además otros servicios socio-ecosistémicos útiles para la sociedad, entre otros:

- Conservación de la biodiversidad.
- Regulación y protección hidrológica y climática.
- Almacenamiento de Carbono.
- Sumideros de nitratos.

El humedal de las albuferas de Adra fue declarado Reserva Natural mediante la Ley 2/1989, de 18 de julio, por la que se aprueba el Inventario de los Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen normas adicionales para su protección (BOJA núm. 60, de 27/07/1989), no obstante, desde entonces y desde el punto de vista hidrológico se puede concluir:

- La cuenca hidrográfica de la Albufera de Adra ha experimentado desde el año 1956 una transformación masiva de sus ecosistemas naturales (~50% de su superficie), mayoritariamente por agricultura de invernaderos, que en la actualidad encorsetan a las lagunas.
- El nivel del agua (profundidad) de Laguna Honda parece estar disminuyendo por falta de recarga del acuífero (exceso de extracciones y escasa recarga del río), y ninguna entrada superficial en los últimos años.
- La Laguna Nueva muestra un aumento exponencial de salinidad debido a la intrusión de agua de mar, que puede estar contribuyendo asimismo al inicio de un incremento de salinidad en la Laguna Honda.
- Se ha detectado una disminución de la calidad del agua y aumento del estado trófico (hipereutrofia) en las Albuferas, especialmente en Laguna Honda, debido al aumento de las cargas externa e interna de nutrientes (i.e. fósforo). Revertir esta degradación pasa por reducir las entradas de nutrientes, i.e. por las ramblas que descargan en la laguna Honda, y atenuar la liberación de P desde los sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Delegación territorial de la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía por el permiso para realizar la visita.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA ALMERÍA 2025

- *Juan M. Gisbert Gallego. Profesor titular del Departamento de Biología y Geología de la Universidad de Almería y director del CECOUAL-PHN.*
- *Fernando Sola. Profesor titular del Departamento de Biología y Geología de la Universidad de Almería.*

PARA SABER MÁS

https://www.ual.es/universidad/departamentos/biologiaygeologia

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA ALMERÍA 2025

Los números corresponden con las paradas potenciales en orden secuencial según el recorrido a realizar. Tras la última parada (6) se volverá por el mismo camino carretero de la ida hacia el punto de encuentro para tomar el autobús de vuelta a Almería capital.



PARADAS

1. Al otro lado de la carretera del punto de encuentro: panorámica de las lagunas.
2. Laguna Honda.
3. Casa de observación de Laguna Nueva (opcional según obras de remodelación).
4. Laguna Cuadrada.
5. Instalación de anillamiento de aves en el borde occidental de Laguna Nueva.



Asturias

EPM ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

Universidad de Oviedo Geología

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC | IGME

HIDROGEODÍA 2025

iah aih Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

iah aih

APADRINA UNA ROCA

CSIC | IGME 175

22 de marzo de 2025

Los Garrafes (Quirós): Un manantial kárstico en todo su esplendor



Cordal de Los Huertos del Diablo

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

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA
e-mail de contacto: m.melendez@igme.es

Información detallada y folleto de la excursión en:
https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/

EXCURSIÓN GUIADA Y GRATUITA:
- máximo 22 plazas

Se RECOMIENDA llevar:
- Ropa y calzado de senderismo
- Agua y comida

HIDROGEODÍA 2025

Organizan:

EPM ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

Universidad de Oviedo Geología

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC | IGME

iah aih Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español

COLABORA

¿QUIERES COLABORAR?

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

Los Garrafes (Quirós): Un manantial kárstico en todo su esplendor



Cordal de Los Huertos del Diablo

González Fernández, B.; Meléndez Asensio, M.; Jiménez Sánchez, M.; Mª de los Ángeles Fernández González; Nerea Díez Vázquez (2025). *Los Garrafes (Quirós): Un manantial kárstico en todo su esplendor*. Guía de Hidrogeodía 2025 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, 14 pp.

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología que se realiza con motivo del Día Mundial del Agua (día que se celebra el 22 de marzo y este año lleva por lema "Salvemos Nuestros Glaciares"). 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**, y guiadas por profesionales 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),

Este año, en Asturias, volveremos al concejo de Quirós a celebrar el **Hidrogeodía 2025**, trasladándonos unos 5 km al oeste de la zona que visitamos el año pasado (manantiales de Cortes y Fuentescalientes) para recorrer el entorno de Los Garrafes, manantiales de origen kárstico y funcionamiento intermitente. Este comportamiento discontinuo hace que en cuestión de días puedan pasar de estar secos a manar varios cientos de litros por segundo, como respuesta a la recarga producida por eventos de lluvias intensas o de deshielo. Tal como relata la prensa local (B. Álvarez en *La Voz del Trubia*, 22 de abril de 2019) en las épocas de mayor caudal *el resultado es un espectáculo que combina agua cristalina, ruido estruendoso y un paisaje, normalmente seco, anegado de pronto, y que se convierte en una especie de laguna alimentada de pequeños torrentes y cataratas, entre abundantes corrientes que avanzan con fuerza al encuentro de su cauce natural. El carácter efímero de estos manantiales hace que se celebren y pronto corra la voz de que han "brotado" para que los quirosanos y visitantes se acerquen a poder vivir y disfrutar del privilegio de ver el caudal de agua entre el hayedo.*

Los Garrafes se localizan al pie del Cordal de Los Huertos del Diablo (Figura 1), una serie de cumbres que constituyen la prolongación hacia el norte del macizo de Ubiña. Los picos más representativos de este cordal son de sur a norte, el Ranchón (2152 ms.n.m.), el Huerto del Diablo Sur (2133 ms.n.m.) y el Huerto del Diablo Norte (2105 ms.n.m.).



Figura 1: Vista del Cordal de los Huertos del Diablo, en cuya base del extremo norte se ubican Los Garrafes.

ITINERARIO

El punto de partida del autobús está ubicado frente al Edificio Administrativo de Servicios Múltiples del Principado de Asturias (c/ 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-3 que nos llevará hasta Ricau/Ricabo. En este el pueblo se continúa por una carretera que pasando por el núcleo rural de Bueida enlaza con la pista que sube hasta Trobaniello. Tras recorrer unos 2 km se alcanza una pronunciada curva a la derecha en donde se aparcará el autobús y desde ahí caminaremos por una senda que sale en dirección este (Figura 2).

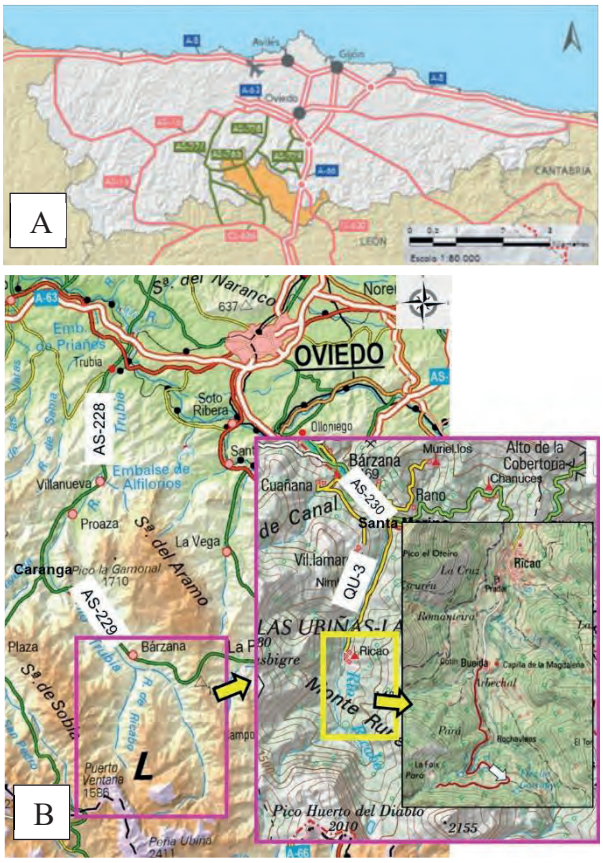


Figura 2: Situación geográfica de la zona. A) Límites del Parque Natural de Las Ubiñas – La Mesa (en color naranja). B) Detalle del itinerario hasta el punto de inicio de la ruta (flecha blanca).

¿QUÉ VEREMOS?

La ruta programada tiene una longitud de unos 5 km (ida y vuelta) y un desnivel de poco más de 400 m. En el recorrido haremos las tres paradas que se detallan a continuación:

1. Manantiales de Los Garrafes. Son puntos de descarga, hacia el norte, de la caliza carbonífera de las formaciones Barcaliente y Valdeteja (Caliza de Montaña) que constituyen el cordal de los Huertos del Diablo. Al tratarse de manantiales intermitentes y dada la escasez de lluvia y nieve de este invierno cabe la posibilidad de que no estén manando agua o lo hagan con muy bajo caudal. En cualquier caso, se hará un pequeño recorrido por los diferentes puntos de surgencia, así como una explicación de las características geológicas y de su funcionamiento hidrogeológico.

Este paraje está incluido en el catálogo de Lugares de Interés Geológico (LIGs) y recientemente, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) declaró a Los Garrafes y su entorno como Reserva Natural Subterránea.

2. Manantial de La Fontona. Situado a unos 400 m al sureste de Los Garrafes, es un manantial permanente que representa el nivel freático base del acuífero.

3. Laguna de La Trelda. Es una **parada opcional** a la que se accede continuando por la misma pista a unos 2 km de La Fontona. Se trata de una laguna estacional alimentada por el mismo acuífero que descarga en Los Garrafes y en La Fontona.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Para entender el funcionamiento del agua subterránea en general y de un manantial concreto en particular, es preciso conocer el tipo de rocas por las que circula el agua y cuál es su estructura o disposición. Estos aspectos referidos al entorno de los Garrafes se describirán a continuación

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.

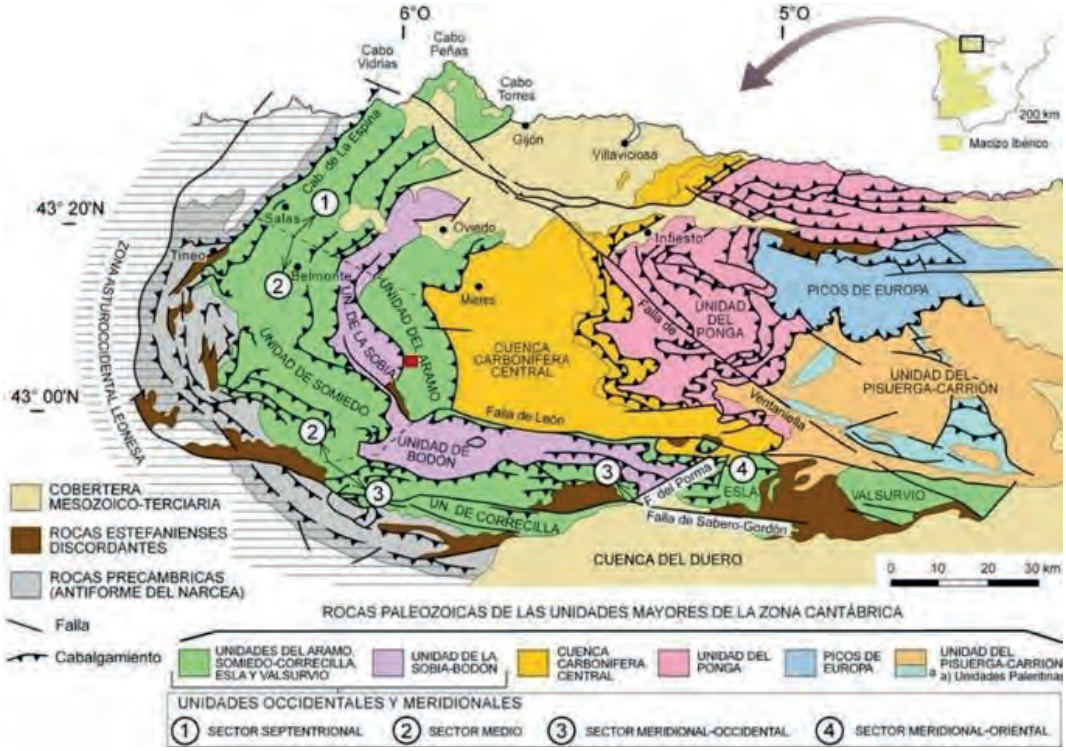


Figura 3: Unidades en que está dividida la Zona Cantábrica. El recuadro rojo muestra la situación de la zona visitada (Bastida, F. (coord.), 2004)

Estas rocas están dispuestas en estratos con fuertes inclinaciones, plegadas y fracturadas como consecuencia de dos acontecimientos geológicos de gran relevancia: las orogenias Hercínica 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.

El paisaje

El valle del río Ricabo/Ricáu, en cuya cuenca se ubica la zona de estudio, presenta, en su parte baja, 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. Sin embargo, en su cabecera, existen evidencias de modelado glaciar. A ello hay que unir la acción de los procesos de gravedad, que se superponen tanto a las evidencias de la actuación fluvial como de la acción glaciar, y dada la presencia de calizas, una importante acción kárstica, a la que se asocia el origen del significado hidrogeológico de las paradas de este Hidrogeodía 2025, pero que también tiene algunas manifestaciones superficiales.

Una de las características más relevantes del paisaje de la zona es la aparición de un relieve con grandes contrastes. Así, donde afloran las calizas de Barcaliente y Valdeteja (rocas muy resistentes, pese a ser solubles) las pendientes llegan a ser muy pronunciadas, con lo que, además, apenas hay vegetación sobre ellas. Sin embargo, en las áreas en que el sustrato geológico está compuesto por las lutitas y areniscas de la Formación San Emiliano (menos resistentes a la erosión) las pendientes son más bajas, se desarrollan suelos y existen bosques y zonas de pradería, siendo, además, el lugar preferente de asentamiento de los núcleos poblacionales de la zona. En la visita del Hidrogeodía, podremos observar un ejemplo que ilustra este contraste en la ladera localizada al sur del manantial de Los Garrafes (932m), que culmina en el Pico Campu Faya (1943 m). En su parte más elevada, afloran las calizas (rocas muy resistentes, aunque sean solubles), generando un relieve escarpado, con pendientes muy pronunciadas, que llegan a ser localmente casi verticales. Por debajo de los 980-1000 m de altitud, donde está el contacto entre las calizas y las rocas de la Formación San Emiliano, de menor resistencia a la erosión, las pendientes disminuyen, llegando a alcanzar valores de unos 20° o menos en las zonas más próximas al río.

El comportamiento diferencial de las rocas, unido a la actuación de distintos procesos a lo largo de la historia geológica más reciente de la zona, explica los rasgos del paisaje.

La acción de los ríos se concreta sobre todo en procesos de erosión fluvial, que se adaptan al comportamiento mecánico de las rocas, generando valles de laderas irregulares, con pendientes elevadas en la zona alta, donde afloran las calizas y más bajas, en las zonas de lutitas y areniscas, conforme se desciende hacia el río Ricáu.

A medida que el río y sus afluentes han ido erosionando el paisaje, se generan también procesos de gravedad, que más específicamente incluyen desprendimientos esporádicos de rocas a partir de los escarpes calcáreos, y otros fenómenos que en general se conoce como "argayos" y dan lugar al movimiento de parte de la ladera hacia el fondo del valle. Como consecuencia de estos fenómenos, las laderas de la zona están tapizadas de derrubios (materiales sueltos provenientes de la acción de la gravedad), en su mayoría cubiertos por vegetación.

En torno a los 900 m de altitud, coincidiendo aproximadamente con la cota a la que aflora La Fontona, el fondo del valle de la cabecera del río Ricabo aparece cubierto por depósitos glaciares, que forman crestas longitudinales más o menos oblicuas al curso fluvial. Esto es relevante, ya que así se explica la mayor anchura e irregularidad del fondo del valle a medida que se va ascendiendo, y también explica algo fundamental: la morfología de la Laguna La Treida (1368 m). La laguna está flanqueada por estos depósitos glaciares, que en el paisaje aparecen como pequeñas sierras, conocidas como "morrenas", que actúan como diques de contención explicando en parte el represamiento del agua (Figura 5).

A todo lo anterior es preciso añadir la geomorfología kárstica: existe una importante red de conductos subterráneos en la zona a través de los que circula el agua de los manantiales, surgencias y la que aflora en la laguna. Todo ello se detalla más adelante.

Además, es posible reseñar manifestaciones del exokarst, incluyendo lapiaces (micromodelado kárstico) y distintas depresiones asimilables no sólo a dolinas, las formas más típicas del modelado kárstico, sino también a la acción glaciar, como sucede con las depresiones de la vertiente occidental de los Huertos del Diablo y la Vega de Socellares (incluidas dentro de la zona de demarcación de la Reserva Subterránea de Los Garrafes) (Figura 6).



Figura 6: Aspecto del exokarst en las cumbres que se alzan sobre Los Garrafes

En conclusión, las calizas, los principales acuíferos, generan crestones y escarpes, encontrándose karstificadas tanto en superficie como en profundidad. Las lutitas y areniscas, menos permeables, dan lugar a pendientes más suaves. Todas ellas se encuentran en mayor o menor medida cubiertas por depósitos predominantemente glaciares y de gravedad. Por tanto, las características geomorfológicas del paisaje están muy relacionadas con la hidrogeología de la zona, como se verá a continuación.



Figura 5: Vista de la Laguna de La Trelda en la que se aprecia una morrena, a la izquierda de la imagen.

HIDROGEOLOGÍA

Introducción a la hidrogeología. Características hidrogeológicas de las rocas

Las aguas subterráneas representan la reserva de agua dulce aprovechable más importante de la Tierra, se almacenan en rocas porosas y permeables denominadas acuíferos.

La cantidad de agua que puede almacenar una roca o sedimento depende de su **porosidad,** que se define como el porcentaje total de huecos que tiene una roca o sedimento. Hay dos tipos de porosidad: primaria y secundaria. La porosidad primaria *(Figura 7.A)* se corresponde con espacios que quedan entre los granos. La porosidad secundaria se forma por distintos procesos y puede ser: a) por fracturación o fisuración *(Figura 7.B)*, normalmente debida a esfuerzos tectónicos; b) por disolución o karstificación *(Figura 7.C)*, tiene lugar en rocas solubles como calizas, dolomias y yesos.

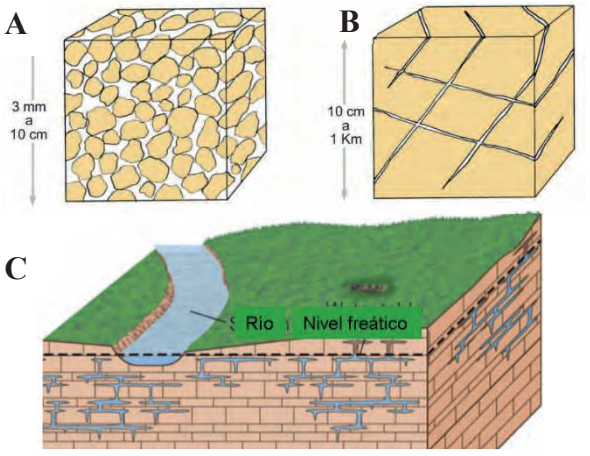


Figura 7. A) Porosidad intergranular; B) Porosidad por fisuración; C) Porosidad por disolución/karstificación

Para que el agua pueda circular a través de la roca, los huecos deben estar conectados entre sí. La propiedad que define la capacidad para transmitir el agua se denomina **permeabilidad**. De esta forma, se pueden considerar a las rocas como permeables, si permiten el paso de un fluido (arenas, gravas, calizas karstificadas, etc), o impermeables, si no permiten el paso de un fluido (granito, pizarra, etc).

Combinando estos dos factores: la capacidad de almacenar agua (porosidad) y la capacidad de transmitir el agua (permeabilidad), podemos clasificar a las formaciones geológicas en: 1) **acuíferos**, con alta capacidad de almacenar y transmitir el agua, 2) **acuitardos**, pueden almacenar agua, pero la transmiten muy lentamente, 3) **acuicludos** tienen capacidad de almacenamiento de agua, pero no transmiten, y 4) **acuifugos**, ni almacenan ni transmiten el agua.

Hidrogeología en la zona de los Garrafes

Las rocas que constituyen el sustrato de esta zona se agrupan en varias formaciones (Figuras 8 y 9), de las cuales y desde el punto de vista hidrogeológico, son Barcaliente y Valdeteja (Caliza de Montaña) las de mayor interés ya que constituyen un acuífero kárstico de gran importancia en Asturias pues se extiende a lo largo de buena parte de su territorio.

La Formación San Emiliano, al estar integrada por una diversidad de litologías que a su vez tienen características hidrogeológicas muy diversas, presenta un comportamiento bastante heterogéneo. Así, las pizarras son materiales de muy baja permeabilidad (acuicludos) por lo que no aportan agua, las limolitas pueden proporcionar pequeños caudales (acuitardos), mientras que las capas de calizas y areniscas constituyen acuíferos,

aunque de poco espesor y baja capacidad de almacenamiento.

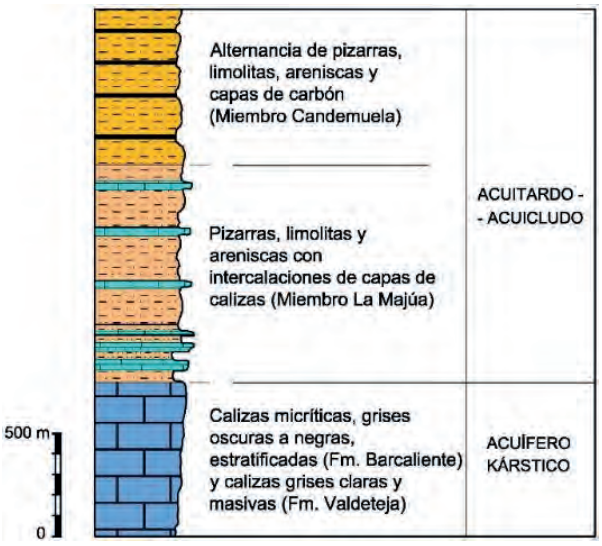


Figura 8. Columna hidroestratigráfica de la zona

Funcionamiento del acuífero y sus manantiales

En la zona donde se ubican Los Garrafes la Caliza de Montaña está parcialmente cubierta por derrubios de ladera (Figura 10) de tal manera que se puede hablar de dos acuíferos, el superficial, formado por los derrubios y el subterráneo que es el de la caliza. La principal fuente de recarga del acuífero es el agua de las precipitaciones que se infiltra por el "área de recarga", es decir aquella en la que las rocas que constituyen el acuífero afloran en superficie. La infiltración se produce con más facilidad por las diferentes formas kársticas (lapiaces, dolinas, uvalas y poljes) como por ejemplo la Vega de Soceyares.

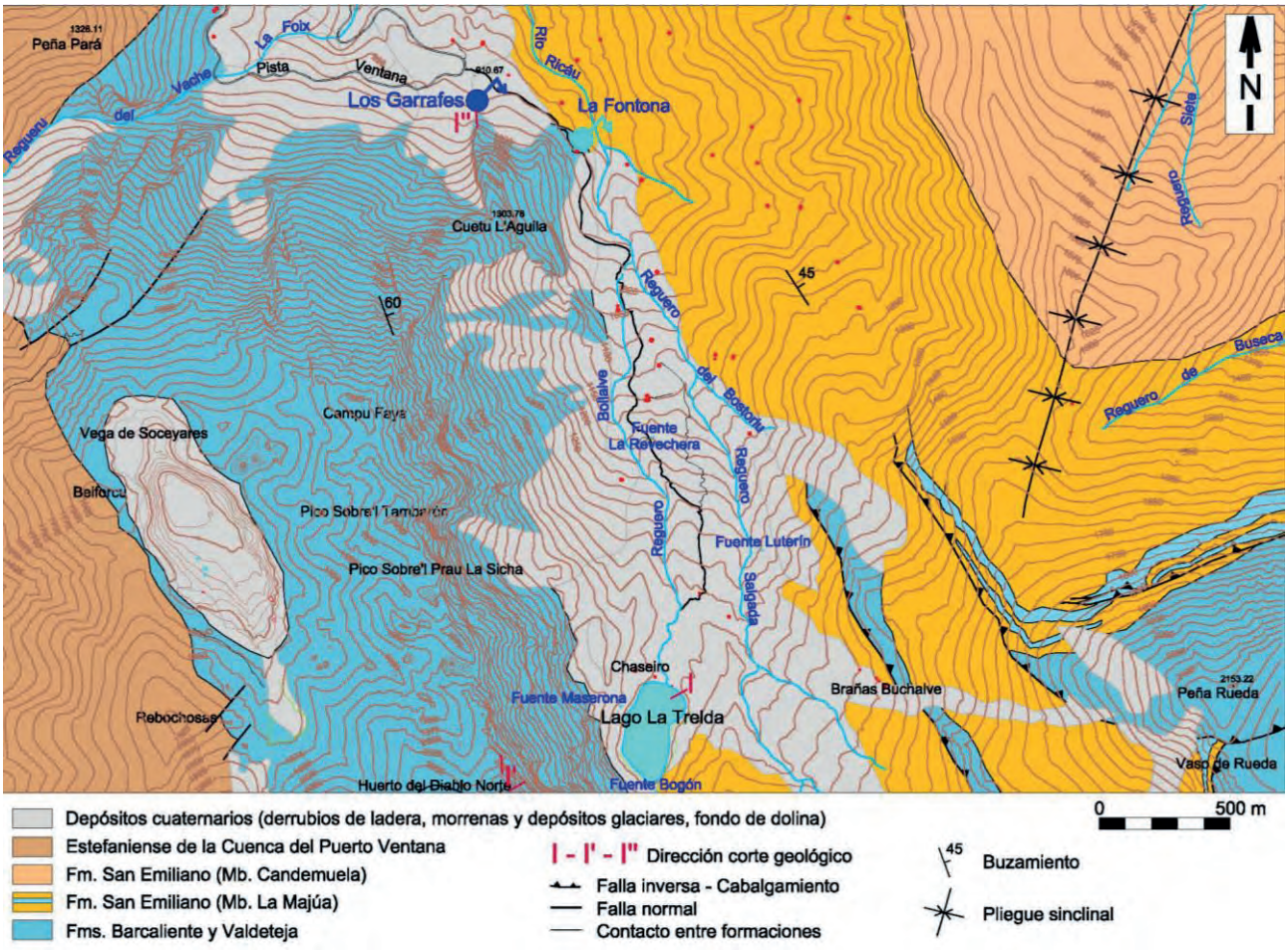


Figura 9: Mapa Geológico de la zona (modificado de https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geode.aspx).



Figura 10: Surgencias de Los Garrafes

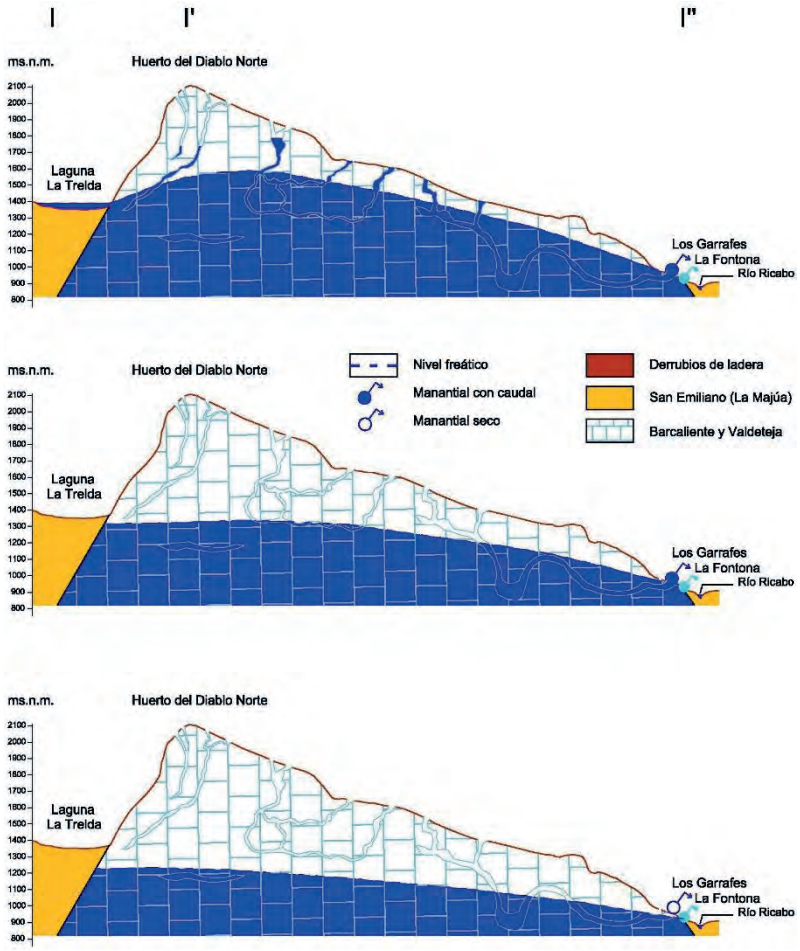
Desde el área de recarga el agua fluye en sentido descendente por la "zona no saturada" circulando a través de los poros, de las fracturas y de los circuitos preferentes que se han formado por la disolución de la roca (conductos, galerías, y otros huecos kársticos) hasta llegar a la "zona saturada", en la cual todos los poros, fracturas y cavidades kársticas están totalmente saturados de agua. El límite entre ambas zonas es el nivel freático. El flujo a través de los conductos kársticos es rápido, pudiendo llegar a ser turbulento, mientras que la circulación del agua por los pequeños poros de las rocas es muy lenta.

Este aspecto, junto con la estructura o disposición que presentan las rocas, condiciona el comportamiento de los manantiales o zonas de descarga de modo que ésta se produce con carácter permanente en los puntos de cota más baja del contacto entre las rocas permeables (acuífero) y las de baja permeabilidad. La descarga intermitente que caracteriza a Los Garrafes está relacionada con la red de conductos kársticos por la que circula el agua.

Las redes kársticas responden con rapidez a eventos de intensa precipitación o de deshielo, descargando caudales elevados, pero de la misma forma, cuando las lluvias cesan, el caudal disminuye progresivamente hasta dejar de manar (figuras 11 y 12)

Cuando el nivel freático está alto el agua que mana en Los Garrafes, parte del cual sale a través de las cavidades kársticas, satura el acuífero superficial y discurre sobre él formando dos arroyos que atraviesan, en dos puntos, el camino que sube a Las Infiestas (Figura 13).

Cuando el nivel freático está bajo, el agua circula por debajo de la superficie topográfica y solamente sale a una cota inferior a la del camino, en La Fontona, que es un manantial permanente, con caudal durante todo el año (Figura 14). Además de estas zonas de descarga puntual existe una zona en la que el agua subterránea sale a superficie de forma difusa alimentando a la Laguna la Trelda, situada a mayor cota que las anteriores surgencias y de carácter estacional (Figuras 9, y 11).

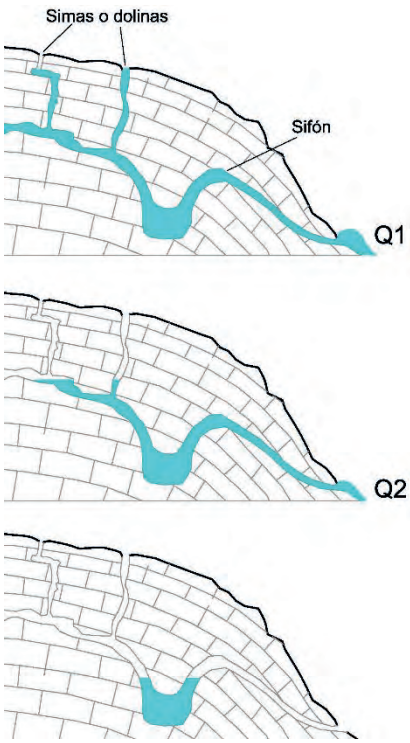


A) Los conductos kársticos están activos en cotas superiores al nivel freático. La descarga se produce por los Garrafes, La Fontona y la laguna la Trelda.

B) Los conductos kársticos situados por encima del nivel freático se han vaciado. El caudal disminuye y la descarga se produce por Los Garrafes, y La Fontona. La laguna está seca.

C) El nivel freático ha descendido por debajo de la cota de los Garrafes y estos no manan. La descarga solo se produce por La Fontona.

Figura 11: Corte hidrogeológico que explica el comportamiento del acuífero de Los Garrafes en distintos momentos.



Q2 < Q1

Figura 12: Esquema hidrogeológico que explica el funcionamiento de los manantiales intermitentes. (Modificado de Custodio y Llamas,1983)

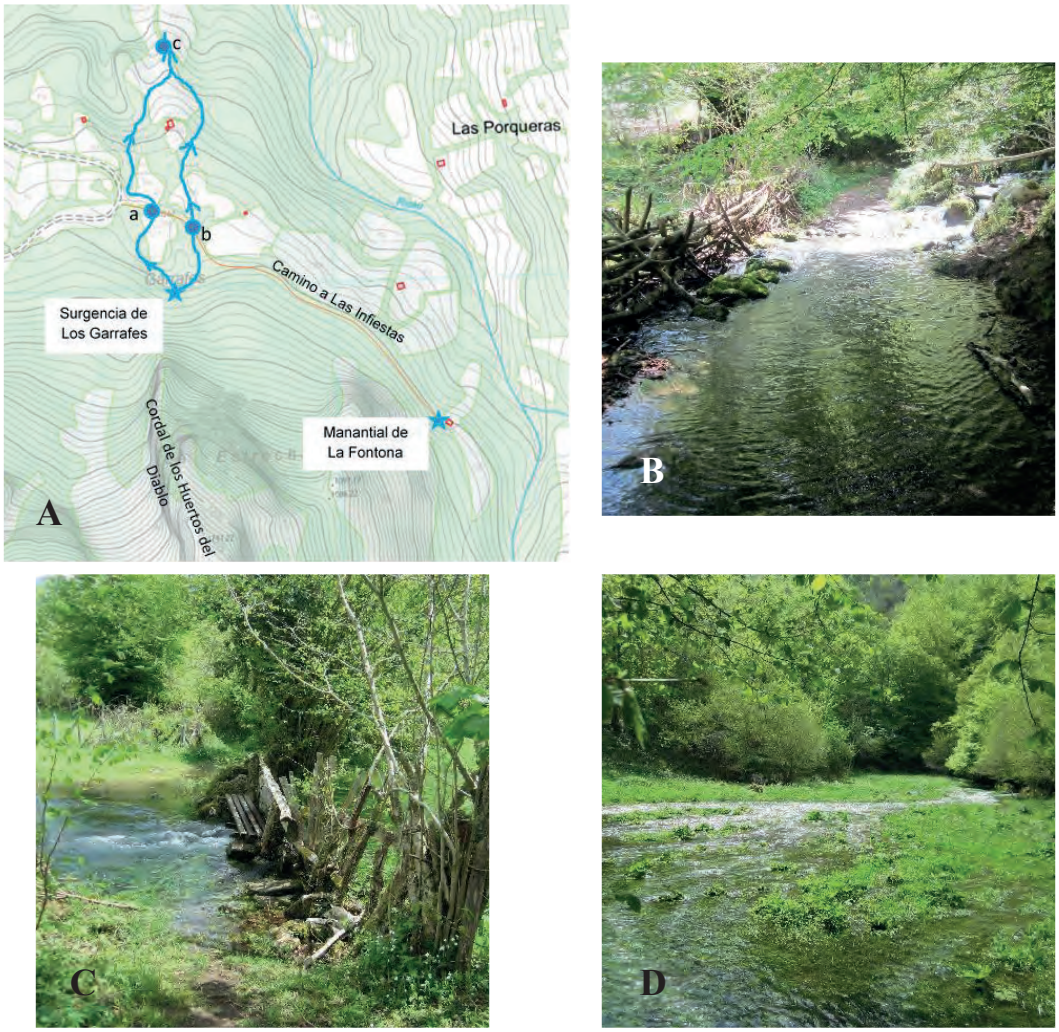


*Figura 13: A) Esquema en planta del recorrido del agua que mana de los Garrafes. Los puntos **a** y **b** se inundan cuando el nivel freático está alto. B, C y D) Detalle del camino y de un prado inudados.*

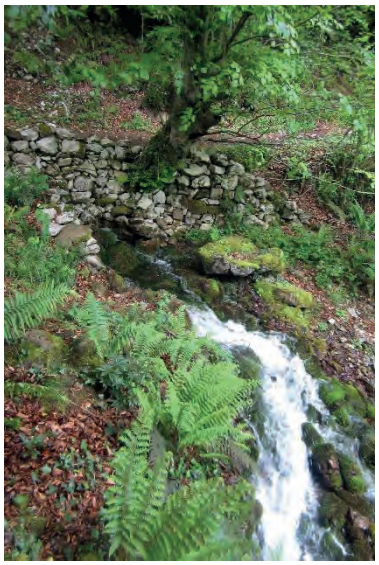


Figura 14: Manantial de La Fontona

La Reserva Natural Subterránea

Las Reservas Naturales Subterráneas (RNS) son acuíferos o masas de agua subterráneas seleccionadas por sus características de representatividad e hidrogeológicas, y en las que las presiones e impactos producidos como consecuencia de la actividad humana no han alterado el estado natural (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas.html).

Forman parte de otra figura más amplia, dentro del ámbito de protección del dominio público hidráulico, que son las Reservas Hidrológicas, definidas como "ríos, tramos de río, lagos, acuíferos, masas de agua o partes de masas de agua, declaradas como tales dadas sus especiales características o su importancia hidrológica para su conservación en estado natural".

Con motivo del proceso de revisión de los Planes hidrológicos para el tercer ciclo de planificación (2022-2027), se declararon por primera vez Reservas Naturales Subterráneas (RNS), un total de 22, en varias demarcaciones hidrográficas que abarcan una superficie de 1.077,11 km^2.

En la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental se declararon 4 RNS, el Manantial río Gándara, la Surgencia L'Aguañaz (Complejo Kárstico del Mazucu), el Manantial río Cabra y **Los Garrafes de Bueida** (Figura 15).

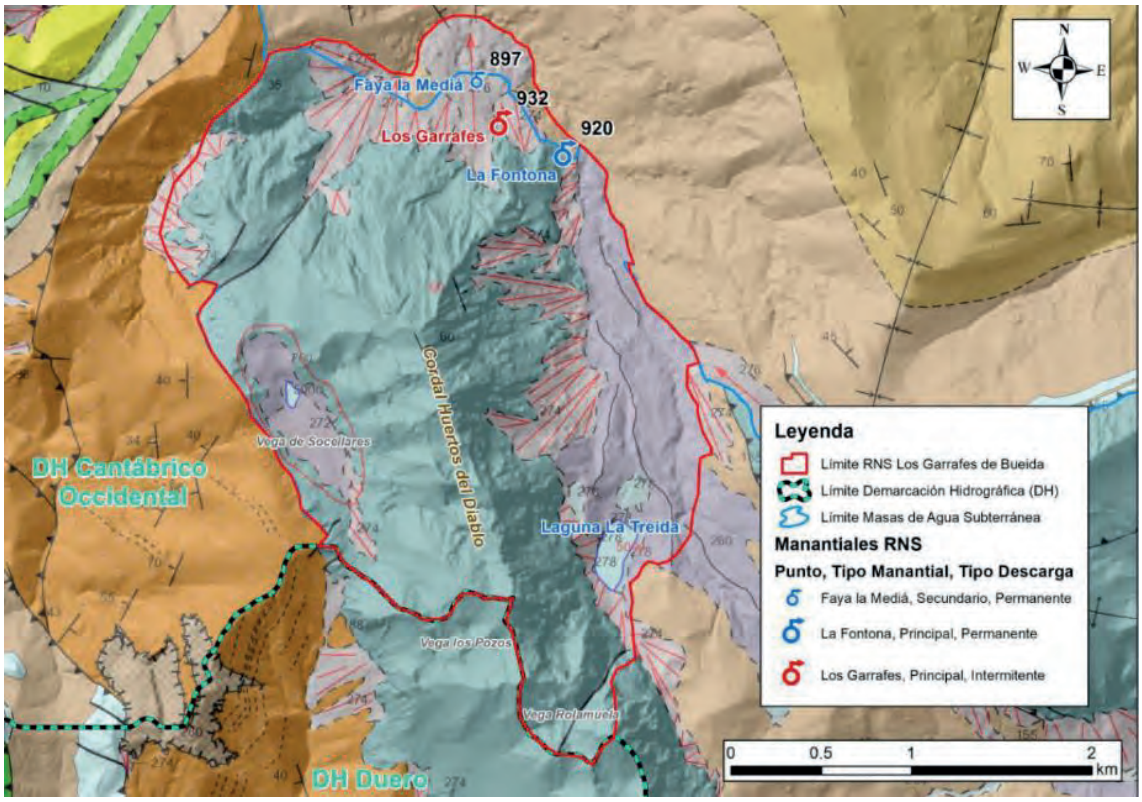


Figura 15: Mapa de la RNS de Los Garrafes de Bueida

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ASTURIAS

La ruta transcurre por el entorno del paraje de los Garrafes de Bueida 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 y se dispone de un autobús para los desplazamientos. Es necesaria una inscripción previa enviando un correo electrónico a m.melendez@igme.es antes del 21 de marzo de 2025.

Es muy recomendable llevar ropa y calzado de montaña (y también de repuesto) así como agua y comida. Quienes deseen realizar la ruta completa, hasta la laguna de Trelda, es conveniente que lleven bastones de monte, pues, aunque la ruta no tiene riesgo ni dificultad técnica hay pendientes pronunciadas.

MONITORAS DEL HIDROGEODÍA ASTURIAS 2025

NEREA DÍEZ VÁZQUEZ
Licenciada en Geología.

MARÍADE LOS ÁNGELES FERNÁNDEZ GONZÁLEZ
Doctora en Geología.
Catedrática de la Universidad de Oviedo.

BEATRIZ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ
Doctora en Geología. Hidrogeóloga.
Profesora 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

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

Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983).- *Hidrología Subterránea.* (2 tomos). Omega, 2350 pp.

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.

Martínez Alfaro, P.E., Martínez Santos, P. Castaño Castaño S. (2005): *Fundamentos de Hidrogeología*. Ed. Mundi Prensa. 284 pp.

https://info.igme.es/ielig/

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas/informacion/cantabrico_occidental.html

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/catalogo-nacional-de-reservas-hidrologicas.html



Barcelona

HIDROGEODÍA 2025

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

MÁSTER EN HIDROGEOLOGÍA Y MODELACIÓN
UNIVERSITAT DE BARCELONA
Facultat de Ciències de la Terra
CSIC
idaea

HIDROGEOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES URBANOS: LA NUEVA L8 DE BARCELONA

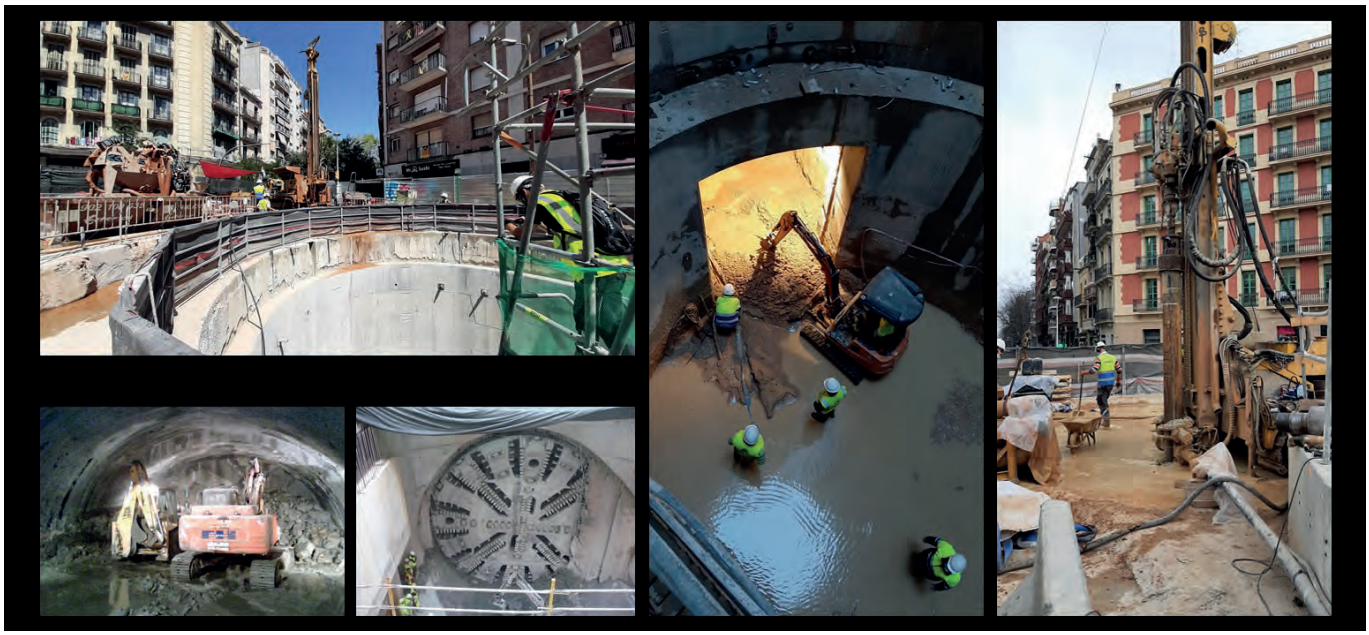
22 de Marzo de 2025

ÀÁCABĄÆÂÅĀÃĄ ÁBÂÉ

CĖĚĖBĈĀĐĘĜĐĈĀĊĚÉĀÍĀĖĈĈĖĈĚĢ

- ÅĖĈĢĈĀDĎÃĖĖĈÊĈ
- AĤĀBĖĐĎĖĖĦĀĚÉĚĎĖĖĐĎĀĎÉĖ
- AĤĀBĖĐĎĖĖĀĖĊĚĖĈĀÂÉĐĖĘĖĐĈĖ

ÂÅĄĀÀÁĀÁĂABÁĂÆÅĤĀ
ÎÌĤÌÌĀĐĦĀÆĈĈÇĚĀÎÎĀÇĐĀĀĈĖĜĚ
ÄĘĎĈĖĦĀ
ÅĈĖĈÇĈĀÇĐĀĀĐĖĖĚĀÇĐĀÅĖĦĖĀÓĖĈĢĀĈÆĐÇĐĀĜĀĀĐĖĖÉĈĦ
ÃÉĎĈĖĖĖĈĐĖÉĐĎĤ
È ĖĦĐĐĘĐĐÉĖĚĎĖĦĈÈĚÇĐĖĐĜĈĐĚI ĘĈĦĤĘĘ



AĂÄ ĂĄ ĀĢ

EUROGEOTECNICA

infraestructures.cat

Túnel Línia8 UTE

UTE DO L8

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

ÃÄÀĄÅÂÁÅÀĀĀCBCĆĀÆĀ ĄAÁĂÅÅĀ

ÁFĀËÐIĠÊÐĠÐĒĐĀĜĈĀĘIĜĈĐĈĐĒĐĒÏĨFÊĈDËHĠĐĀĈĀËÐIĠÊÐĠFĠĈĒĀĐĐĀĈĀHIĠÉÐÌÈHĠĐĀĦĒËÐIĠÊÐHFĠÊĠĠĈĠĠĠÍËĨĠĀĐĐĀĈĀ
DĐFĐÇIĈDËHĠĐĀĀĒĈĀÎĜÐËĈFĒĐĐFĀĒÎĈÃÑÔĐĐĀĜ ĈIĻĢŅĹĀĠĠĠDËĠĜĈĒĐĀHGIĀFĀÎĤĜĀÁÌĤĈĞĠĦĐĐĀĈĀÌĠDËĈDËHĠĜĀĐIĜĈDËĠĜĈFĀ
ĐĐĀÄËÐIĠÊÐHFĠÊĠÌĀÑĀÄNĀÁŅŁĀ

AĠĠĠĀĐĜĈĞĠÌĀĈĜÍĐIËĠIĐÌĹĒFĀĈÌÍĐIĀ ÄËÐIĠÊÐĠFĠÊĒĈĀ ĠĐĐFĈDËHĜĀNĀÀÁŅĹĀ ĘĜÍĠĀDĠĜĐFĀĜÌÍËÍÍĜĀĐĐĀÄËĈÊĜHÌÍËDĠĀ
GÇËÐĜÍĈFĀÍĀÁÌÍĐËĠÌĀĐĐFĀĒÎĈĀÑĀÀÁNAÆĀĀĀĻÑĀĈĀCĜËĨĐÌÌËÍĈÍĀĐĐĀĈIDĐFĠĜĈĹĀÇĘĠĀĈĀDĠĠIĐËĜĈDËHĜĐĀFĈĀÌĠDËĈDËHĜĀ
ĀĜÍĐIĜĈDËĠĜĈĐĐĀËÐIĠÊÐHFĠÊĠÌÑĀÍÍĤĜĀĈĜĠĤĀÄNĀÁŅĠĀĒĈĜĘĻĠĀĈĀĐĒDËHĜĀĈĀĈĀÄÀĀĻĻ·ÑĀĀĐĤĒĘĜĞĐĐĀĠĠÌĹĀ
ÌĐĀĐÎĐĜÍĈĀĐĠĜĀĈĐĠFĈÇĠIĈDËHĜĐĀĐĒĨĐÌĈÌĀËĜÌÍËÍÍĐËĠĜĐĀĐĠĤIĐÌĈÌĀIĐFĈDËĠĜĈĐĐĠĜĀĈĐĠĜÌÍÍĐDĐËHĜĐĀFĀĐĨĠĀÍĨĜĐFĐĐĀ
FĈĀĒĜĐĜĈĀĐĐĀĈĀĀĐĜĀ ĈIDĐFĠĜĈĀĒĐĒĠÌĀĐĠFĈÇĠIĈĐĠIĐĨĀĠĢĹĀĜÉÍĐÎÍÍĐÍĨĤĐÌŁDĈÍĹĀ BĨĜĐFĀĒĜËĈĜĐĀĹĀĈBÁĀĀĄĀÅÖĀĀ
ÁĨIĠÊÐĠÍĐDĜËDĈŁĀ

ÅĈĀĢIĠĈĐĈĐĐĀĐÌÍĐĀĈĜĠĀĐĀÍËÍĨFĈĻĀ**ĶÄĀÀĊÆĀĀÆÅÆĀĀĐĐĀĀÆĄĆĈĊĈĀAĀĀÆĀĄĀĀĈĊĄÅÅÁĆĈĀĈ ĄÆĆIJ ĀĀĀ ĄČÁÇĀ ÅÑĀĀÁĀ CAÁÅÆĄĶĀ** ÍĀĐĜĐÌĈĀĨÊĈÌĀĐĀĈÇĈĐĜĠĀĐĀĜĈIĻĠĀĐĐĀÓÓÕĈĐĜĀ ĈIDĐFĠĜĠĀĹĀ

ÅĠÌĀËÐIĠÊÐĠÐĒĈĦĀÍĐĜĐĐĠĀĐIDĈĀĈĜĠDËĐĐĈĐĀĈĜÍĠĀĈĀĒĈĐIĜĐĐĠĜĀĈĀĒĐIĜĐĠFĠÊĐĀĈĜ ĠĀĈĀĦĠĠÉĐÌËHĜĐĀFĒĐIĜĐĠĐĐ



Burgos

UNIVERSIDAD DE BURGOS | ubuverde

UNIVERSIDAD Sostenible y Saludable

CASTILLA Y LEÓN

RUTA:

Hidrogeodía 2025: manantiales en pinares y sabinares

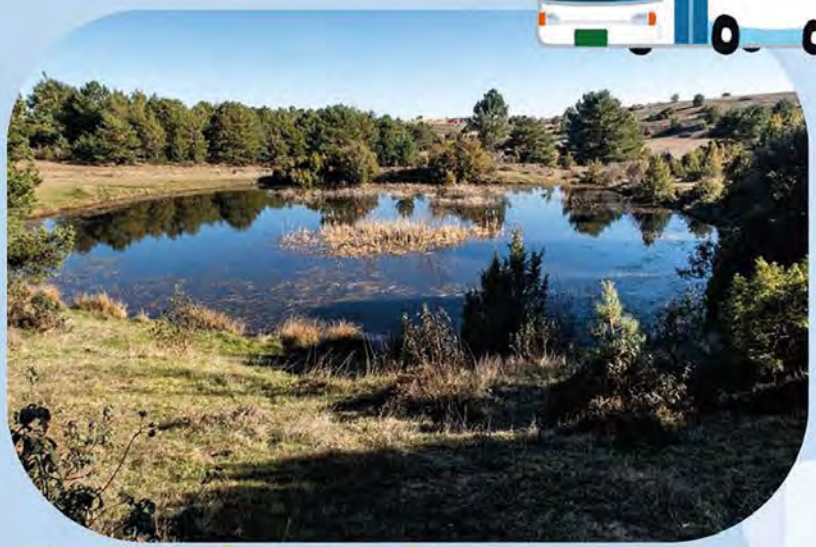
SÁBADO 22 MARZO 8:00H

BURGOS- SORIA

DESPLAZAMIENTO EN BUS



INFORMACIÓN INSCRIPCIÓN



COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME

UNIVERSIDAD DE BURGOS

Junta de Castilla y León

HIDROGEODÍA 2025

SBNCLIMA

INFORMACIÓN Y CONTACTO

673 18 06 49

ubuverde@ubu.es

www.ubu.es/ubuverde



Cáceres

agex
ASOCIACIÓN GEOLÓGICA Extremadura

HIDROGEODÍA
2025 PLASENCIA

iah aih



Acueducto de Plasencia y río Jerte

Recorrido por las proximidades del acueducto y Torre Lucía



Sábado 22 de marzo de 2025
Encuentro: Entrada Parque de los Pinos
Horario de 10:00 a 13:00 h.

Información:
www.aih-ge.org/hidrogeodia 2025
www.agex.org

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

iah aih

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

Ayuntamiento de Plasencia

AYUNTAMIENTO cáceres

ALDEALAB
CENTRO DEL CONOCIMIENTO DE CÁCERES



AUTORES: S. Martín Sánchez, E. Rebollada Casado, J. J. Tejado Ramos, A. Trinidad Núñez , F. Alfonso Cervel y R.M-S Sandín Mendo.

El hidrogeodía es una jornada para divulgar la geología de las aguas subterráneas: sus orígenes, propiedades, usos e interacciones con el medio natural, con los seres vivos y las actividades humanas. Se celebra en estas fechas porque el 22 de marzo es el Dia Mundial del Agua.

La jornada de hoy está promovida por el Grupo Español de la Asociación internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), con la colaboración de Organismos Públicos de investigación y Universidades. En esta jornada se realizan actividades de divulgación gratuitas, guiadas por profesionales geólogos/as y abierta a todo tipo de público, sin importar los conocimientos que tengan sobre esta materia.

EL ACUEDUCTO DE SAN ANTÓN Y EL RIO JERTE

En Extremadura este año, el Hidrogeodía se celebra en Plasencia y se examinarán las aguas que han abastecido a la ciudad; su procedencia, las dificultades de transporte con las soluciones adoptadas que en gran medida fueron inasumibles para los recursos públicos, así como las adaptaciones necesarias para el abastecimiento de las aguas del río Jerte.



Fig. 1 Rocas bajo la ciudad de Plasencia

La ciudad se ubicó a orillas del río Jerte para abastecerse de sus aguas, pero durante periodos largos del año sus aguas no tenían caudal y calidad suficiente por lo que se recurría al agua de pozos y manantiales para consumo de boca, aunque la geología del subsuelo no es muy favorable (Fig. 1).

En el siglo XVI la ciudad en crecimiento tenía cerca de 20.000 habitantes por lo que fue necesario buscar nuevos acuíferos con caudal y calidad suficiente.

El agua subterránea de calidad y a altura topográfica suficiente para transportarla por gravedad sin gasto de energía se encontraba a unos 16 km en Sierra Gorda, en las proximidades de las localidades de Cabezabellosa y el Torno.

El transporte a través de una conducción con tubos de barro tenía que seguir una trayectoria zigzagueante entre peñascales y debería salvar depresiones topográficas que se resolvieron con acueductos, como el del hospital, o el magnífico y grandioso Acueducto de San Antón que fue un hito arquitectónico del siglo XVI.

GEOLOGÍA DE LA ZONA

Como observamos en el mapa adjunto (Fig. 2), la ciudad de Plasencia y sus alrededores se encuentran sobre materiales graníticos y su contacto metamórfico con el complejo esquisto del Grupo Domo Extremeño.



Fig. 2 Mapa geológico.

Con esta geología, los acuíferos existentes son de fractura y en menor medida se encuentran en los materiales resultantes de la meteorización de estas rocas. Existen muchos manantiales pero que aportan poco caudal.

¿CÓMO SE CARGAN DE AGUA LAS FRACTURAS DEL GRANITO?

Sin duda alguna, por las aguas meteóricas de lluvia y nieve que también alimentan al río Jerte.

En las zonas montañosas del Valle del Jerte son más abundantes por el efecto Coriolis, producido al girar la Tierra, que desvía las capas fluidas de la superficie terrestre. Las masas de agua oceánica y el aire atmosférico que transporta las nubes cargadas de agua. En el hemisferio norte, donde nos encontramos, los vientos hacen girar las nubes desde el oeste hacia el este y nos

traen las aguas desde el océano atlántico hasta las barreras montañosas de Sierra Gorda, donde ascienden en altura y se crean las condiciones para que las nubes descarguen el agua.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS

Son acuíferos de fisura o formaciones geológicas que no tienen porosidad intergranular, pero con suficientes fracturas para almacenar y transmitir agua.

Los huecos o las fisuras existentes en el macizo son de tipo secundario, no se formaron cuando se generó la roca, aparecieron con posterioridad cuando las tensiones fracturaron el macizo rocoso.

La porosidad secundaria en el granito está constituida por una red tridimensional de fracturas interconectadas que almacenan agua y permiten su circulación (Fig. 3). En hidrogeología de fractura se tiene en cuenta el caudal, la conductividad y el gradiente hidráulico.

El caudal almacenado es el volumen de agua almacenado, que depende del volumen de huecos que tenga el macizo: del número de fracturas y la apertura que tengan.

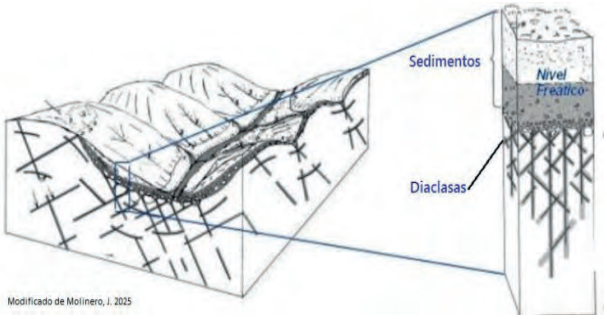


Fig.3 Acuífero de fisura.

La conductividad es la facilidad con que se mueve el agua por el macizo rocoso o la velocidad con la que puede discurrir el agua en el macizo. Depende de la densidad de las fracturas, sus interconexiones, la amplitud y la limpieza que permiten mejor circulación del agua por ellas.

El gradiente hidráulico representa la pérdida de energía que experimenta el agua en movimiento por metro recorrido en horizontal. En definitiva, es la pérdida de energía potencial que está relacionada con la conductividad del macizo rocoso.

Al observar en el mapa adjunto el macizo rocoso, nos damos cuenta que el conjunto de fracturas se comporta como una red de vasos comunicantes que transmiten el agua desde las zonas de recarga hasta las surgencias o manantiales.

El aprovechamiento de las aguas de los manantiales se hace mediante depósitos de almacenamiento y conducciones hasta las áreas de uso.

PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas son más abundantes de lo que pensamos, representan unas 20 veces más que las superficiales y son de mayor calidad, de ellas dependía el suministro de aguas saludables en la antigüedad. En algunas zonas era el único suministro que se podía utilizar.

Las aguas subterráneas son de buena calidad siempre que no se contamine el medio natural, porque lo que se hace en la superficie repercute en las masas de agua que hay bajo tierra. Por lo tanto, solo debemos aportar a los suelos materias inocuas y biodegrdables. Nunca pesticidas o abonos de nitrógeno o fósforo en mayor cantidad de lo que consume la superficie cultivable.

La contaminación de las aguas subterráneas es invisible, pero cuando se produce es difícil su recuperación porque en ellas no habitan organismos de elevado metabolismo con capacidad regeneradora y además, como sucede con cualquier flujo de agua, los efectos contaminantes se reparten por una amplia extensión.

El conocimiento de las aguas subterráneas es ineludible porque solamente se puede gestionar bien lo que se conoce.

TRANSPORTE DEL AGUA HASTA LA CIUDAD. ACUEDUCTO DE SAN ANTÓN

El agua recogida en los manantiales de Cabezbellosa y el Torno se transportó a través de tubos de barro, a lo largo de unos 16 km, hasta el depósito distribuidor. Toda la conducción tardó en construirse 8 años y tuvo vida útil hasta 1918, momento en el que se sustituyó por un gran depósito en el Cerro de los Pinos que hoy es patrimonio arquitectónico. Tuvo que salvar diferencias topográficas mediante acueductos en ocasione pequeños, como el del hospital Virgen del Puerto, y en las proximidades de la ciudad amurallada mediante el magnífico acueducto de San Antón de grandes dimensiones (Fig. 4).

Este acueducto tuvo muchos problemas para su construcción tanto técnicos como económicos. Su construcción tuvo que detenerse en varias ocasiones por falta de recursos, se gastó más que en la construcción de la catedral nueva de la ciudad y fue necesario el préstamo de los nobles para finalizar las obras.

Desde el punto de vista técnico, fue una obra señera del renacimiento con una longitud de 380 m y una altura en el punto más alto de 18 m. Se inició en 1581 y duró su construcción hasta 1584, pero desde el inicio y a lo largo de su historia ha tenido multitud de reparaciones.



Fig. 4. Acueducto de San Antón

En la actualidad se conservan 18 arcos de los 22 iniciales dispuestos en dos tramos rectos, que forman un ángulo entre ellos, para dirigirse hacia el aljibe de la alcazaba que se reutilizó como depósito distribuidor hasta las fuentes públicas de la ciudad situadas en las plazas y palacios nobles.

GEOTECNIA DEL ACUEDUCTO DE SAN ANTÓN

Se construyó con sillares de granito irregulares y cementados, lo mismo que el relleno interior de la doble hoja de los exteriores, con cal apagada. Aunque recuerda a los acueductos romanos a los que imita, pero en estos los sillares se colocan a hueso, o sin aglomerantes. En las partes que los romanos utilizaban aglomerantes eran de cal viva, con una ventaja muy importante, porque a medida que pasa el tiempo van adquiriendo más dureza y capacidad de autosellarse las grietas que se van produciendo.

La roca de granito empleada fue del Codillo de San Antón y del Berrocal que se encuentra a menos de 500m. Son granitos de dos micas que contienen abundante hierro y manganeso. Llama la atención las pátinas y manchas intensas ocres, rojas y negras de la superficie de los sillares expuestas al contacto con la atmosfera. Estas manchas y pátinas son debidas a la oxidación de los ferromagnesianos.

También por meteorización, se transforman las ortoclasas y plagioclasas en arcillas con capacidad de absorción capilar que favorecen la hidrólisis, descamación y arenización de los sillares.



Fig. 5. Pandeo y canal del acueducto

Al canal le dejaron una pendiente del 6% en el Cerro de los Pinos y de un 0,5% en el resto del acueducto. Los arcos originales tienen 4,75m de radio, pero los que se han ido reconstruyendo no conservan estas dimensiones. Los 7 arcos centrales tienen ensanchamiento en la base a modo de tajamar para dar mayor resistencia a los pilares.

Hay un arco central original diferente a los demás, lo que nos muestra que se empezó a construir el acueducto por ambos extremos y ese arco tuvo que adaptarse a la distancia de los pilares en el encuentro.

En 2009 la sección se inclinó con peligro de derrumbe (Fig. 5), debido al asentamiento del terreno por modificación del talud próximo y el riego del jardín que se colocó en el talud. Se restauró con 4,3 millones de euros procedentes del Plan E.

RESERVA DE AGUA EN EL RÍO JERTE

El agua de lluvia y la procedente de la fusión de la nieve se infiltra poco en el acuífero fisural del granito, que además tiene poca cobertera de roca alterada y suelo para almacenar agua.



Fig. 6 Embalse del río Jerte

Por ello, las aguas circulan rápidamente sobre la superficie de los canchales y con el agotamiento de las reservas del acuífero al inicio del verano el río prácticamente se seca. Es un río con marcado estiaje.

Para disponer de suficiente recurso de agua y garantizar el abastecimiento a la ciudad se ha construido una presa (Fig. 6), que permite el embalsar 59 hm^3 que debe ser potabilizada antes de su distribución.

A esta reserva principal de agua se une la de catorce fuentes de aguas subterráneas de la Sierra de Cabezabellosa, que se sigue canalizando por gravedad a uno de los depósitos de la red de distribución.

RESUMEN

La ciudad se fundó a orillas del río Jerte para aprovechar sus aguas, pero en el siglo XVI el río no proporcionaba suficiente agua de calidad para sus habitantes por lo que fue necesario traerla de las montañas próximas y construir el magnífico acueducto de Plasencia. En la actualidad se necesita mayor disponibilidad de agua y se vuelve a consumir la del río almacenada en un embalse, junto con una pequeña proporción de agua subterránea.

Referencias

AGEx (2019) Geolodía 19. ¿Qué pasó en Plasencia durante el Jurásico? http://www.agex.org/

IGME (1987) Mapa Geológico nº 598. Plasencia. Escala 1:50.000.

Iñigo Lopez Brañas et al (2023). El acueducto de San Antón en Plasencia: historia y análisis geométrico y constructivo. https://doi.org/10.3989/arq-arqt.2023.005



Canarias

HIDROGEODÍA 2025

Aula Cultural del Agua
Universidad de La Laguna

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGEODÍA CANARIAS

Tacoronte



El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza

Una visita por lugares singulares vinculados al agua en el municipio de Tacoronte (Tenerife, Canarias)

EXCURSIÓN GRATUITA

- Plazas limitadas
- Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo, agua.

TRANSPORTE: ***Por cuenta del interesado***

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA
e-mail: *jcsanta@ull.es*
alumbrado@aytotacoronte.org

HORARIO: 09:00 a 12:00 h

PUNTO DE ENCUENTRO: Tacoronte, C/Plaza Sta. Catalina trasera Iglesia Sta.Catalina

RECORRIDO A PIE

INGENIA
INGENIERÍA GEOLÓGICA, INNOVACIÓN Y AGUAS

Información detallada y folleto de la excursión *https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/*

EXCMO. AYUNTAMIENTO DE LA CIUDAD DE TACORONTE

APADRINA UNA ROCA

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?

GrupoTragsa



Castellón

HIDROGEODÍA 2025 Castelló

¿Quieres conocer el manantial Molí la Font y su hidrogeología?

15 marzo

10 a 13:30h

Se ruega puntualidad

Paraje Molí la Font

Punto de Encuentro:
Parking de la Ermita de
St Francesc de la Font

Más información:
https://www.aih-ge.org/
hidrogeodia-2025/



Colaboran:

Facsa ciclo integral del agua

Ajuntament de Castelló

Coto Arrocero

Plazas limitadas, imprescindible inscripción

Inscríbete en el QR

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA


CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
IGME
Instituto Geológico y Minero de España
iah aih
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español
HIDROGEODÍA
2025 Castelló
Molí de la Font
Castelló
Ajuntament de
Castelló
facsa
ciclo integral del agua
Coto Arrocero

EL HIDROGEODÍA

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

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

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

CÓMO LLEGAR

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

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

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

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

Se ruega **puntualidad**.

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



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

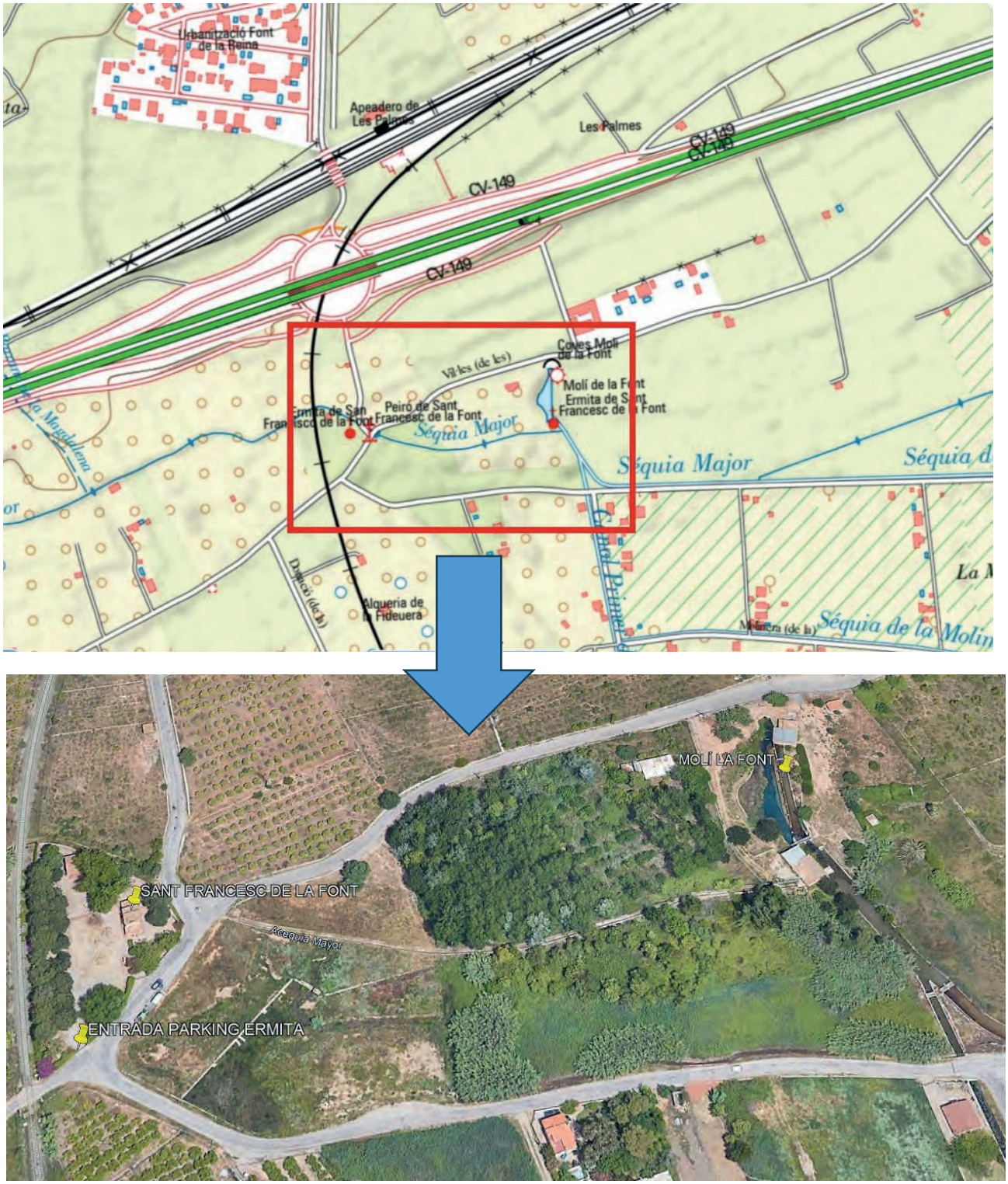


Figura 2: Mapa y foto aérea del punto de encuentro (Ermita St. Francesc de la Font) y del Molí la Font

IMPORTANTE

La excursión que se propone es **gratuita y voluntaria**, pero es **obligatorio** que toda persona interesada en asistir realice **reserva previa** al correo joseantoniodominguezsanchez@gmail.com indicando nombre y asistencia de menores.

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

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

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

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

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

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

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



¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

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

QUÉ VEREMOS

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

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

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

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

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

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

- Técnicas actuales de captación de aguas subterráneas

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

- Galería del Molí de la Font

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

- Relación río-acuífero
- Balance hídrico de un acuífero

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

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

PARADA 1: LA HIDROGEOLOGÍA Y LOS ACUÍFEROS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Figura 4: Capas de calizas depositadas en estratos



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

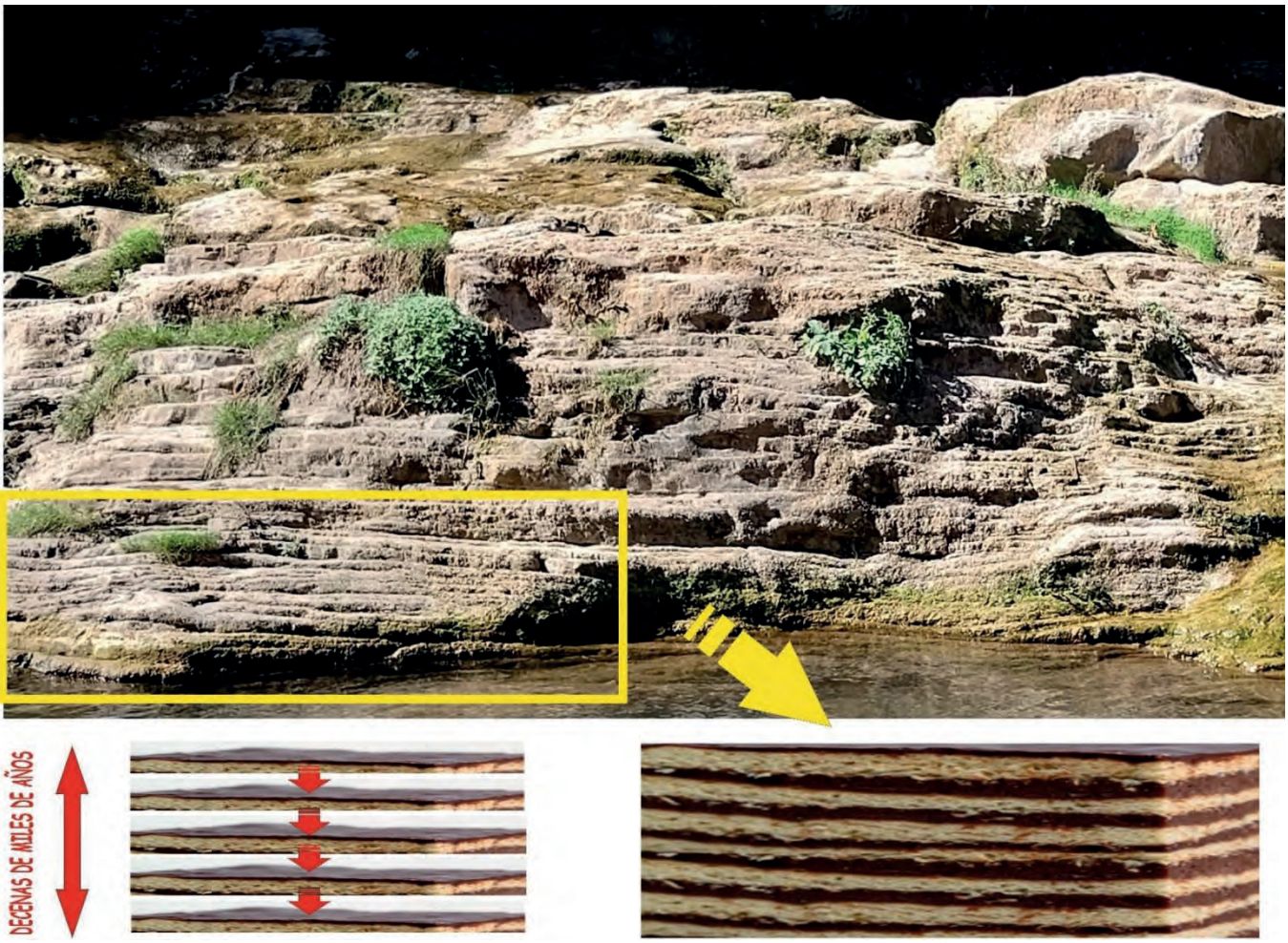


Figura 6: Calizas estratificadas de forma laminar o tabular, es decir, en pequeños estratos centimétricos.

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

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

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

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

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

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

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

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

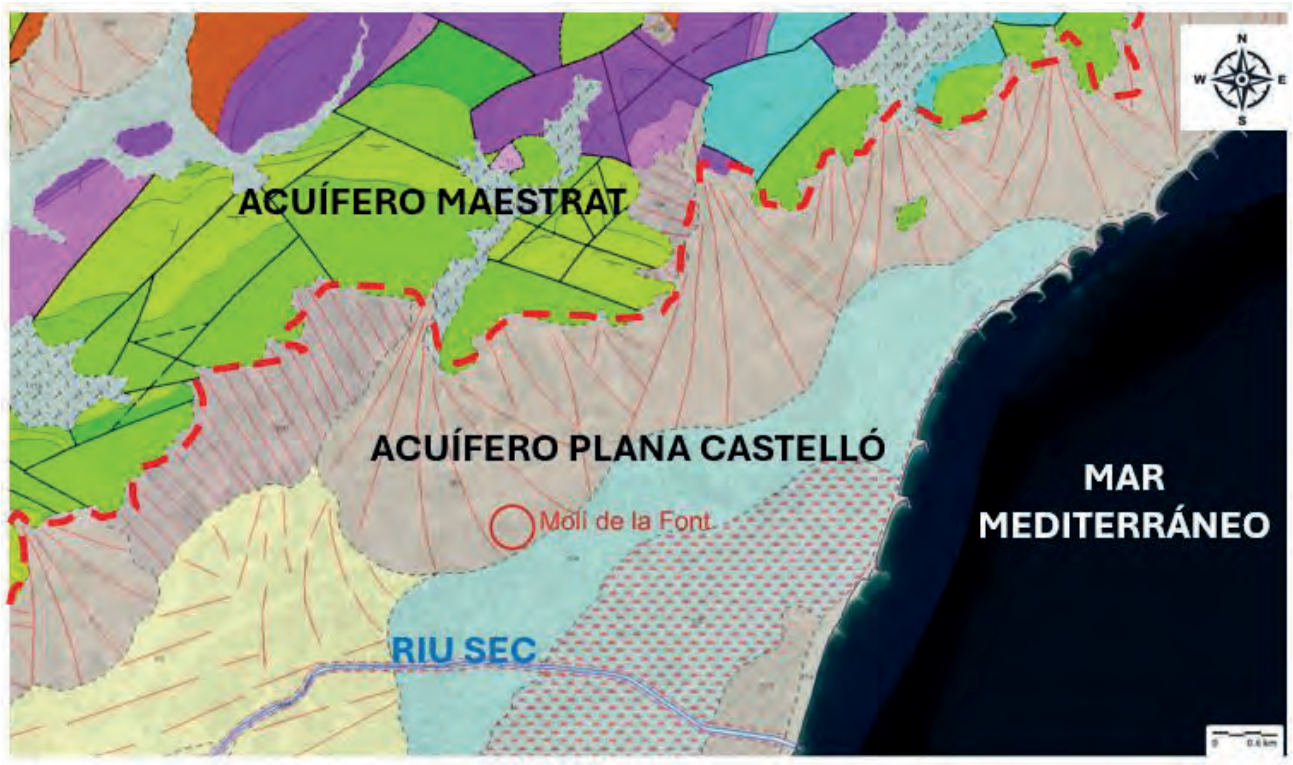


Figura 7: Contexto geológico del Molí la Font

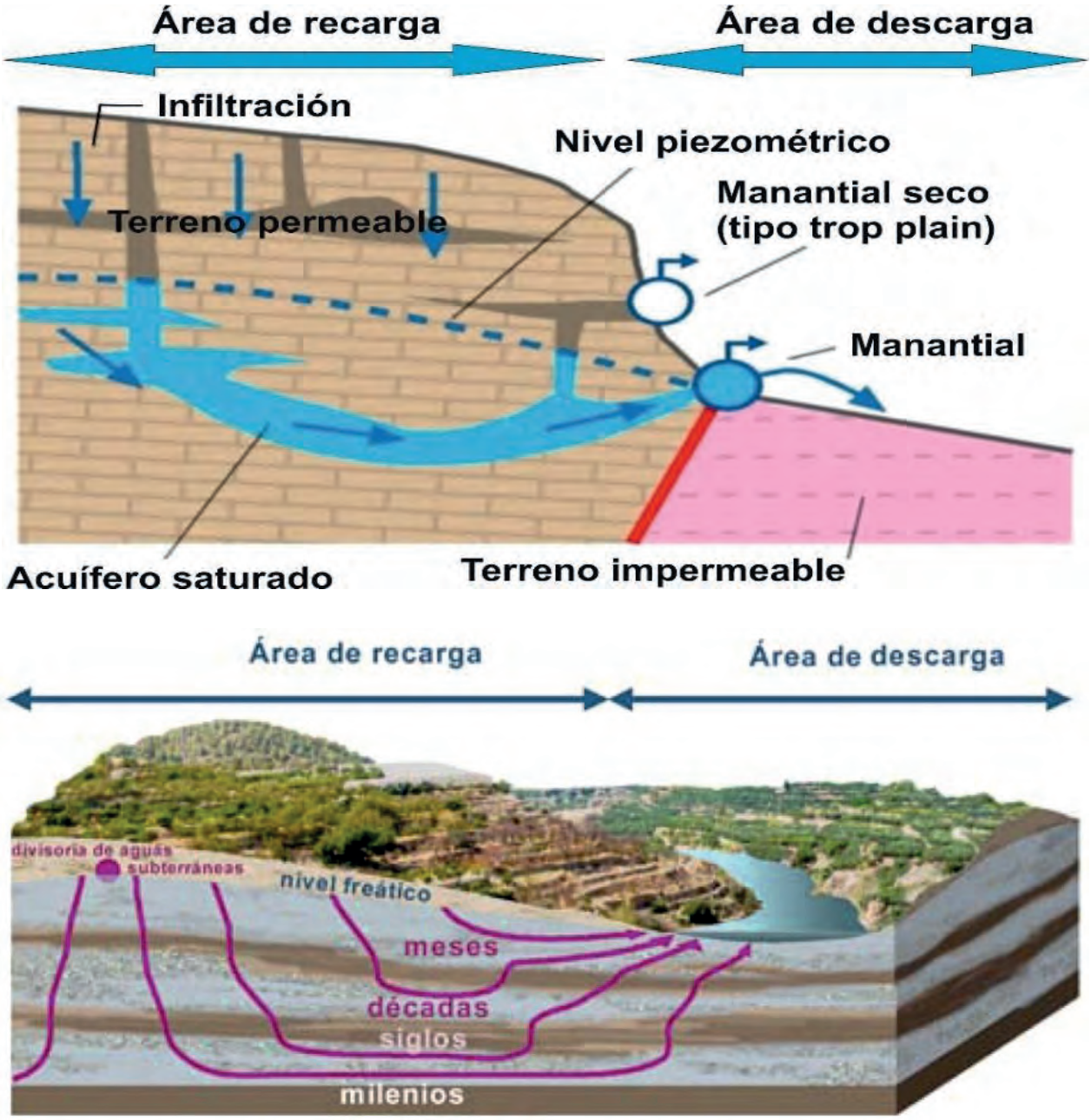


Figura 8: Áreas de recarga y descarga de acuíferos A) ejemplo de un acuífero kárstico y B) periodos de tránsito de las aguas subterráneas (López Geta, et al. 2009)

PARADA 2: LA IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

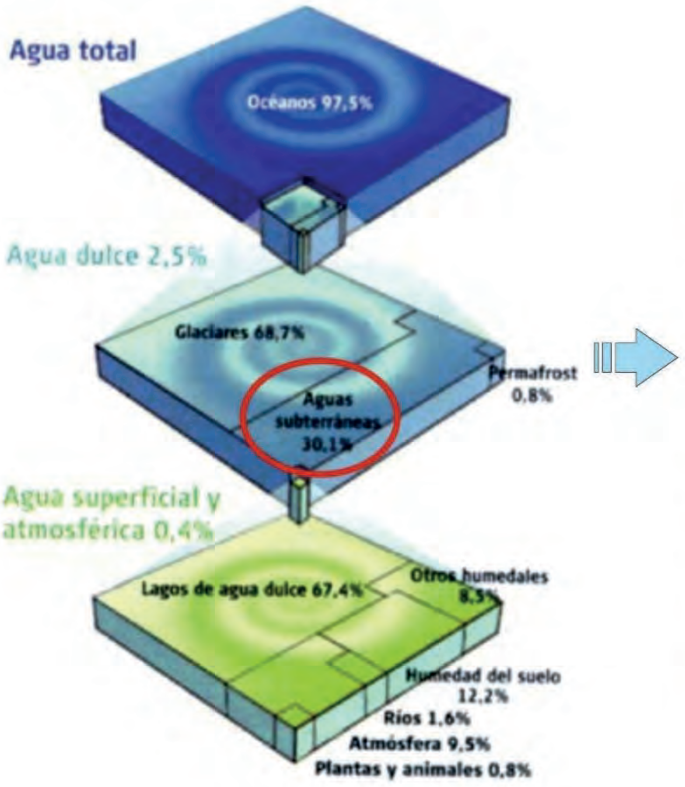
Por tanto, ¿qué proporción de agua dulce queda? y ¿dónde se encuentra esa agua?

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





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



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





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

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

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

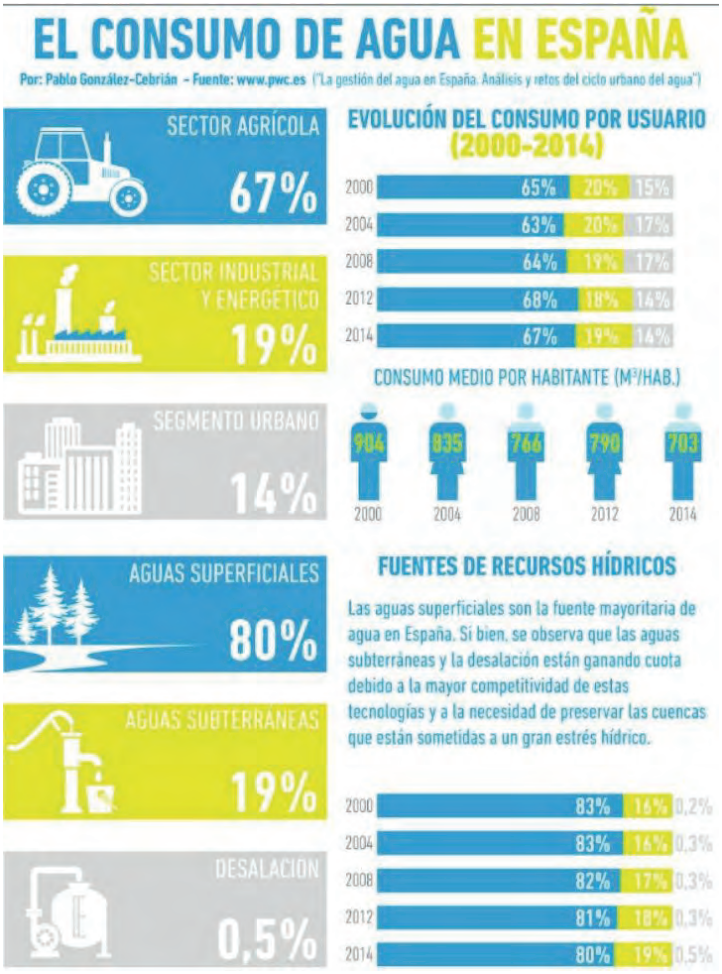
El agua dulce, que es esencial para la vida, se utiliza principalmente para la agricultura y en mucha menor medida para la industria y el abastecimiento urbano (Figura 13).

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

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

En el caso de la agricultura se establecen unas dotaciones por cultivo. En la cuenca hidrográfica del Júcar la dotación media neta para el arroz es de unos 9.500 m^3/ha/año (Figura 15), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m^3/ha/año).

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



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

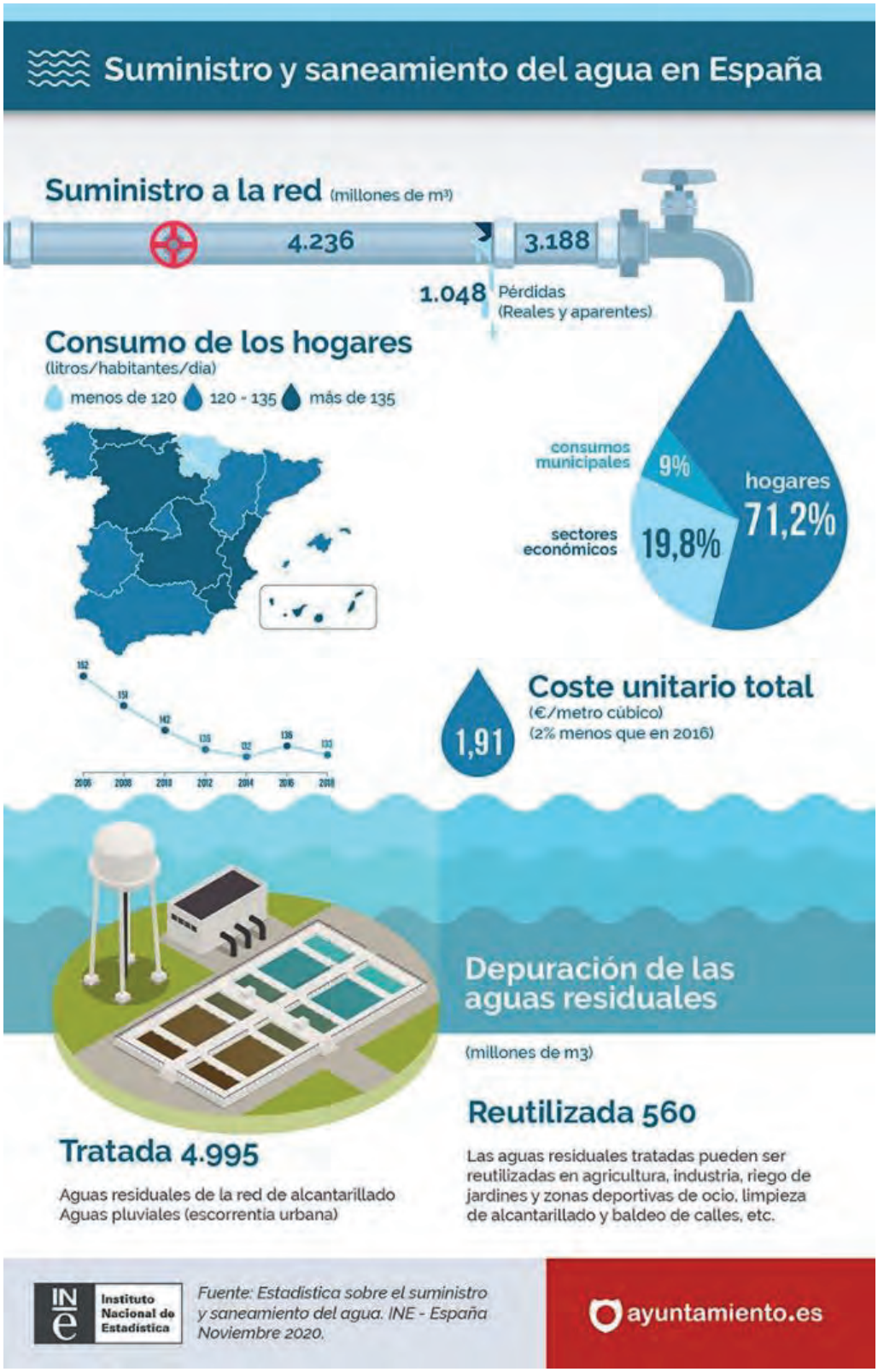


Figura 14: Suministro y saneamiento de agua en España

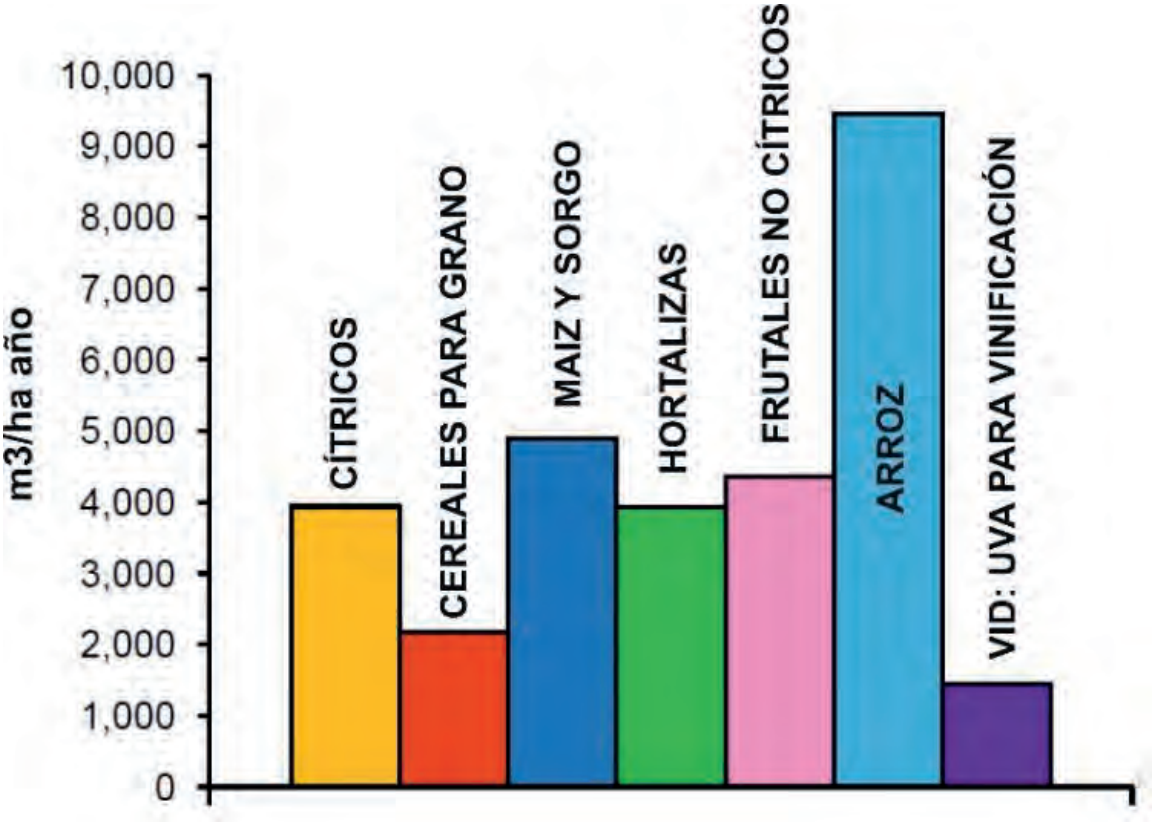


Figura 15: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)

PARADA 3: CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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



Figura 17: Perforación de un sondeo a rotopercusión

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



Figura 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 (Figura 19).

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



Figura 19: Ensayo de bombeo

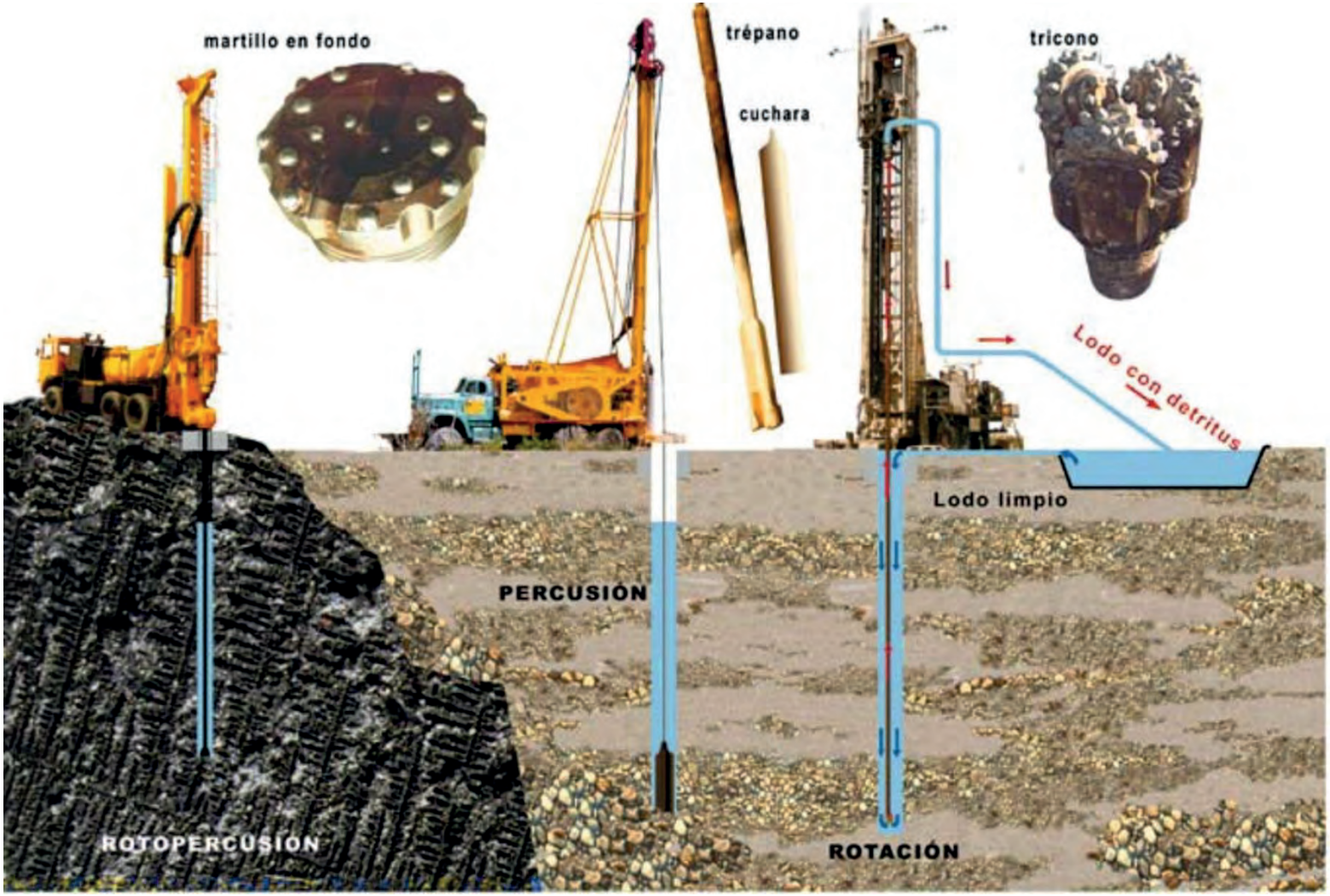


Figura 20: Sistemas de perforación de sondeos (López Geta et al. 2009)

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

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

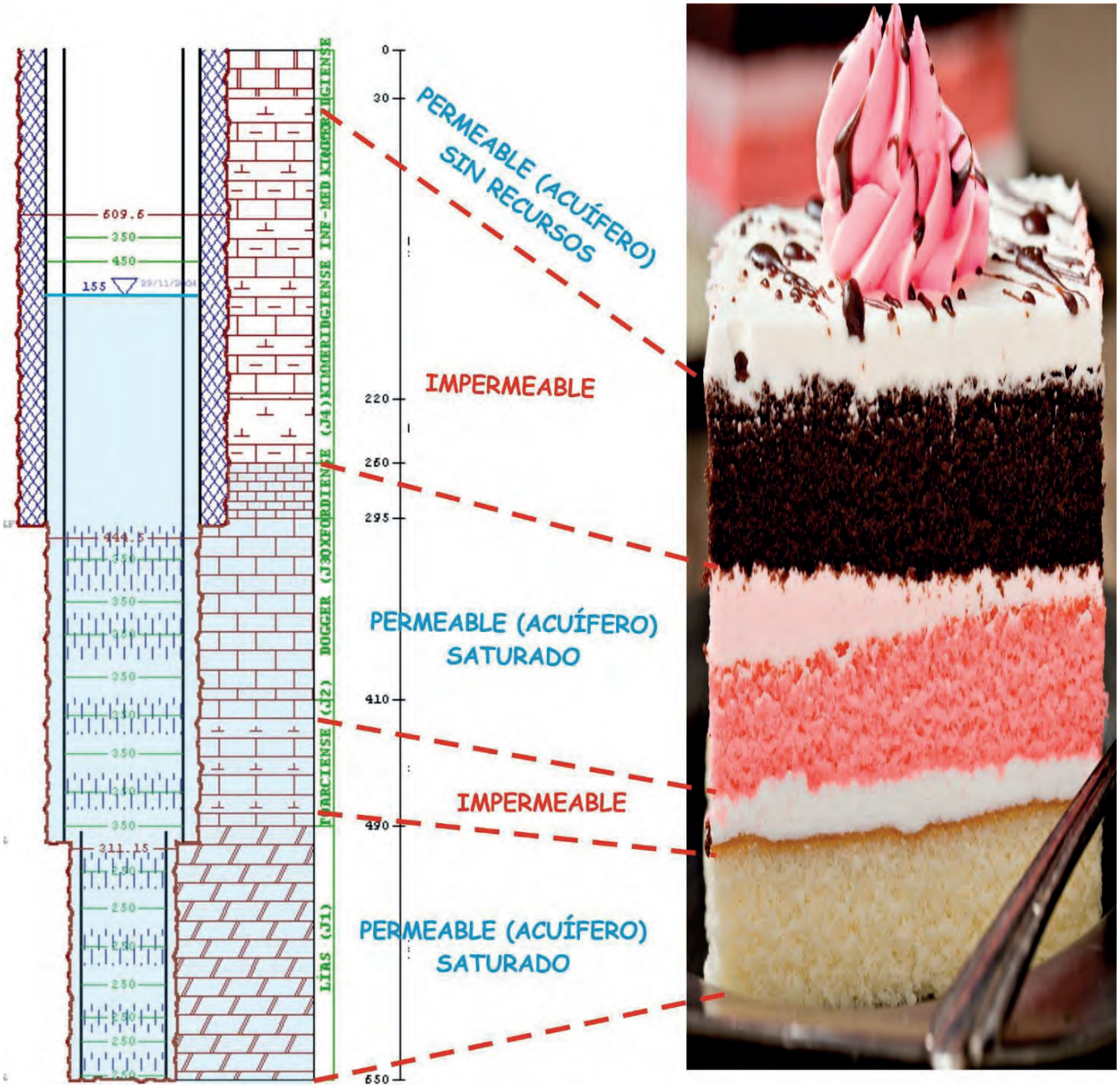


Figura 21: Acondicionamiento de un sondeo. Nivel freático. Capas permeables (acuíferos) e impermeables (acuicludos). Elaboración propia.

PARADA 4: LA GALERÍA DEL MOLÍ DE LA FONT

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



Figura 22: Molí de la Font

Originalmente debió existir un punto, orográficamente deprimido, de salida de agua subterránea, quizás acondicionado con una "sénia" (acequia). A principios del siglo XV, por necesidades agrarias (cultivo del arroz), se excavó la primera fase de la galería. Ha habido otras fases de excavación posteriores que pretendían ir aumentando el caudal drenado hasta alcanzar los 250 m. metros de longitud actuales.

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



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

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

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

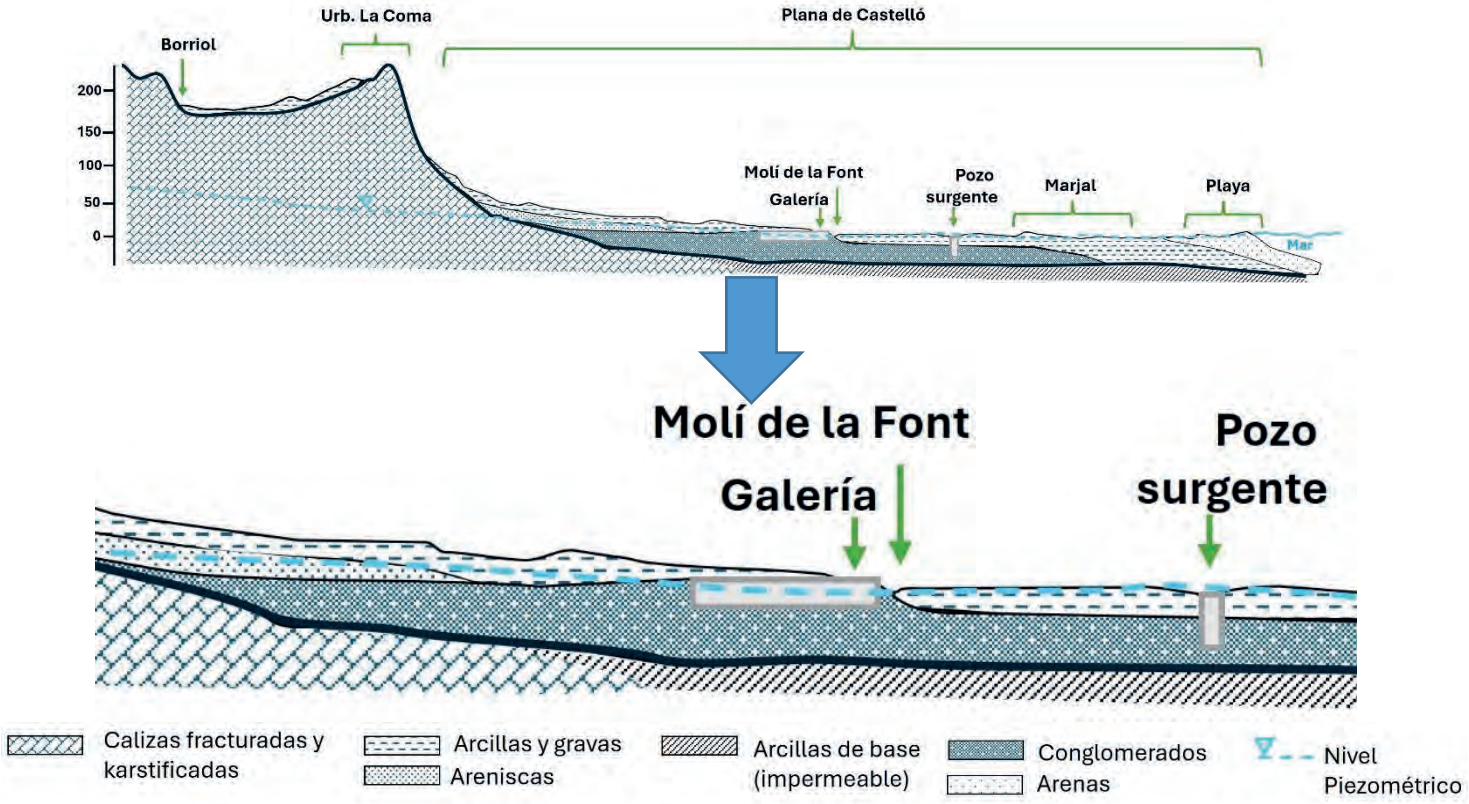


Figura 24: Corte geológico del Molí la Font (de Belén Sánchez)

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

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



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

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



Figura 26: Séquia del Primer Canal (elaboración propia)

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

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

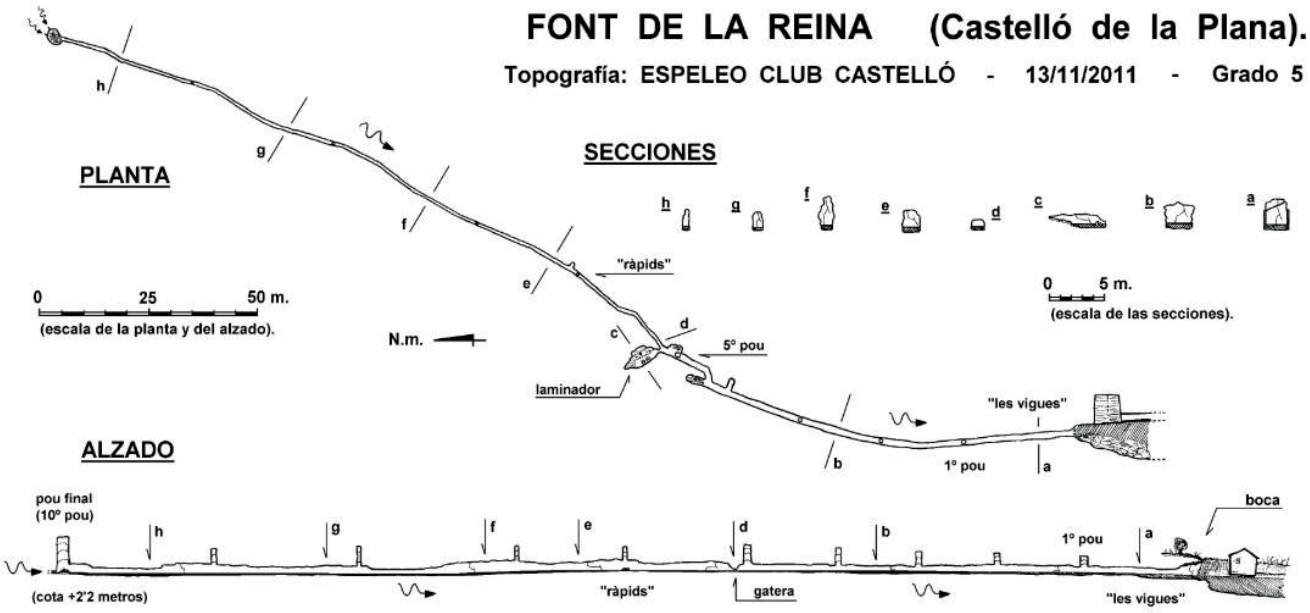


Figura 27: Croquis en planta y alzado de la galería del Molí de la Font (de Joaquín Arenós Domínguez – Espeleo Club Castellón)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

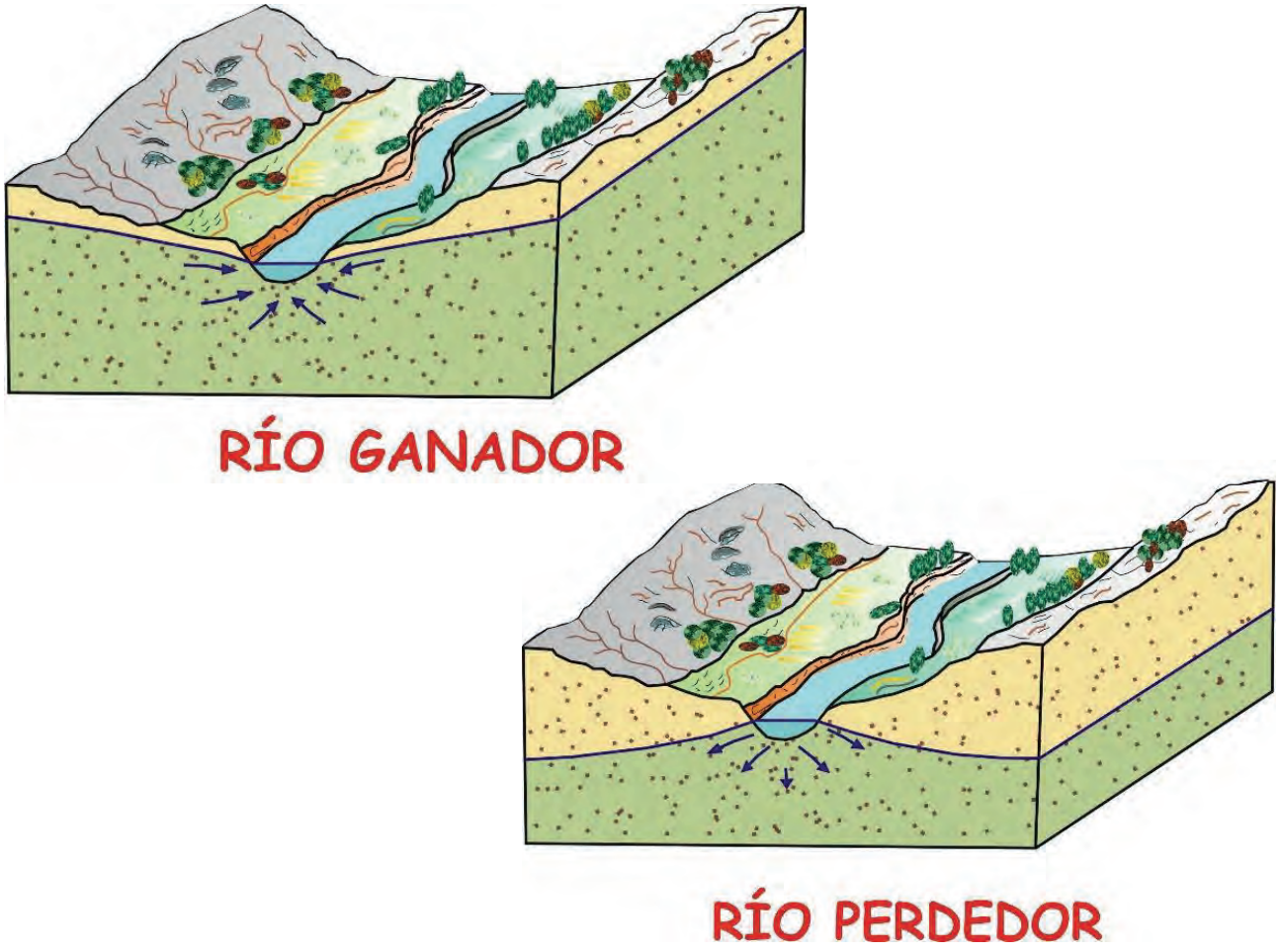
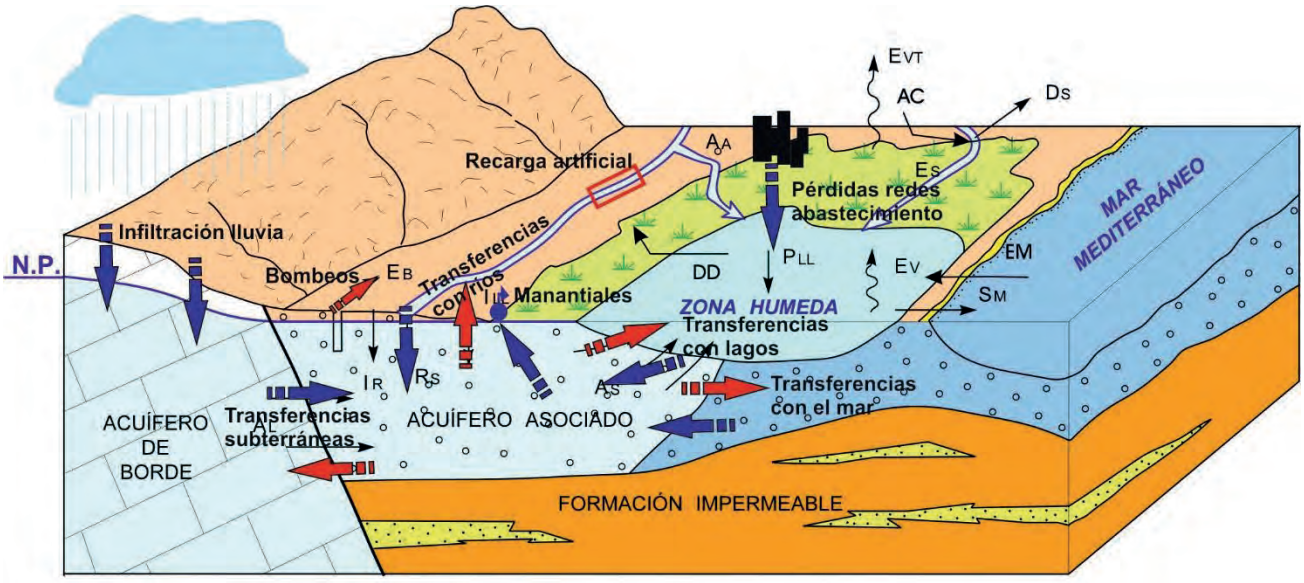


Figura 28: Relación río-acuífero

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

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

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



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

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

- Infiltración del agua de lluvia
- Infiltración por retornos de riego
- Infiltración desde cauces, lagos o acequias
- Pérdidas en las redes de suministro o alcantarillado
- Transferencias subterráneas procedentes de otros acuíferos o del mar (intrusión marina)
- Recargas artificiales

Por su parte, en las salidas hay que considerar:

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

PARADA 6: MUESTREO DE AGUAS Y MEDIDAS "IN SITU"

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

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

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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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



Figura 34: Aguas termales

Figura 35: Aguas hipersalinas (salmueras)





Figura 36: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.

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

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

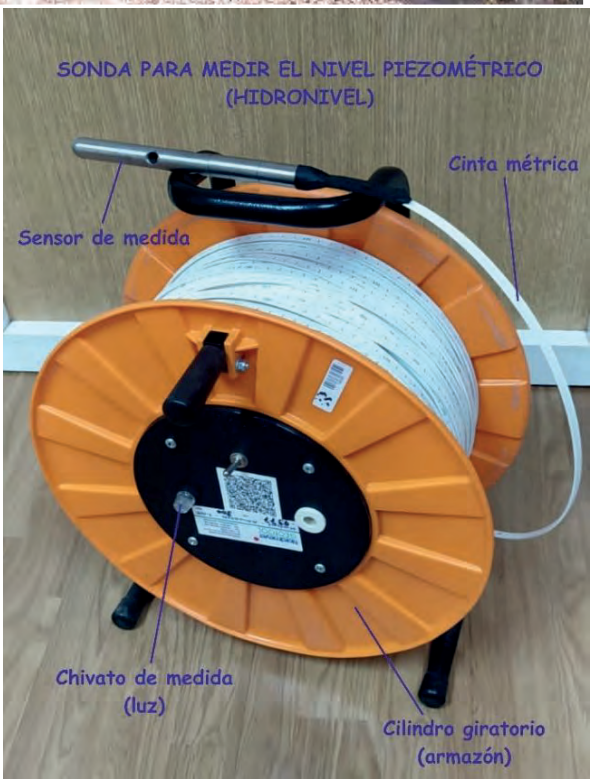


Figura 37: Sonda para medir el nivel piezométrico.

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

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

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

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

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



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

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

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

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



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



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



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

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

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

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

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

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

AGRADECIMIENTOS

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

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

L@S MONITOR@S DEL HIDROGEODÍA CASTELLÓ 2025

Jose Antonio Domínguez Sánchez
(Hidrogeólogo - IGME)

Arianna Renau Pruñonosa
(Hidrogeóloga – UV)

Belén Sánchez-Rubio Ruiz
(Hidrogeóloga - FACSA)

Eduard Ruiz-Dorizzi Ordóñez
(Hidrogeólogo - GAMASER)

José Oriol Navarro Odriozola
(Hidrogeólogo - TYPSA)

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

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

PÁGINAS WEB

Google Earth Pro

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

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

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

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

Visor cartogràfic de la Generalitat (gva.es)

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


ERMITA DE
SANT FRANCESC DE LA FONT
(PARADAS 1 Y 2)
MOLÍ DE LA FONT
(PARADAS 3, 4, 5 Y 6)

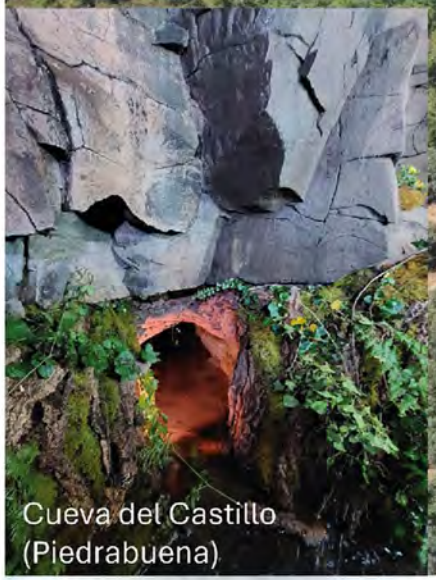

HIDROGE DÍA
2025 Castelló



Ciudad Real

HIDROGEODÍA 2025 Ciudad Real

Las aguas ocultas en el Campo de Calatrava y Los Montes: volcanes, manantiales y bosques ribereños singulares


Cueva del Castillo (Piedrabuena)


Maar del Bú (Alcolea de Calatrava)

Aliseda de La Angorrilla (Los Pozuelos de Calatrava)

EXCURSIÓN GUIADA GRATUITA

PLAZAS LIMITADAS

Imprescindible reserva previa

Fecha: 22 de marzo de 2025

Punto de encuentro: QUIJOTE ARENA

Hora de salida: 9:30

Hora de llegada: 17:00

Dos paradas y un recorrido a pie: 8 km

Dificultad baja

INSCRIPCIÓN

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

Organizan:

GEOVOL UCLM

CREA Regional Centre of Water Research UCLM

Colaboran:

ENTRE PARQUES

Ayuntamiento de Piedrabuena

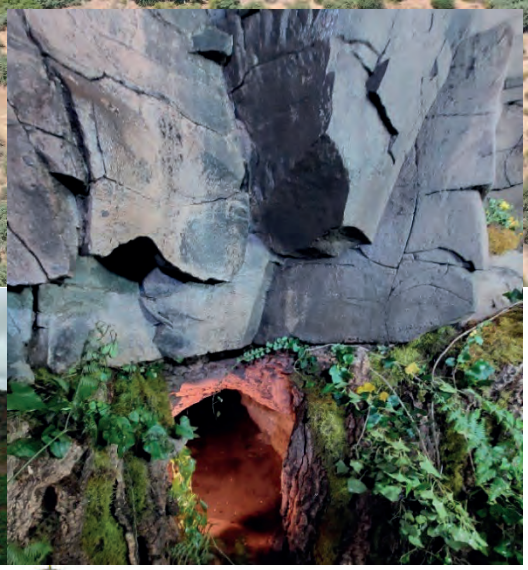
GEOPARQUE VOLCANES DE CALATRAVA CIUDAD REAL

unesco Geoparque Mundial

Aguas ocultas en el Campo de Calatrava y Los Montes: volcanes, manantiales y bosques ribereños singulares

Rafael Ubaldo Gosálvez Rey (coord.), Rafael Becerra Ramírez, Pedro Pablo Buitrago Bravo, Estela Escobar Lahoz, Máximo Florín Beltrán, Elena González Cárdenas y Enrique Luengo Nicolau







COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?
CSIC IGME 175
GEOVOL UCLM
CREA UCLM Centro Regional de Estudios del Agua
Ayuntamiento de Piedrabuena
unesco
ENTRE PARQUES

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (disciplina que estudia las aguas subterráneas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y con la acción del hombre), que se celebra cada año coincidiendo con el **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 otras entidades públicas y privadas, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por hidrogeólogos/as y otros científicos/as.

En Ciudad Real, el Hidrogeodía 2025 se titula **"Aguas ocultas en el Campo de Calatrava y Los Montes: volcanes, manantiales y bosques ribereños singulares"** y consistirá en una visita guiada por varios puntos representativos donde podremos analizar las relaciones establecidas entre las aguas subterráneas y los volcanes, manantiales y bosques de ribera singulares existentes en las comarcas del Campo de Calatrava y Los Montes:

1) **Reconocimiento de morfologías y depósitos volcánicos en Alcolea de Calatrava (volcán del Cerro de la Cruz y maar de las Peñas del Bú)**
2) **Visita al manantial y galerias artificiales de la Cueva del Castillo en Piedrabuena**
3) **Ruta de 8 km para visitar la Fuente de La Angorrilla y las alisedas de La Angorrilla y el Guindalejo (Los Pozuelos de Calatrava y Cabezarados).**

La visita se articula, por consiguiente, en torno a tres espacios emblemáticos en un área de transición entre las comarcas naturales del Campo de Calatrava y Los Montes donde podremos ver *in situ* las consecuencias geomorfológicas, hidrológicas y biogeográficas de la presencia de las aguas subterráneas en este territorio.

AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MATERIALES IMPERMEABLES ¿CÓMO ES POSIBLE?

El mapa Hidrogeológico de España a escala 1:200.000 califica el sustrato geológico del espacio geográfico que vamos a visitar como materiales impermeables, siendo su permeabilidad baja y su interés hidrogeológico reducido (IGME, 1985). Lo mismo que indican trabajos más recientes para caracterizar las masas de agua subterráneas del Bullaque y Campo de Calatrava, que son los terrenos por donde nos vamos a mover a lo largo del Hidrogeodía. Siendo esto así a nivel económico, no lo es a nivel geoecológico.

La aventura del recorrido que vamos a realizar en el Hidrogeodía 2025 Ciudad Real y de los elementos tan singulares que vamos a ver se remonta a la Era Paleozoica, hace unos 470 millones de años, cuando este espacio estaba sumergido a poca profundidad bajo el nivel del mar. En ese ambiente se acumulaban estratos o capas de sedimentos arenosos y arcillosos en los que vivían los trilobites, antiguos parientes marinos de arañas, crustáceos e insectos actuales, y de los que se conservan fósiles por todas las sierras del Campo de Calatrava y de Los Montes de Ciudad Real.

Estos sedimentos se convirtieron en roca cuarcita y arenisca (los arenosos) y pizarras y lutitas (los arcillosos) con el paso del tiempo, la presión y la consolidación con cemento silíceo.

La cuarcita es una roca de gran dureza y rigidez, frecuente en terrenos paleozoicos como los que conforman las sierras del Campo de Calatrava y de Los Montes. Además, como su propio nombre indica, es rica en cuarzo, mineral compuesto de sílice y muy poco soluble. Por eso, las aguas de lluvia que corren y se infiltran por estos terrenos apenas se cargan en sales disueltas o, lo que es lo mismo, son aguas muy puras, casi destiladas.

La primera fase de la Orogenia Varisca o Hercínica ("oros" significa "montaña", en griego) elevó estos terrenos submarinos por encima del nivel del mar, hasta que alcanzaron una altitud similar a la del actual Himalaya, en lo que serían los Montes de Toledo, hace unos 380 millones de años (Figura 1.1.).

Entonces, los estratos de areniscas, cuarcitas, pizarras y lutitas se plegaron, replegaron, fracturaron y se volvieron a fracturar durante otros 100 millones de años.

Cuando los primeros Montes de Ciudad Real y Campo de Calatrava estaban ya muy erosionados, los sedimentos cubrieron casi por completo los restos de todos los pliegues (Figura 1.2), que seguían siendo de materiales más duros que los que los cubrían.

Hace unos 50 millones de años, una nueva etapa de formación de montañas, la Orogenia Alpina, volvió a levantar y fracturar los materiales de los Montes y del Campo de Calatrava, que quedaron de nuevo expuestos a la erosión (Figura 1.3. y 1.4.). Primero se erosionaron los materiales más blandos, lo que dejó al descubierto otra vez los pliegues variscos, pero los picos más altos y expuestos a la erosión se desgastaron más, quedando todos con una altitud casi igual (Figura 1.5.).

El resultado es un relieve apalachense o apalachiano, llamado así por la cordillera norteamericana que se usó para describirlo por primera vez.

En él alternan valles y crestas, estas últimas corresponden a la parte más resistente de los flancos de los pliegues variscos, a pesar de ello erosionados e incompletos (Figura 1.4.).

Los volcanes, los manantiales y los bosques ribereños singulares que actualmente existen en Los Montes de Ciudad Real y el Campo de Calatrava están directa o indirectamente asociados a una de las dos redes de fracturación: la formada durante la Orogenia Varisca, posiblemente rejuvenecida por la Orogenia Alpina, o la formada durante esta última.

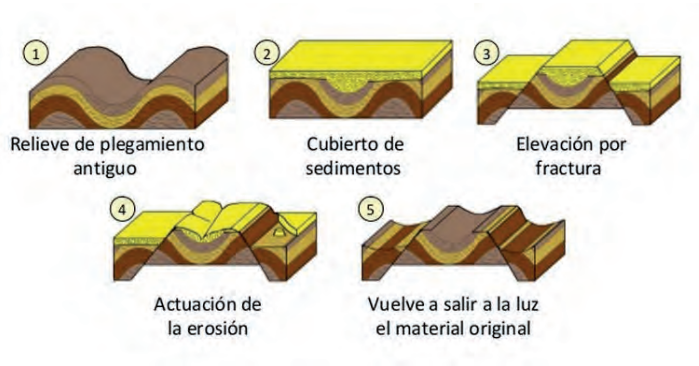


Figura 3. Evolución de un relieve apalachense. Se trata de un relieve de plegamiento antiguo (1) que fue cubierto de sedimentos (2) y, tras una elevación por orogénesis (3) seguida por la actuación de la erosión (4), vuelve a rejuvenecerse.

A causa del terreno poco permeable y de la dureza de la roca cuarcita, son las fracturas los caminos principales por los que circula el agua, por encima y por debajo de la superficie del terreno.

Así, el trazado superficial de la red de fracturación coincide en gran medida con el de la red hidrográfica de Los Montes y del Campo de Calatrava, y el curso de los ríos suele encajarse en algunas fracturas, como es el caso de la Tabla de la Yedra (Piedrabuena).

De manera similar, el agua que se infiltra en las partes relativamente altas de la cuenca (áreas de recarga de agua subterránea), se almacena en el acuífero de la red de fracturación y

circula por ésta hasta que vuelve a la superficie, en forma de manantiales, alimentando las lagunas volcánicas, los bosques ribereños singulares (Alisedas, abedulares y avellanares) y los bonales o trampales asociados a esas fracturas (Figura 2).

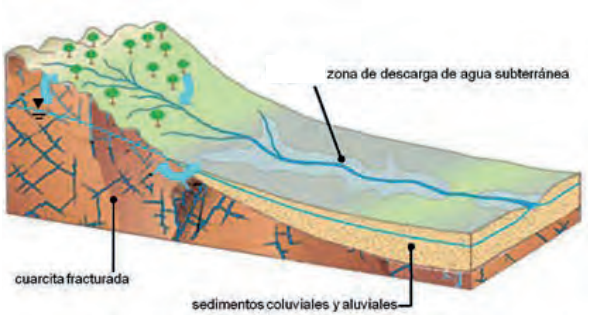


Figura 2. Bloque–diagrama ilustrando la alimentación hídrica a partir del agua subterránea que circula por las fracturas de las sierras y mantiene un nivel freático estable en las zonas de contacto litológico entre las rocas impermeables de la sierra y los sedimentos coluviales y aluviales procedentes de su erosión.

La fuerza motriz es la fuerza de la gravedad. Cuando el agua desciende verticalmente, puede encontrarse con materiales menos permeables que aquellos de donde viene, y cambia de dirección, abriéndose camino hacia materiales más permeables o con más fracturas; finalmente, el agua termina aflorando en partes relativamente bajas de la cuenca o en cambios bruscos en el relieve (áreas de descarga de agua subterránea).

En el caso del Campo de Calatrava, desde hace 8 millones de años hasta hace unos 6.000 años también circuló por la red de fracturación el magma que provocó erupciones al encontrarse con el agua que circulaba por ellas, provocando grandes explosiones que dieron lugar a las lagunas volcánicas como la de La Camacha y Lucianego (Piedrabuena), Bú y Peñarroya (Alcolea de Calatrava), Cañada (Corral de Calatrava), Peñarroya (Alcolea–Corral de Calatrava), Caracuel y Navas de Malagón, entre otras muchas lagunas volcánicas del Campo de Calatrava.

Sólo el aporte de agua a través de las fracturas a los manantiales, bosques ribereños y bonales puede explicar la permanencia de agua prácticamente durante todo el año, año tras año, en estos lugares tan singulares.

LOS VOLCANES DEL CAMPO DE CALATRAVA

La actividad volcánica reciente (<8 Ma.) desarrollada en la zona central de la provincia de Ciudad Real es uno de los rasgos característicos del paisaje de esta provincia, repartiéndose los volcanes por un amplio territorio de unos 5.000 km^2 (Becerra Ramírez, 2013).

Se han catalogado más de 350 volcanes (Figura 3), correspondiéndose el 49% con volcanes magmáticos generados en erupciones efusivas y estrombolianas (coneletes de *spatter*, conos de piroclastos y coladas de lava) y el 51% con edificios generados en erupciones hidromagmáticas (maares-diatrema) (Gosálvez Rey, 2012; Becerra Ramírez, 2013; Gosálvez Rey et al., 2023).

No hay acuerdo científico sobre por qué hay un volcanismo reciente en la provincia de Ciudad Real: punto caliente, rift abortado, rift oblicuo, un sistema de megafallas que afecta al Mediterráneo occidental con plegamiento litosférico,… (Molina, 1975; Ancochea Soto, 1983; Bergamín y Carbo, 1986; Cebriá Gómez, 1992; López Ruiz *et al.*, 1993; Poblete Piedrabuena, 1994; Gallardo Millán, 2005; Cebriá *et al.*, 2011: Granja *et al.*, 2015).

En última instancia, todo apunta que el volcanismo del Campo de Calatrava está asociado a las interacciones (borde convergente, borde transformante) entre las placas africana y euroasiática, la microplaca de

Alborán y en menor medida con la dorsal mesoatlántica en los últimos 8 Ma.

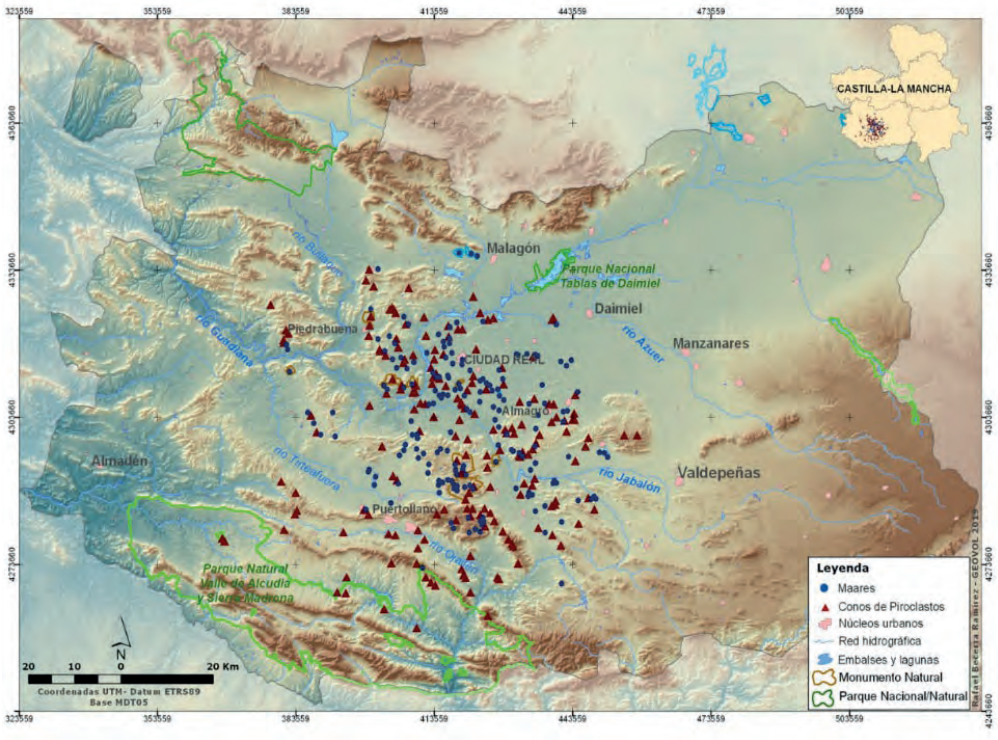


Figura 3. Los volcanes del Campo de Calatrava

Todas estas interacciones han condicionado la actividad volcánica en el Campo de Calatrava, articulada en el tiempo por ciclos separados por períodos de calma. La primera erupción volcánica tuvo lugar en Villamayor de Calatrava hace 7.5 Ma (Ancochea y Huertas, 2021), generando los volcanes de Peñas Pardas y el Morrón de Villamayor de Calatrava, hoy declarado Monumento Natural, LIG, Geositio y Global Geosite. La última erupción tuvo lugar en el Holoceno (entre 14 y 5.5 ka) en el volcán Columba entre Granátula y Calzada de Calatrava (González *et al.*, 2007; Poblete *et al.*, 2019; González Cárdenas et al., 2024).

Nos encontramos ante un volcanismo caracterizado por la emisión de rocas volcánicas básicas y ultrabásicas y en el que parece haber jugado un papel importante la existencia de una anomalía térmica positiva en el manto (¿punto caliente?).

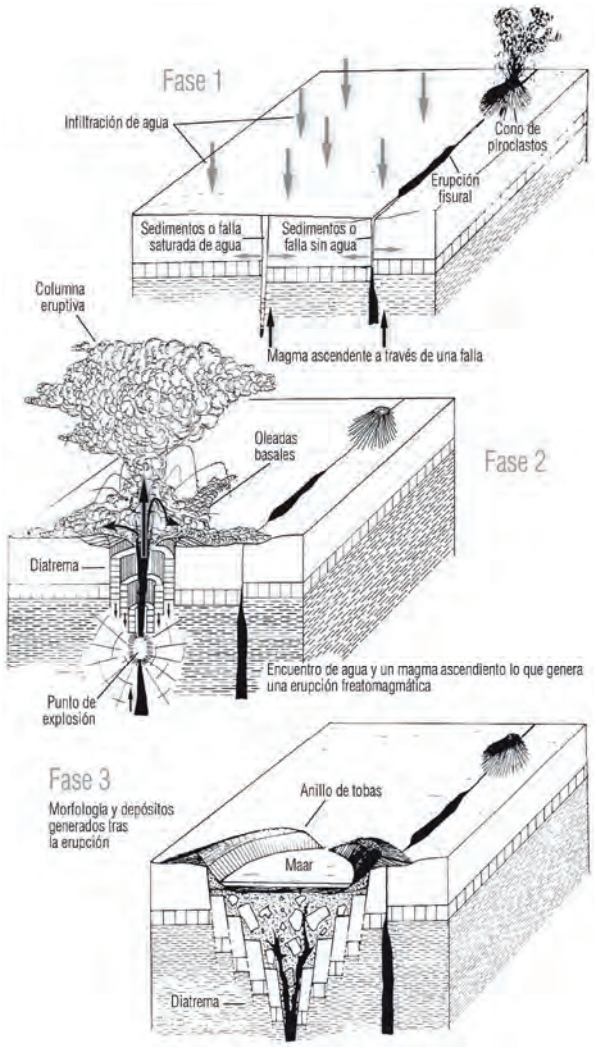
La salida del magma a la superficie se realizó a través de la trama reticular de fallas y fracturas de dirección principal NO-SE y otras trasversales a las primeras, derivadas, como ya se comentó, de la orogenia varisca y reactivadas en la alpina y por la neotectónica, trama reticular que aprovechó el magma para atravesar la corteza terrestre. Pero trama reticular que es también capaz de almacenar agua en acuíferos de medios fracturados, en este caso en rocas metamórficas.

CUANDO MAGMA Y AGUA SUBTERRÁNEA SE ENCUENTRAN: ERUPCIONES HIDROMAGMÁTICAS

El ascenso de magma hacia la superficie y su encuentro con el agua de estos acuíferos existentes en la zona, bien en medios fracturados (cuarcitas, areniscas y pizarras), bien en medios detríticos no consolidados o carbonatados (depósitos terrígenos, calizas y margas), se resolvió con erupciones muy violentas, capaces de liberar cada una de ellas una energía equivalente a 6,5 kt de TNT (Büttner *et al.*, 2002).

Este contacto magma-agua responde a un mecanismo muy bien conocido en procesos industriales y reactores nucleares, lo que se conoce como interacción combustible-refrigerante (*Fuel-Coolant Interactions* o *FCI*) (Wohletz, 1993).

La huella de estas explosiones es la apertura de grandes depresiones, denominadas **cráteres de explosión hidromagmáticos o *maares*** (Figura 4), término propuesto por Steininger en 1819 a partir de un topónimo local que proviene de los lagos de la región de Eiffel (Alemania).



En el Campo de Calatrava a estos cráteres de explosión hidromagmática se les conoce localmente como "hoyas, navas y navazos», presentando dimensiones comprendidas entre 500 y 2.500 m., de forma subcircular a subelíptica y de profundidad variable (desde apenas unos metros, hasta superar el centenar) (Gosálvez Rey, 2012)

En determinadas circunstancias, los maares pueden almacenar agua alojando lagunas de carácter temporal (Figura 5). En el Campo de Calatrava son 50 las lagunas que hemos inventariado hasta la fecha, sobre un total de 170 maares (Gosálvez Rey, 2012).



Figura 5. Maar y laguna del Bú (Alcolea de Calatrava)

PARADA 1. VOLCÁN DEL CERRO DE LA CRUZ Y MAAR DE LAS PEÑAS DEL BÚ (ALCOLEA DE CALATRAVA)

La excursión se inicia en un municipio emblemático del Campo de Calatrava, con múltiples recursos ligados al volcanismo, entre los que destacan el yacimiento de fauna pliocena de Las Higueruelas, el monumento natural del volcán y la laguna de Peñarroya, el uso de adoquines y bordes de calles labrados en basaltos en algunas calles del pueblo, la plaza de los volcanes junto al cuartel de la Guardia Civil, el volcán del Cerro de la Cruz y el maar de las Peñas del Bú, entre otros muchos elementos.

En esta salida hemos optado por poner en valor dos recursos excepcionales como son el volcán del Cerro de la Cruz y el maar de Las Peñas del Bú.

Volcán del Cerro de la Cruz

Este volcán se desarrolló en una erupción principalmente estromboliana que construyó

un cono más o menos alargado y disimétrico, sobre una fractura estructural ONO-ESE responsable tanto del vallejo donde se emplaza como de su génesis.

Destaca la existencia de dos cráteres rematados en su borde por depósitos de *spatter*, resultando una morfología elíptica en su cima (Figura 6). Estos cráteres están abiertos hacia el SO con una morfología típica de herradura, pero ligeramente colmatados por los procesos erosivos y desdibujados por la acción humana (cantera de extracción).

Desde ambos centros de emisión se derramó una colada hacia el interior de la cuenca de Alcolea, con apenas 1 km de recorrido, dirigiéndose hacia el fondo de un cráter hidromagmático (El Cabezuelo), aunque sin llegar a colmatarlo.

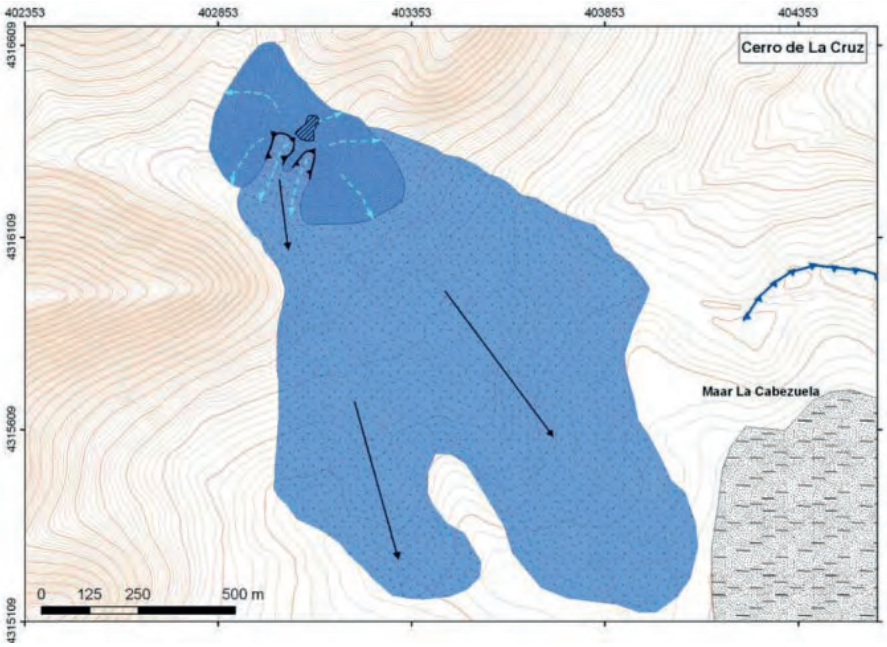


Figura 6. Mapa geomorfológico del volcán del Cerro de la Cruz

La cantera u "hormigonera" abierta en su flanco N, muestra el resultado de los pulsos explosivos de carácter estromboliano, procesos de fragmentación del magma y deposición de piroclastos de caída (lapilli y bombas principalmente) e incorporación de líticos accesorios (xenolitos) del roquedo basal. Estos últimos son clastos de cuarcita que presentan una vitrificación muy interesante fruto de las altas temperaturas del magma en el momento de incorporarlos en su ascenso (Figura 7).



Figura 7. Clastos de cuarcita vitrificados

En la base del cono se pueden observar los procesos típicos de arrastre de material piroclástico suelto hacia las partes más bajas, por efecto de la erosión, y el semienterramiento de los mismos por los coluviones de las sierras paleozoicas circundantes.

Este volcán no cuenta con datación absoluta, pero las coladas de lava se localizan por encima de las calizas y margas ruscinienses (Plioceno inferior), por lo que la cronología de este volcán es como mínimo de esta edad o más joven.

Asociado al volcán del Cerro de La Cruz hay tres elementos patrimoniales de interés etnográfico e histórico que podremos observar en la visita.

En primer lugar, por orden cronológico, la existencia de una *maqbara* o cementerio musulmán en los piroclastos localizados al N del volcán, en parte destruida por la cantera de extracción de piroclastos; el segundo elemento la ermita de la Cruz y, por último, la "hormigonera" o cantera para extracción de piroclastos.

En el primer caso, la "*maqbara*", se trata de un pequeño espacio donde aparecen cinco fosas contiguas talladas en los piroclastos del volcán, estudiadas por Morales García y Urquiaga Cela (1999) (Figura 8). Están fosas están excavadas directamente en el terreno natural y son tipológicamente uniformes, simples y estrechas, con variaciones en las medidas inherentes al tamaño del difunto (adultos y niños). Las tumbas son bastante paralelas entre sí, con una orientación aproximada NE-SO. La planta de las fosas es rectangular y su sección cuadrangular, contando con prefosas rectangulares.

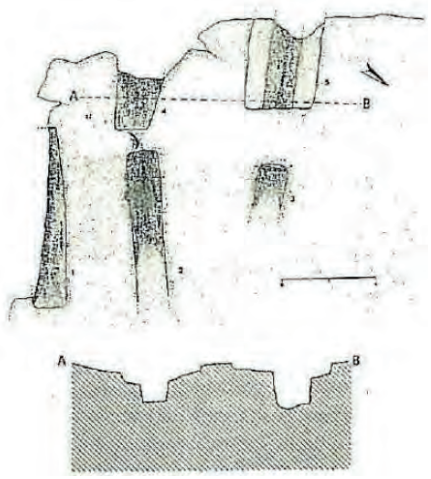


Figura 8. Planta y sección de las fosas de la maqbara del Cerro de la Cruz. Tomado de Morales y Urquiaga (1999).

La extrema austeridad de estas fosas es debida a la prescripción religiosa oficial en al-Andalus que preconizaba que las fosas no debían ser más profundas «que la cintura de un hombre y debían excavarse en la misma tierra, sin obra de yeso, ni fábrica. El cadáver, previamente lavado, amortajado y perfumado, era conducido al cementerio más próximo a su domicilio para ser enterrado sobre su costado derecho, de ahí la acusada estrechez de la tumba, con el rostro vuelto hacia La Meca.

La fosa se cubría con ladrillos o piedras a nivel del mismo suelo, pudiéndose colocar alguna piedra labrada en la cabecera (Navarro Palazón, 1985:10; Izquierdo Benito, 1989:393-394).

Este tipo de inhumaciones de origen islámico practicadas en fosas simples y cubiertas simplemente por lajas de piedra o tejas, como parecen evidenciar los escalones laterales de algunas fosas, corresponden a un tipo primario de enterramientos, quizás anterior al siglo XII y muy característicos en ambientes campesinos (Peral Bejarano, 1995). Prospectado el cerro de la Cruz Morales y Urquiaga detectaron abundantes fragmentos cerámicos adscritos a época andalusí.

Se desconoce hasta la fecha el espacio que ocupa la necrópolis, pero a juzgar por los restos detectados debe de extenderse por gran parte de la ladera Noreste del cerro de la Cruz.

La asociación de religión y naturaleza es muy habitual y por ello la **ermita del Cerro de la Cruz** de Alcolea de Calatrava ha buscado una posición elevada, en lo alto del volcán (Figura 9), que unida a los valores de este espacio natural, tiene una especie de evocación para la población.

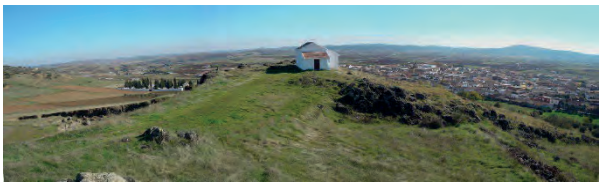


Figura 9. Ermita de la Santa Cruz en la cima del volcán del Cerro de la Cruz.

Este espacio es el escenario donde se desarrolla la romería de San Isidro que se festeja en mayo en este cerro, donde los vecinos de la localidad acuden para compartir almuerzo y limonada.

Esta ermita, de reciente construcción, es de una sola planta y unos 90 m^2 de superficie, presentado una forma rectangular, disimétrica, con un tejado de teja árabe curva a dos aguas, más extendido hacia el sur. El pórtico de la entrada se ha cerrado y presenta una puerta. Todas las paredes de la ermita se encuentran encaladas en blanco.

Por último, la **cantera u hormigonera** del volcán del Cerro de la Cruz era una explotación rudimentaria para la extracción de picones o carbonillas con un carácter de abastecimiento local (Escobar, 2015). Estos materiales en función de su tamaño y calidad, se destinaban a diferentes usos. Las fracciones más finas -cenizas- se empleaban para enmendar determinados tipos de suelos agrícolas; mientras que los elementos más groseros se empleaban en la construcción de tapiales, pavimentación de caminos o para construcción de viviendas humildes o rústicas.

La particularidad de la hormigonera del cerro de la Cruz es que se ha excavado una parte importante de ella en forma de cueva (Figura 10), lo que nos permite introducirnos en las entrañas del volcán, lo que le otorga un gran valor geoturístico.



Figura 10. Cuevas excavadas en los piroclastos del volcán del Cerro de la Cruz para la extracción de material para la construcción.

Maar de las Peñas del Bú y su Laguna

Localizada al NO del núcleo urbano de Alcolea de Calatrava, a tan solo 1000 m del centro del pueblo y a 500 m del volcán del Cerro de la Cruz, aparece una amplia depresión rodeada por los cerros de las Peñas del Bú, San Antón y La Solana, en la carretera que une Alcolea con Piedrabuena y Picón y pegada a la Cañada Real Soriana.

Se trata de un maar cuya morfología y la de la laguna que alberga es elíptica, con su eje mayor orientado NO-SE (Figura 11). Sus dimensiones son de 700 x 400 m, con un perímetro de 1700 m y una superficie de 20 ha y una profundidad máxima de 50 cm, lo que le permite almacenar hasta 0,1 Hm^3 de agua los años de buenas lluvias.

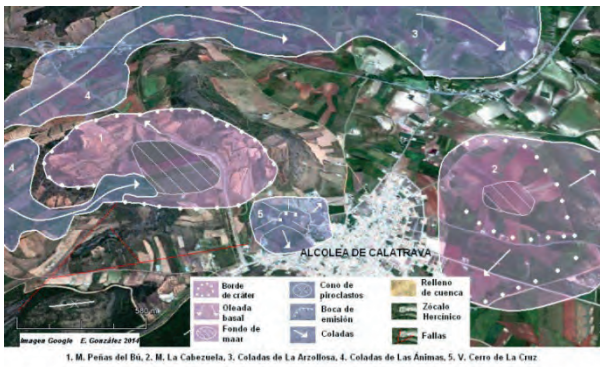


Figura 11. Esquema geomorfológico del entorno del núcleo urbano de Alcolea de Calatrava.

La conductividad del agua es de 82 microS/cm con un pH de 7.4, lo que nos habla de aguas muy poco salinizadas, típicas de sustratos silíceos.

Esta gran depresión se generó en una erupción freatomagmática, tal y como lo demuestra la presencia de lapillis acrecionales (Figura 12), en un contexto geomorfológico dominado por sierras cuarcíticas de la Era Primaria y edificios volcánicos plio-cuaternarios.

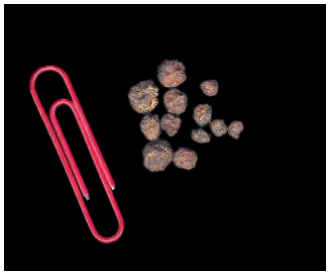


Figura 12. Lapilli acrecional recogidos en el sedimento de la laguna del Bú.

El magma que subía a través de las fracturas que parten el basamento varisco se encontró con agua freática almacenada en fallas y fracturas, interaccionando con ella en una violenta explosión que rompió la sierra y depositó materiales hidromagmáticos alrededor de la misma.

Hoy la laguna (Figura 13) es inexistente pues ha sido desecada mediante zanjas de drenaje perimetrales reactivadas en el verano de 1996, cuando la laguna recogió bastante agua tras un periodo de intensas lluvias, todo ello con la

intención de mantener un cultivo de cereales. En la parte E y SE existe un vertedero de basuras y escombros clausurado en la actualidad, con una disposición perimetral a lo largo de la orilla, y aprovechando la existencia de una cañada real. Tres tendidos eléctricos, dos de baja tensión y uno de alta, bordean la laguna por todos sus lados.



Figura 13. Laguna del Bú.

Desconocidos los elementos florísticos asociados a la propia laguna, que en la actualidad han sido sustituidos por cultivos herbáceos de secano, sólo se ha podido determinar la presencia de *Ranunculus peltatus* en la zanja de drenaje perimetral.

La vegetación del entorno se encuentra dominada por un mosaico agrícola de olivares y cereales, y por la presencia, sobre todo en las laderas de las Peñas del Bú, de formaciones vegetales subseriales del encinar silicícola lusoextremadurense, dominando formaciones de tipo matorral o arbustivas Los elementos florísticos dominantes son el cantueso *Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata*, la encina *Quercus rotundifolia*, el labiérnago *Phillyrea angustifolia*, esparto *Stipa sp*., retama o escoba *Cytisus scoparius* y torvisco *Daphne gnidium*. En las zonas sin desarrollo edáfico, donde la cuarcita aflora, aparecen el ombligo de Venus *Umbilicus rupestris* y el clavelillo de roca *Dianthus lusitanica*, entre otras numerosas especies.

Se ha podido determinar la presencia de *Triops cancriformis* y comunidades de invertebrados y microorganismos acuáticos en la columna de agua de la laguna.

En cuanto a las aves, en esta laguna se han observado cigüeñuelas comunes, gaviotas reidoras, chorlitejos patinegros y ánades azulones.

Por Acuerdo del Consejo de Gobierno de 6-11-1998, fue declarada la laguna como área no registrable a efectos de la legislación de minas.

PARADA 2. HIDROGEOLOGÍA EN ROCAS VOLCÁNICAS: EL VOLCÁN DE LA ARZOLLOSA Y EL MANANTIAL DE LA CUEVA DEL CASTILLO

La segunda parada del Hidrogeodía 2025 en Ciudad Real es para visitar un elemento singular, poco conocido, vinculado al aprovechamiento de las aguas subterráneas del volcán de Piedrabuena, conocido también con el nombre de Manoteras o Arzollosa. Se trata del manantial de la cueva del Castillo, localizado en la calle Cofradía, 14.

El volcán de La Arzollosa se caracteriza por presenta la mayor extensión de coladas de lava de todo el campo volcánico calatraveño, al cubrir más de 2000 ha de superficie. Las lavas emitidas rellenan una buena parte de la cubeta de Piedrabuena sobre la que se emplaza (más de 5 km de longitud) (Figura 14).

Este volcán está asociado a las fracturas que rompen y hunden el flanco oriental de la cubeta sedimentaria de Piedrabuena, localizándose en una erupción fisural que sigue una alineación N-S.

Sobre el conducto principal de emisión, situado aproximadamente a 3 km al norte del núcleo urbano, se levanta un esbelto cono, formado por material de proyección aérea (Figura 15). Este cono de 81 m de altura relativa, está en parte recubierto por las coladas que descienden, formando suaves rampas, hacia el S y SO.

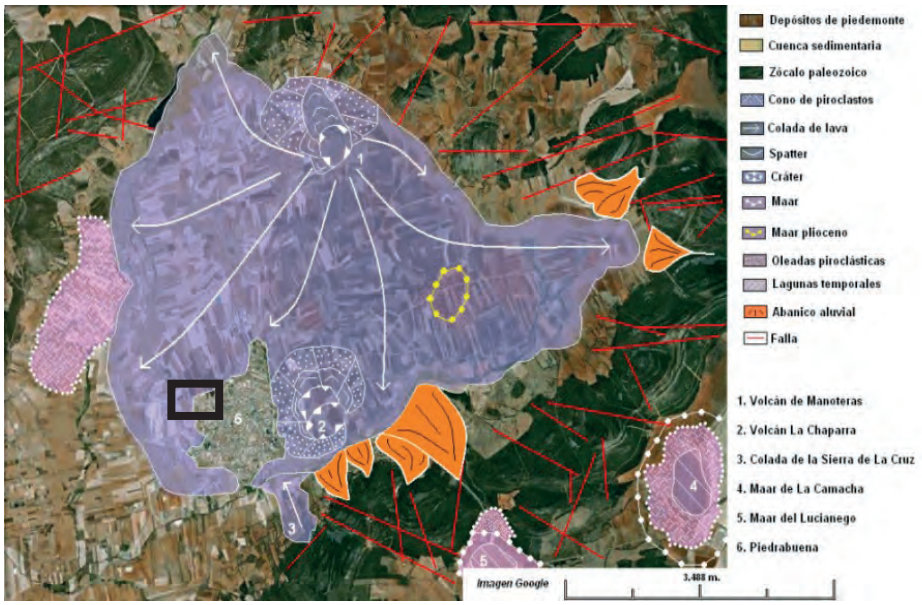


Figura 14. Esquema geomorfológico de los volcanes del núcleo urbano de Piedrabuena y su entorno.

En el interior de la depresión destaca la existencia de varios volcanes que fueron enterrados completamente por las coladas, como un cráter hidromagmático plioceno, o semienterrados, como es el caso del volcán de La Chaparra, pequeño edificio piroclástico situado en la zona Sur de la cubeta.

La Chaparra es una acumulación de lavas y piroclastos de caída, que forman un cerro achatado, en consonancia con su topónimo, elevándose entre 10 y 12 m en relación con los mantos de lava mencionados.

La Chaparra ha emitido cortas pero potentes coladas, que la erosión fluvial ha dejado colgadas sobre el vallejo del arroyo de Valdefuentes. Bajo los materiales de este volcán se distingue un depósito muy alterado de oleadas piroclásticas basales en el que se aprecian estructuras de tipo *sand wave*.



Figura 15. Vista aérea del volcán de La Arzollosa.

Las coladas de lava se generaron en una erupción típicamente efusiva, con emisión de fuentes de lava, llegando a superar los 20 m de potencia en algunos puntos, formando la mayor plataforma lávica y negrizal de toda la región volcánica, como ya hemos comentado.

Gracias a la erosión de las coladas y a la apertura de caminos, se puede adivinar la estructura interna de éstas. Se trata de lavas muy masivas y que presentan en la parte superior estructuras esferoidales (bolos), fruto de procesos de enfriamiento (disyunción esférica) y sobre todo erosión/disgregación de la roca volcánica.

El paisaje, la morfología del volcán, la existencia de rutas de senderismo, su declaración como Monumento Natural, hacen del volcán de La Arzollosa de Piedrabuena uno de los conjuntos volcánicos más interesantes de la región volcánica calatrava. Importantes son también los valores de uso de este edificio volcánico, uno de los mejores ejemplos de parcelación agraria comarcal.

En relación con las coladas de lava del volcán de La Arzollosa hay toda una serie de manantiales y fuentes por las que afloran, de manera natural o por el ser humano, las aguas que fluyen por su interior (Figura 16).



Figura 16. Fuentes, pozos y albercas en el volcán de la Arzollosa

De todas ellas destacan por su singularidad la Cueva del Castillo y sus galerías subterráneas (Figura 17) construidas a finales del siglo XIX por el Ayuntamiento de Piedrabuena con la intención de asegurar el abastecimiento de la población y de los abrevaderos del pueblo (Félix Ortega y Raúl Muñoz, com. pers.).



Figura 17. Galerías de la cueva del Castillo

El aprovechamiento de las aguas que afloran en el volcán de Piedrabuena se ha realizado mayoritariamente a través de pozos y en algunos casos acompañados de galerías de disposición horizontal.

La visita a la cueva del Castillo nos permitirá conocer *in situ* estas galerías horizontales, que son uno de los sistemas de aprovechamientos del agua más ancestrales y extendidos en el planeta. Los antecedentes históricos a esta tipología de obras, se encuentran en el siglo VIII a.C., los *"quanats"*, canales subterráneos artificiales que transportaban el agua a grandes distancias. Las citas más antiguas posiblemente sean las de Qaná, Jericó, Jerusalén, Marrakech y la isla de Sicilia. En España, Canarias tiene una larga experiencia en el aprovechamiento de sus aguas subterráneas mediante minas o galerías.

Las minas o galerías de agua son perforaciones o túneles cuyos trabajos de perforación se realizaban con ayuda de explosivos o a pico y barreno, mediante una perforación ligeramente inclinada, lo que permitía su drenaje natural, evitando así la necesidad de bombear el agua para su aprovechamiento. La galería tiene como finalidad alcanzar una veta de agua y extraer el líquido.

Las galerías se suelen construir con una alineación recta, aunque en determinadas ocasiones y debido a los materiales que van apareciendo y su orientación, puede haber cambios de rumbo, incluso ramales en determinados momentos de la excavación.

Todo esto lo podremos ver en el Cueva del Castillo, donde observamos dos ramales que convergen en un tercero que drena las aguas hacia el exterior.

En el caso de la Cueva del Castillo, la obra fue ejecutada posiblemente por mineros de Puertollano, siendo ejecutada a pico y barreno (Félix Ortega, com. pers.). Sin embargo, fue un fracaso porque no se encontró toda el agua que se pensaba por lo que se abandonó para los fines iniciales y la poca que se extraía se derivó a la zona de Los Quiñones, una zona de huertas situada en una cota inferior en la zona alrededor del cementerio (Raúl Muñoz, com. per.).

Posteriormente, la salida fue tabicada y el represamiento del agua en esta zona se uso para abastecerse la población de agua y para pozos de viviendas localizadas alrededor (Félix Ortega, com. Pers.). Más recientemente, la zona fue cerrada al público por el miedo de que alguna persona, especialmente niños, pudieran caer y ahogarse, destinándose ahora a la exhibición de una de las cruces de mayo más famosas de esta localidad.

Las galerías han sido labradas bajo una colada de lava de unos 3-4 m de potencia, aprovechando posiblemente un manto de piroclastos de caída o de escorias asociadas a la brechificación de la propia colada en su base (Figura 18).

Felix Ortega (com. pers.) afirma que se pueden distinguir de muro a techo la siguiente secuencia estratigráfica en la mayor parte de los pozos excavados en las coladas: 1) suelo actual, 2) colada de lava, 3) escorias o piroclastos cohesionados, 4) Greda, 5) materiales carbonatados.



Figura 18. Materiales y estratigrafía en la Cueva del Castillo. Arriba: contacto entre la base de la colada y los materiales excavados por las galerías. Enmedio: detalle de los materiales excavados. Abajo: vista de la colada de lava y sus características texturales.

El manantial de la Cueva del Castillo y otras fuentes y manantiales en las coladas de lava del volcán de La Arzollosa nos permite introducirnos en la exploración de aguas subterráneas en rocas volcánicas.

La naturaleza y estructura de este tipo de rocas, muy variables en el espacio tridimensional, con alternancia de coladas de lava, mantos de piroclastos, almagres o diques, hace que manantiales o pozos excavados en rocas volcánicas pueden dar grandes caudales con pequeños descensos del nivel, pero en la misma formación y a escasa distancia pueden ser estériles (Custodio, 1978; Custodio y Llamas, 1976).

Estas circunstancias se deben a la existencia de una serie de condicionantes que hay que tener en cuenta en relación con las aguas subterráneas en rocas volcánicas (La Moneda, 2001, doc. interno):

- Los materiales lávicos sufren un proceso de enfriamiento rápido tras su deposición originando fracturas de retracción (diaclasas) que originan discontinuidades en los cuerpos rocosos (primas, lascas).
- En los materiales volcánicos existen huecos o vacíos generados por las condiciones de deposición del material (tubos volcánicos, huecos de las escorias de techo y base de colada, etc.) que pueden estar conectados o no localmente.
- Las características estructurales y texturales iniciales de los materiales volcánicos son alteradas por procesos posteriores a su emplazamiento, como colmataciones y compactaciones que disminuyen los huecos y sus conexiones, al tiempo que existen procesos de lixiviado, descompresión y fracturación que aumentan los huecos y discontinuidades.
- El buzamiento de las coladas de lava condiciona el movimiento horizontal de las aguas subterráneas, ya que estas se van moviendo a través de las escorias (de techo o de base) o fisuras siguiendo el camino que le obliga la gravedad o diferentes estructuras impermeables (Figura 19).

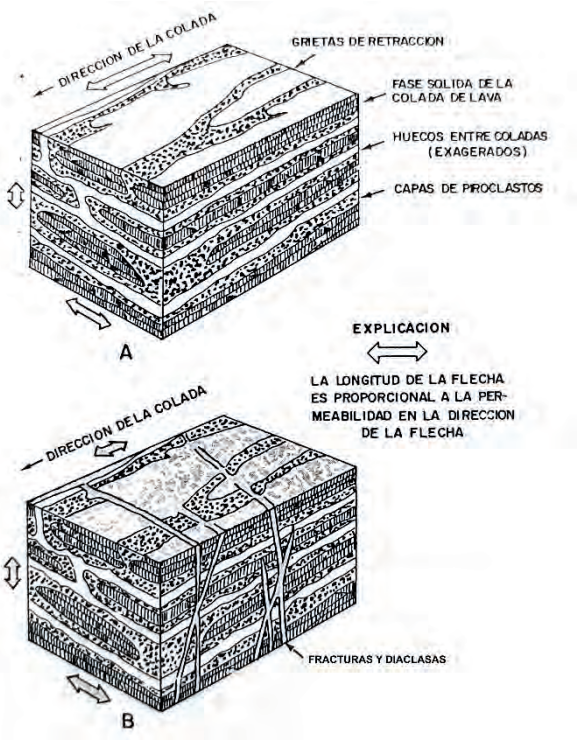


Figura 19. A. Características de una formación volcánica sin fracturas o diaclasas cuya permeabilidad es mayor en la dirección del flujo de la lava. B. Modificaciones introducidas en esa misma formación por la aparición de facturas y diaclasas (basado en Takasaki y Valenciano, 1969 y en Custodio y Llamas, 1976).

- Otro elemento importante en la hidrogeología de los acuíferos asociados a materiales volcánicos son los paleosuelos o *almagres*, suelos con alto contenido en arcilla que al pasarle por encima una colada de lava los cuece haciéndolos impermeables. Por ello, se pueden asociar a manantiales, en función de la posición de estos y del movimiento del agua entre ellos. Estos suelos o paleosuelos, son fácilmente reconocibles en campo por su color rojizo.

Por último, tendríamos que hablar de las propiedades físicas y químicas de las aguas que circulan a través de materiales volcánicos, que está muy influenciada por las características

litológicas y estratigráficas descritas anteriormente de la formación volcánica que la contiene.

Estas características de las aguas varían de una zona a otra cercana, debido a la anisotropía y heterogeneidad de los depósitos volcánicos. Ello hace que el agua captada de una galería con respecto a otra cercana pueda variar notablemente en cantidad y calidad. Incluso puede haber zonas que se vean afectada por la presencia de gases endógenos profundos, de origen mantélico, principalmente CO_2, dando lugar a los famosos hervideros y fuentes agrias que salpican todo el Campo de Calatrava, como la Fuente Agria y su baño en Piedrabuena (Figura 20).



Figura 20. Fuente Agria de Piedrabuena.

No hemos podido evaluar las características hidroquímicas de las aguas de las galerías de la Cueva del Castillo, solo contamos con la calificación de "aguas gordas o duras" proporcionada por Félix Ortega (com. pers.). Por aguas gordas o duras se conocen aquellas que llevan en disolución sales que han arrastrado a su paso por terrenos ricos en componentes solubles. Las principales características de estas aguas son un sabor fuerte que puede llegar a hacerlas desagradables para la bebida, a cortar el jabón o dejar duras las carnes cocidas con ellas. Precisamente en esto último se encuentra el origen del calificativo de "duras" que les ha dado nombre.

RUTA. FUENTE Y ALISEDA DE LA ANGORRILLA (LOS POZUELOS DE CALATRAVA)

La última parte del Hidrogeodía consistirá en una ruta que nos llevará a la única aliseda existente entre Los Montes de Toledo y Sierra Morena, localizada en un punto muy singular, la Fuente de la Angorrilla, que se caracteriza porque en ella convergen cuatro términos municipales: Los Pozuelos de Calatrava, Abenójar, Cabezarados y Corral de Calatrava (Figura 21).



Figura 21. Mojón o hito divisorio de la Fuente de La Angorrilla.

La importancia de visitar esta zona a los efectos del Hidrogeodía es conocer y explicar el origen de esta aliseda única en una zona de transición entre las unidades naturales de Los Montes de Ciudad Real y el Campo de Calatrava.

Una aliseda cuya existencia consideramos ligada estrechamente al afloramiento de aguas subterráneas en el paraje de la Huerta del Guindalejo y, en concreto, en la Fuente de la Angorrilla.

Una aliseda es una formación arbórea ribereña integrada por el aliso común *Alnus glutinosa*, un árbol de la familia de las betuláceas extendido por Europa y el SO de Asia.

El aliso, el árbol que sangra

El aliso común es un árbol que presenta una media altura (20-30 m), de color verde oscuro, fuerte por el haz y más claro por el envés, presentando un limbo redondeado (Figura 22). Una originalidad de sus hojas es que permanece verdes hasta su caída.



Figura 22. Ilustración de las hojas y semillas del aliso común del Prof. Dr. Otto Wilhelm Thomé. Fuente: Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, 1885.

El aliso común se propaga fácilmente por semillas, aunque emite abundantes chupones desde la raíz. Pronto pierde la raíz principal y desarrolla numerosas raíces secundarias oblicuas y otras terciarias verticales de anclaje fuerte, más profundas, lo que le permite resistir avenidas y riadas. En condiciones de inundación continuada produce raíces adventicias tiernas y ramificadas en el tronco.

En las raíces someras posee nódulos fijadores de nitrógeno atmosférico lo que le permite

crecer en suelos pobres en nutrientes donde prosperan pocas especies de árboles.

El aliso necesita tener sus raíces permanentemente embebidas en agua, tolerando el encharcamiento periódico siempre que haya renovación de agua corriente. La madera es muy resistente en el agua y por eso se ha usado para realizar palafitos, como en Venecia, donde los cimientos de los edificios son de esta madera. Allá donde el agua pudre a otras maderas, a la de aliso la hace más fuerte, gracias a la mineralización del leño: van depositándose sales inorgánicas en el interior de las células lignificadas, lo que mejora notablemente sus propiedades. Además, se trata de una madera que arde mal.

En la mitología nórdica, el aliso es un símbolo de la resurrección, probablemente porque la madera pasa del blanco al rojo cuando es cortada, recordando a la sangre humana. Los primeros humanos de la mitología nórdica fueron creados a partir de fresnos y alisos.

Los indicadores ecológicos de esta especie, siguiendo los criterios de Ellenberg et al. (1991), consideran a esta especie como un taxón de ambientes de penumbra, que soporta un calor moderado, suelo encharcados y ricos en nitrógeno. No soporta la presencia de sales y los suelos deben ser débilmente ácidos (pH entre 4,5 y 7,5).

La aliseda de la Angorrilla, un relicto paleoclimático

La aliseda de la Angorrilla (Figura 23) es hoy un relicto vegetal de un paleoclima desaparecido actualmente en nuestra latitud, que se correspondería con el actual clima atlántico-oceánico del norte de la península Ibérica.

Las alisedas se integran en un hábitat de interés prioritario recogido en el anexo I de la Directiva europea Hábitats: *los bosques aluviales residuales de la Europa templada (91E0)*. Este tipo de hábitat comprenden formaciones arbóreas y arborescentes hidrófilas dominadas en la península Ibérica principalmente por abedules *Betula sp*., alisos *Alnus glutinosa*, avellanos *Corylus avellana*, fresnos montanos *Fraxinus excelsior* o álamos negros *Populus nigra* que se instalan en cursos medios y altos de los ríos, siendo muy raras en la mitad sur peninsular (Costa et al., 2005; Calleja, 2009).



Figura 23. Vista aérea de la Aliseda de la Angorrilla, siguiendo el cauce del arroyo de Los Santiagos.

En la provincia de Ciudad Real aparecen alisedas en las unidades naturales de Los Montes de Toledo y en Sierra Morena, presentando una distribución residual en Los Montes de Ciudad Real (Luengo, 2006).

La existencia de este enclave se debe a una serie de factores geográficos y ecológicos, pero entre los que destacan por encima de todo es el papel que juegan las aguas subterráneas vinculadas a la intensa fracturación del relieve apalachense en esta zona.

Se sabe que este taxón es propio de climas húmedos, siendo su principal apetencia ecológica la existencia de precipitaciones constantes a lo largo del año o al menos sin un periodo de sequía (Rovira y Tous, 2004).

Siguiendo la clasificación de Köppen, nos encontramos en un clima Csa, mediterráneo continentalizado, con un verano seco y cálido y con grandes oscilaciones térmicas. La estación meteorológica más cercana es la de Abenójar, registrándose en ella 497 mm de precipitación media anual y 808,4 mm de evaporación media anual (Gosálvez, 2012) (Figura 24).

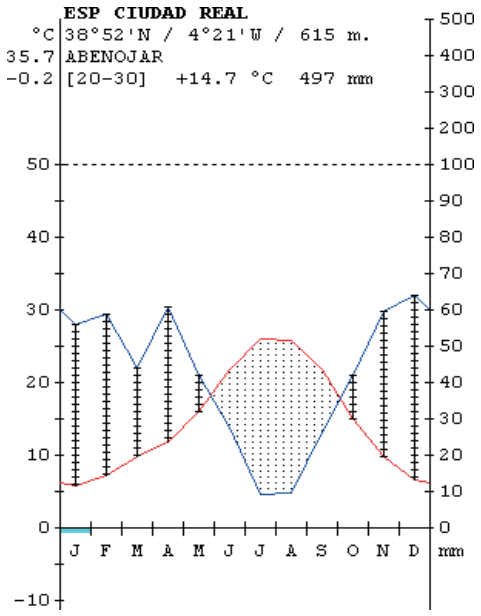


Figura 24. Datos climáticos estación meteorológica de Abenójar. Fuente: Rivas-Martínez y Rivas-Sáenz, 1996-2021

Queda claro que el clima actual de la zona no permite la supervivencia de la especie por falta de humedad, por lo que debe haber un mecanismo de compensación, siendo el existente en la aliseda de la Angorrilla la presencia de agua permanente en el cauce de los arroyos que alimentan a la fuente homónima, permanencia incluso en años extraordinariamente secos. Nuestra hipótesis es que el alumbramiento de las aguas subterráneas procedentes de la fracturación varisca y alpina del macizo de cuarcitas donde se asienta y que drena en la Fuente de la Angorrilla, lo que compensa el déficit de disponibilidad de agua en superficie y en la atmósfera.

La aliseda se dispone sobre una geología que, en gran medida, es la responsable de su existencia. El cauce principal se compone de depósitos de piedemonte disectados por la erosión fluvial, poco consolidados y con poca matriz, cuya procedencia se debe a la erosión de los relieves colindantes (Ortega y Sánchez, 1983).

El basamento que subyace bajo estos coluviones es la cuarcita armoricana, materiales que fueron afectados por la orogenia varisca, originando un conjunto de pliegues anticlinales y sinclinales que presentan una densa red de fracturación que favorecen bloques levantados y hundidos, retocados posteriormente por la orogenia alpina y la neotectónica (García Rayego, 1995).

El arroyo principal que aúna a todos los de la zona es el Barranco de Los Santiagos, que discurre sobre una importante falla de dirección SO-NE, falla que es interceptada por otra de similares características que se dispone de manera transversal (orientación OSO-ESE). El cruce de las fallas principales coincide exactamente con el nacimiento de la Fuente de la Angorrilla, el manantial que da sustento a la aliseda (Figura 25 y 26).

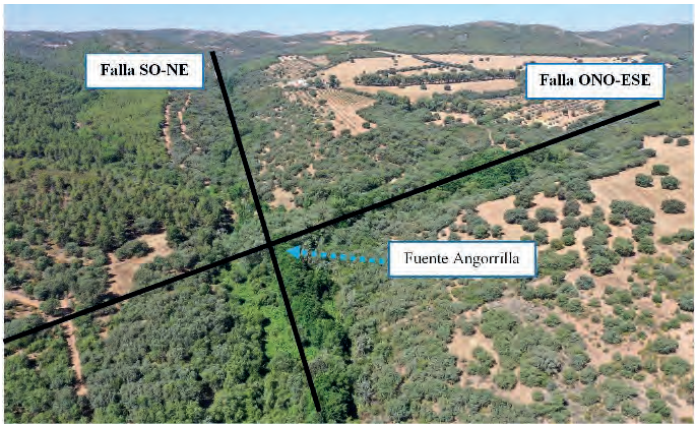


Figura 25. Sistema de fallas que controla la fuente de La Angorrilla y la aliseda asociada.

En estas circunstancias, los alisos aparecen entre los 550 y los 590 msnm, a lo largo de unos 1700 m de longitud, distribuyéndose irregularmente por el cauce de los arroyos estudiados en función de la potencia del coluvión que da sustento a la formación, pues las aguas se infiltran intermitentemente para volver a emerger unos metros más abajo, lo que provoca que existan tramos en los que apenas hay alisos, llegando incluso a desaparecer.

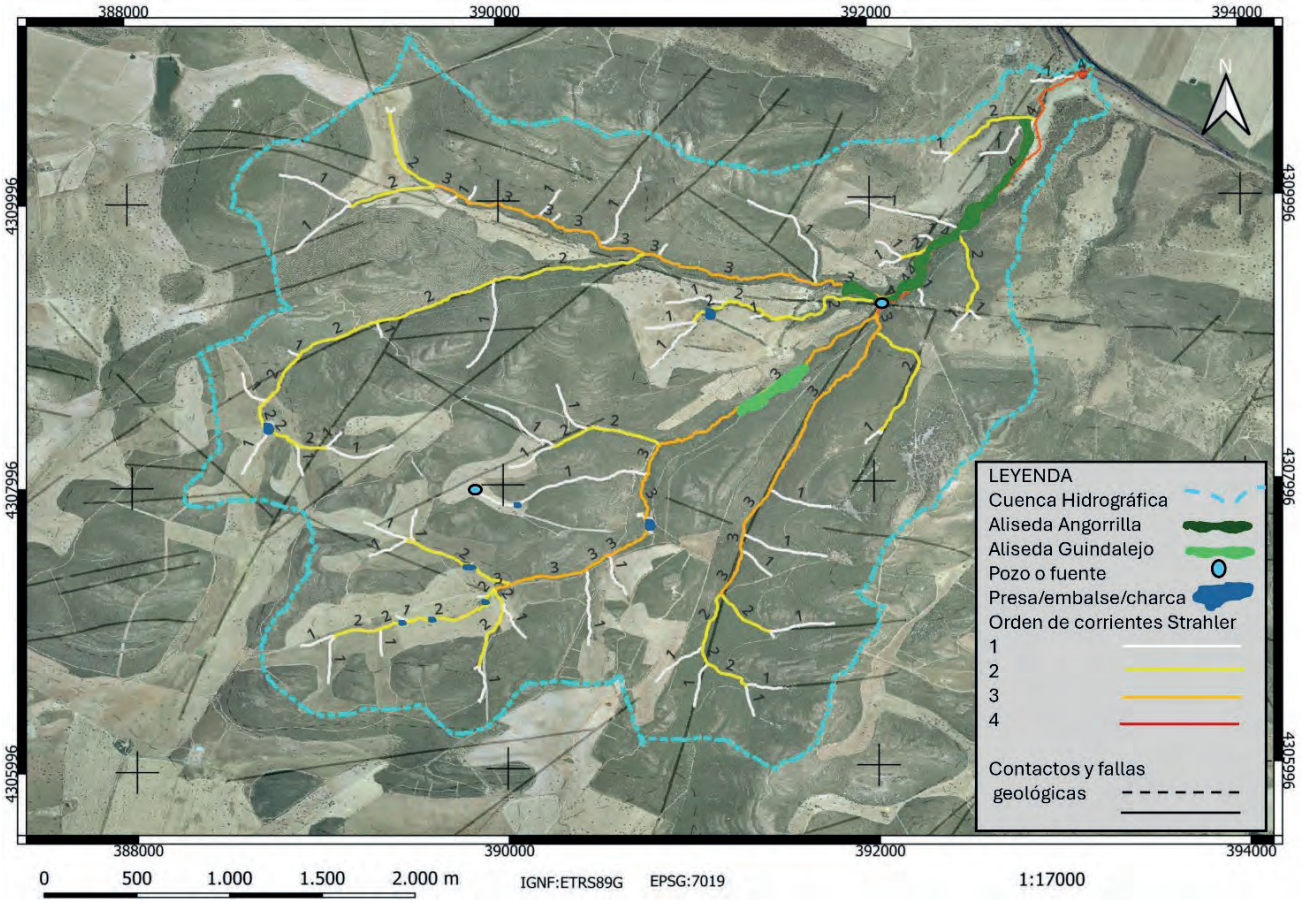


Figura 26. Cuenca hidrográfica y red de drenaje que drena al arroyo de los Santiagos. Se muestra el orden de las corrientes fluviales y se localizan las alisedas y pozos, fuentes, embalses y charcas existentes. Las fallas se presentan como líneas negras continuas.

La cuenca hidrográfica es pequeña, drenando una superficie (A) de 16,07 km^2, presentando un perímetro (P) de 21,44 km, y un relieve (H) moderado (desnivel de 299,46 m). El Ratio de Elongación (Re) de la cuenca es de 58,22 (forma circular) y el Ratio de Circularidad (Rc) es de 0,44 (forma elongada). La pendiente media es de 11,3° (20%). La cuenca presenta una densidad de drenaje (Dd) de 2,55 km/km^2 y una textura de drenaje (Dt) de 5,83, lo que nos indica una textura de drenaje fina. La frecuencia de corrientes (Fs) es de 7,78 km/km^2, muy alta. El Orden de cauces, siguiendo a Strahler, es de 4. La longitud media de las corrientes (Lm) es de 0,33 km. La Ratio de bifurcación (Rb) es baja, de 1,98, lo que nos informa de una litología uniforme y pendientes suaves. La longitud del flujo superficial (Lo) es de 0,2 km, lo que indica una alta densidad de drenaje. El número de corrientes identificadas es de 125, con una longitud total de 40,96 km. La longitud, sinuosidad y el gradiente del canal principal es de 2,57 km, 33,03 y de 116,68 m/km, respectivamente, lo que nos indica un canal de tipo serpenteante y de alto gradiente.

Peinado (2008) sugiere que el aliso se instala únicamente en cauces que no se secan en verano, como podemos apreciar en estos arroyos. Por ello esta aliseda se presenta fragmentada en función de que las aguas circulen en superficie o de manera subsuperficial, pues a pesar de que el arroyo no se seca, la disminución de caudal durante el estío afecta al flujo de agua en superficie.

La separación ecológica entre las alisedas y otras formaciones parece deberse a la regularidad del flujo hídrico, pues en las zonas que experimentan estiaje más acusado son las saucedas, pobedas y fresnedas las que se imponen (Peinado, 2008).

La aliseda de la Angorrilla fue descubierta desde el punto de vista botánico por el geógrafo Enrique Luengo a finales de la década de 1990 (Luengo, 2006). Posteriormente ha sido estudiada en profundidad por Buitrago Bravo (2021) y Buitrago Bravo et al. (2022).

Esta formación arbórea ocupa en la actualidad una superficie de algo menos de 4 ha, albergando una población que se ha estimado en 1200 individuos, con una distribución espacial lineal, vinculada a las riberas del barranco de Los Santiagos y su afluente el arroyo de Cerro Enebro.

Los parámetros biométricos de la población se presentan en la Tabla 1 y su estructura demográfica en la Figura 27, denotando esta última que estamos ante la presencia de un bosque maduro con algo de reclutamiento de nuevos individuos.

	A (m)	Pb (cm)	Db (cm)	P130 (cm)	D130 (cm
Media	12,1	41,3	129,7	33,4	105,0
Mediana	12,0	41,7	131,0	33,4	105,0
Moda	15,0	29,6	93,0		
Desviación típica	3,7	20,3	63,7	14,3	44,9
Varianza	13,8	411,2	4058,6	204,1	2014,7
Curtosis	0,4	5,8	5,8	5,8	5,8
Sesgo	-0,5	1,6	1,6	1,3	1,3
Rango	15,0	103,1	324,0	75,8	238,0
Mínimo	3,0	3,5	11,0	2,5	8,0
Máximo	18,0	106,6	335,0	78,3	246,0

Tabla 1. Parámetros biométricos de la aliseda de La Angorrilla. A: Altura; Pb: Perímetro en la base; Db: Diámetro en la base; P130: Perímetro a 130 cm; D130: Diámetro a 130 cm. Fuente: Buitrago Bravo (2021).

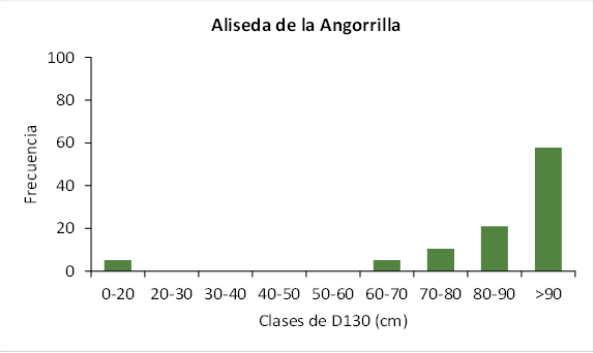


Figura 27. Estructura demográfica de las distintas formaciones vegetales estudiadas. Fuente: Buitrago Bravo (2021)

La aliseda presenta una gran vitalidad y un inmejorable estado de conservación, mejor que otras formaciones arbóreas ribereñas cercanas que también han sido estudiadas por Buitrago Bravo (2021) y Buitrago Bravo et al. (2022).

Este buen estado se ve favorecido por los abundantes recursos hídricos de que dispone y por la protección que le otorga la orla espinosa (principalmente zarzas *Rubus ulmifolius*) que se ha desarrollado en su seno.

Dado que la distribución de las especies no es homogénea a lo largo de la aliseda, esta se puede compartimentar para su análisis en tres partes (Luengo, 2008):

- Aliseda alta: desarrollada en el arroyo del Cerro del Enebro, de orientación E, ocupando unos 2000 m^2, siendo una formación de alisos cerrada y cercada por una orla espinosa, cuyo sombrío interior presenta un suelo despejado de cobertura arbustiva y con escasa vegetación herbácea, siendo masivos los grandes narcisos, cárices y juncos.
- Aliseda media: ya en el arroyo de los Santiagos, aguas abajo de la reunión de los arroyos Cerro del Enebro, Guindalejo y La Angorrilla, presentando orientación N. Es bosque galería lineal e impenetrable, que apenas deja pasar la luz a su interior.
- Aliseda baja: que presenta los alisos en núcleos dispersos, impenetrables y con una impresionante comunidad lianoide de trepadoras (madreselvas, clemátides, parras y zarzales).

Aunque la distribución de las especies no es homogénea a lo largo de la aliseda, *Clematis campaniflora*, *Iris phoetidissima* e *Iris pseudoacarus* solo aparecen bien representadas en la zona inferior. La planta que mejor definiría a esta aliseda sería el abundantísimo *Narcissus hispanicus* (Figura 28), que presenta unas densidades importantes, fuero de lo habitual en la región. También se caracteriza por la presencia de la enorme *Carex pendula*, que se encuentra en su límite centro-oriental de distribución.



Figura 26. Narcissus hispanicus en flor en marzo de 2025.

Un inventario sintético es difícil pues hay diferencias entre las tres partes de la aliseda, por lo que presentamos una para la formación principal, la aliseda alta y otro para la aliseda media baja (Luengo, 2006).

Inventario de la aliseda alta:

Interior: *Alnus glutinosa* 5, *Salix atrocinerea* +, *Rubus ulmifolius* +, *Erica lusitanica* +, *Lonicera hispanica* +, *Narcissus hispanicus* 4, *Prunella vulgaris 1, Galium broterianum 1, Galium palustris* +, *Hypericum undulatum 1, Lotus corniculatus* +, *Carex pendula* +, *Carex lusitanica 1, Carex distachya* +, *Eleocharis palustris 1, Juncus acutifolius 1, Myosotis repanda* +

Orla:*Alnus glutinosa* 1, *Salix atrocinerea* 2, *Populus alba* +, *Quercus broteroi* 2, *Q. rotundifolia* 1, *Q. coccifera* +, *Vitys sylvestris* +, *Rubus ulmifolius* 3, *Rosa canina* 1, *Phillyrea angustifolia* 1, *Erica arborea* 1, *Lonicera hispanica* 3, *Pteridium aquilinum* 2, *Narcissus hispanicus* 2, *Molinia caerulea* 1, *Brachypodium sylvaticum* 1, *Tamus communis* 1, *Bryonia dioica* +, *Teucrium scorodonia* +

Pie de ladera: *Quercus rotundifolia* 2, *Q. broteroi* 1, *Crataegus monogyna* 1, *Phillyrea angustifolia* 1, *Arbutus unedo* +, *Erica lusitanica* +, *E. australis* +, *Ruscus aculeatus* 1, *Cistus salvifolia* +, *C. monspeliensis* +, *C. ladanifer* +, *Halimium halimifolium* +, *Paeonia officinalis* 1, *Magydaris panacifolia* 1, *Teucrium scorodonia* 1, *Geum sylvaticum* 1, *Doronicum plantagineum* 1, *Tamus communis* 1, *Bryonia dioica* +, *Anemone palmata* +, *Umbilicus horizontalis* +, *Clinopodium vulgare* +, *Sesamoides purpurascens* +

Inventario tipo para la aliseda inferior:

Aliseda: *Alnus glutinosa* 3, *Quercus broteroi* 1, *Salix atrocinerea* 1, *Rubus ulmifolius* 2, *Pteridium aquilinum* 2, *Lonicera hispanica* 1, *Ruscus aculeatus* 1, *Clematis campaniflora* +, *Narcissus hispanicus* 3, *Iris phoetidissimus* +, *I. pseudoacarus* +, *Lythrum salicaria* 1, *Molinia caerulea* 2, *Carex pendula* 1, *Brachypodium sylvaticum* 1

Orla: *Alnus glutinosa* 1, *Quercus broteroi* 2, *Rubus ulmifolius* 3, *Pteridium aquilinum* 2, *Clematis campaniflora* 2, *Lonicera hispanica* 2, *Vitys sylvestris* 2, *Rosa canina* 1, *Paeonia officinalis* +, *Teucrium scorodonia* 1, *Tamus communis* 1, *Vincetoxicum nigrum* +

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA 2025

Coordinador:
Dr. Rafael Ubaldo Gosálvez Rey
Maestro de E. Primaria y Geógrafo

Autores de la Guía:
Dr. Rafael Becerra Ramírez
Geógrafo
Pedro Pablo Buitrago Bravo
Geógrafo
Dra. Estela Escobar Lahoz
Geógrafa
Dr. Máximo Florín Beltrán
Hidroecólogo
Dra. Elena González Cárdenas
Geógrafa
Dr. Rafael Ubaldo Gosálvez Rey
Maestro de E. Primaria y Geógrafo
D. Enrique Luengo Nicolau
Geógrafo

Colaboradores:
Adrián Navas Berbel
Maestro de Educación Primaria
Beatriz Morales Pérez
Educadora ambiental

AGRADECIMIENTOS

- Félix Ortega Albalate
- Raúl Muñoz Fernández
- Excmo. Ayuntamiento de Piedrabuena
- Geoparque "Volcanes de Calatrava. Ciudad Real"
- Asociación de Desarrollo Entreparques

NOTAS ORGANIZATIVAS

La organización se reserva el derecho a realizar **cambios tanto en las paradas como en la fecha de celebración de la salida de campo** según las condiciones de accesibilidad a los recursos y a las circunstancias meteorológicas, incluso a suspenderlo si fuera necesario.

La organización dispone de seguro de accidentes y de responsabilidad civil.

Los **menores de edad** (no se recomienda para menores de 6 años) deberán asistir acompañados por un padre, madre o tutor, que será responsable de los mismos y de sus actos.

Se recomienda a todos los participantes el uso de ropa y calzado adecuado para transitar por pistas, y llevar comida y bebida para comer en el campo.

Durante el Hidrogeodía se tomarán fotografías y vídeos que podrán utilizarse con fines divulgativos y publicitarios de la actividad, pero no con fines comerciales. La asistencia al Hidrogeodía implica la aceptación de estos términos, es decir la cesión gratuita y voluntaria de los derechos de imagen durante la realización de esta actividad.

PARA SABER MÁS....

Ancochea, E. (1983). *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central.* Colección Tesis Doctorales nº 203/83. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Ancochea Soto, E. y Huertas Coronel, M.J. 2021: Radiometric ages and time-space distribution of volcanism in the Campo de Calatrava Volcanic Field (Iberian Peninsula). *Journal of Iberian Geology*, 47 . pp. 209-223.

Becerra-Ramírez, R. (2013). *Geomorfología y Geopatrimonio de los volcanes magmáticos de la región volcánica del Campo de Calatrava.* Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.

Benítez-Navío, A. y Pulido-Bosch, A. 2010: Consideraciones hidrogeológicas sobre el Campo de Calatrava (Ciudad Real), En González Cárdenas, E., Escobar Lahoz, E., Becerra Ramírez, R., Gosálvez Rey, R.U. y Dóniz Páez, J. *Aportaciones Recientes en Volcanología, 2005-2008*, pág. 83-89. Centro de Estudios Calatravos, Ciudad Real.

Bergamín, J.F., y Carbo, A. 1986: Discusión de modelos para la corteza y manto superior en la zona sur del área centro-ibérica, basados en anomalías gravimétricas. *Estudios Geológicos*, 42, 143-146.

Büchel, G. 1993: Maars of the Westeifel, Germany, en Negendank, J.F.K. y Zolitschka, B. (eds.). *Paleolimnology of European Maar Lakes*, pp. 1-13. Springer-Verlag.

Buitrago Bravo, P.P. 2021: *Bosques aluviales relictos (Hábitat 91 E0) en los Montes de Ciudad Real: el avellanar del Campillo, el abedular de Valdelapedriza y la aliseda de La Angorrilla.* Memoria de TFG. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio (UCLM).

Butrago Bravo, P.P., Luengo Nicolau, E., Gosálvez Rey, R.U. 2022: Bosques aluviales residuales (Hábitat 91E0) en Los Montes de Ciudad Real (Castilla-La Mancha): distribución, factores geoecológicos y estado de conservación, en Beato Bergua, S. et al. *La naturaleza atlántica: hábitats, patrimonio y vulnerabilidad,* pp.: 217-226. Delallama Editorial.

Büttner, R., Dellino, P., La Volpe, L., Lorenz, V., y Zimanowski, B. 2002: Thermohydraulic explosions in phreatomagmatic eruptions as evidenced by the comparison between pyroclasts and products from Molten Fuel Coolant Interaction experiments. *Journal of Geophysical Research*, 107, B11-2277

Calleja, J.A. 2009: "91E0 Bosques aluviales arbóreos y arborescentes de cursos generalmente altos y medios, dominados o codominados por alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos de montaña (*Fraxinus excelsior*), abedules (*Betula alba* o *B. pendula*), avellanos (*Corylus avellana*) o álamos negros (*Populus nigra*)", en VV.AA. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Cebriá Gómez, J.M. 2002: *Geoquímica de las rocas basálticas y leucititas de la región volcánica de Campo de Calatrava, España*. Tesis doctoral. UCM, Madrid.

Cebriá, J.M., Martín-Escorza, C., López-Ruiz, J., Morán-Zenteno, D.J., y Martiny, B.M. 2011: Numerical recognition of alignments in monogenetic volcanic areas: Examples from the Michoacán-Guanajuato Volcanic Field in Mexico and Calatrava in Spain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 73-82.

Cosa, M., Moral, C. y Sanz, H. (Eds.). 2005: *Los Bosques Ibéricos. Una interpretación geobotánica*. 2ª Edición. Barcelona, Ed. Planeta.

Crowe, B.M. y Fisher, R.V. 1973: Sedimentary structures in base-surge deposits with special reference to cross-bedding, Ubehebe craters, Death Valley, California. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 663-682.

Escobar Lahoz, E. 2016: *Aprovechamiento de los recursos volcánicos: mediterráneo central (Italia peninsular), mediterráneo occidental (Campo de Calatrava) y entorno atlántico (Islas Canarias).* Tesis doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.

Escobar Lahoz, E., Becerra Ramírez, R., Gosálvez Rey, R.U. y González Cárdenas, E. 2002: *Ciudad Real, magma y agua*. Editorial Serendipia, Ciudad Real.

Florín Beltrán, M. 2012: Los bonales de Montes Norte: máquina del tiempo y puerta a otro mundo, en Gosálvez Rey, R.U. et al. *Montes Norte. Patrimonio natural y divulgación ambiental de un territorio singular,* pp.: 111-131. Asociación de Desarrollo Montes Norte

González de Vallejo, L. 2002: *Ingeniería geológica*. Pearson/Prentice Hall, Londres.

Gallardo Millán, J.L. 2005: *Evolución geodinámica de las cuencas meridionales de Campo de Calatrava (Almodóvar, Puertollano y Calzada) en relación con el volcanismo reciente.* Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), Madrid.

De Goër, A. (ed.). 1994: *Volcanology of the Chaîne des Puys.* Parc Natural Régional des Volcans d'Auvergne.

González, E., Gosálvez, R.U., Becerra-Ramírez, R. y Escobar, E. 2007: Actividad eruptiva holocena en el Campo de Calatrava (Volcán Columba, Ciudad Real, España), en J. LARIO y G. SILVA (eds.) *Contribuciones al estudio del período cuaternario*. pp. 143-144. Ávila, España: AEQUA.

Gosálvez Rey, R.U. 2011: *Análisis Biogeográfico de las lagunas volcánicas de la Península Ibérica. Bases científicas para su gestión.* Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.

Gosálvez Rey, R.U., González Cárdenas, E., Becerra Ramírez, R. y Escobar Lahoz, E. 2020: Magma y agua, una mezcla explosiva, en Escobar Lahoz, E., Becerra Ramírez, R., Gosálvez Rey, R.U. y González Cárdenas, E. *Ciudad Real, magma y agua*, pp. 133-210. Editorial Serendipia, Ciudad Real.

Granja Bruña, J.L, Vegas, R., Sentre Domingo, M.A., Muñoz-Martín, A. y Sainz-Maza Aparicio, S. 2015: Gravity modeling of the lithosphere in the Calatrava Volcanic Province (Spain): geodynamic implications. *Journal of Iberian Geology*, 41(2): 233-252.

Izquierdo Benito, R. (1989): Los cementarios de la ciudad hispanomusulmana de Vascos, en *III Congreso de Arqueología Medieval*, Tomo II, 391-396. Oviedo.

López Ruiz, J., Cebriá, J.M., Doblas, M., Oyarzum, J., Hoyos, M., y Martín, C. 1993: Cenozoic intra-plate volcanism related to extensional tectonics at Calatrava, Central Iberia. *Journal of the Geological Society*, 150, 915-922

Luengo, E. (2006): "Comunidades vegetales atlánticas sobresalientes de los Montes de Ciudad Real, la aliseda de Angorrilla y el avellanar de Campillo". *Boletín de ARBA*, 17, 45-50.

Molina, E. 1975: *Estudio del Terciario Superior y del Cuaternario del Campo de Calatrava. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario.* Sección de paleontología de vertebrados y Humana-CSIC, Madrid.

Navarro Palazón, J. (1985): El cementerio islámico de San Nicolás de Murcia, en *I Congreso de Argueología Medieval*, Tomo IV, 7-37. Huesca.

Moore, J.G. 1967: Base surge in recent volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology*, 30, 335-363.

Morales García, L. y Urquiaga Cela, D. 1999. La *Maqbara* de Alcolea de Calatrava (Ciudad Real), en *II Congreso de Arqueología Peninsular*, Vol. 4:577-581. Zamora.

Peral Bejarano, C. (1995): Excavación y estudio de los cementerios urbanos andalusíes. Estado de la cuestión, en *Estudios sobre cementerios islámicos andalusíes*, Málaga, 11-36.

Poblete Piedrabuena, M.A. 1994: *El relieve volcánico del Campo de Calatrava (Ciudad Real).* Ed. Universidad de Oviedo y JCCM, Oviedo.

Poblete Piedrabuena, M.A., Martí, J., Beato, S., y Marino, J.L. 2019: Geomorphological evolution and chronology of the eruptive activity of the Columba and Cuevas volcanoes (Campo de Calatrava Volcanic Field, Ciudad Real, Central Spain). *Geomorphology*, 336, 52-64.

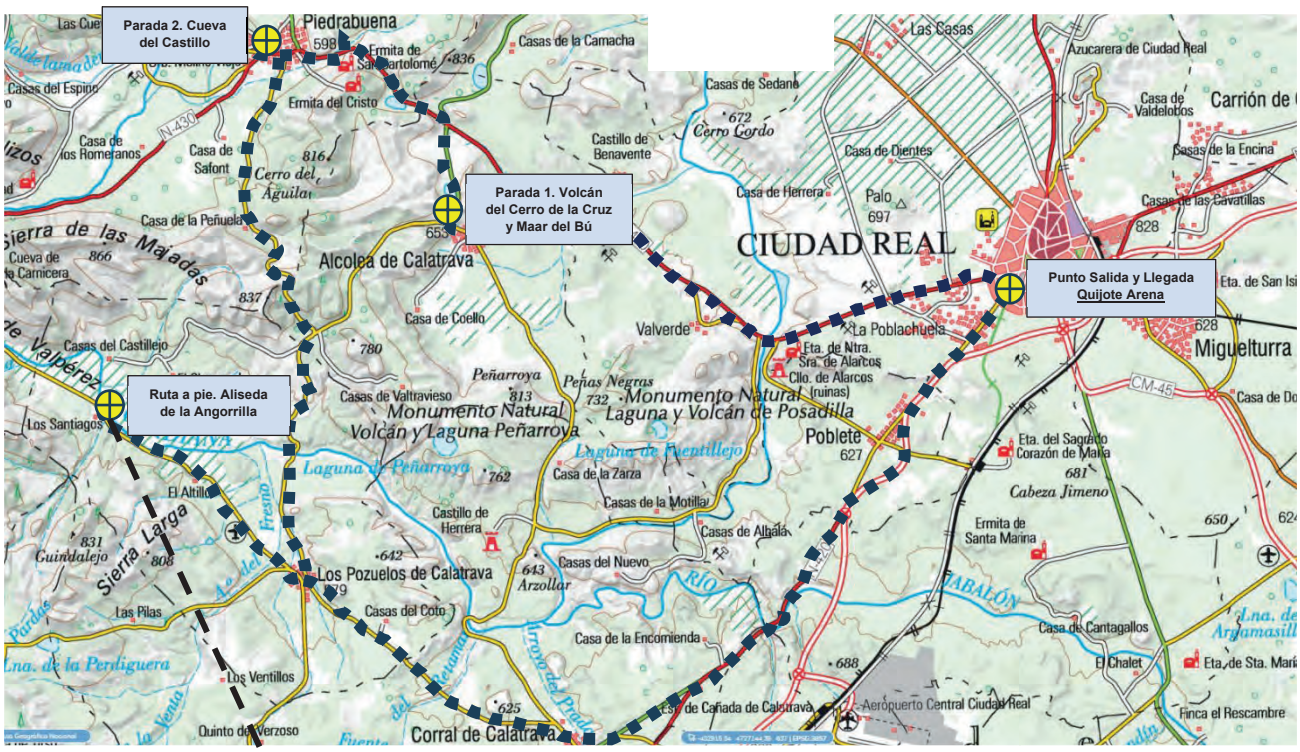
Sheridan, M.F. y Wohletz, K.H. 1981: Hydrovolcanic explosions: the systematics of water-pyroclast equilibrium. *Science*, 212, 1387-1389.

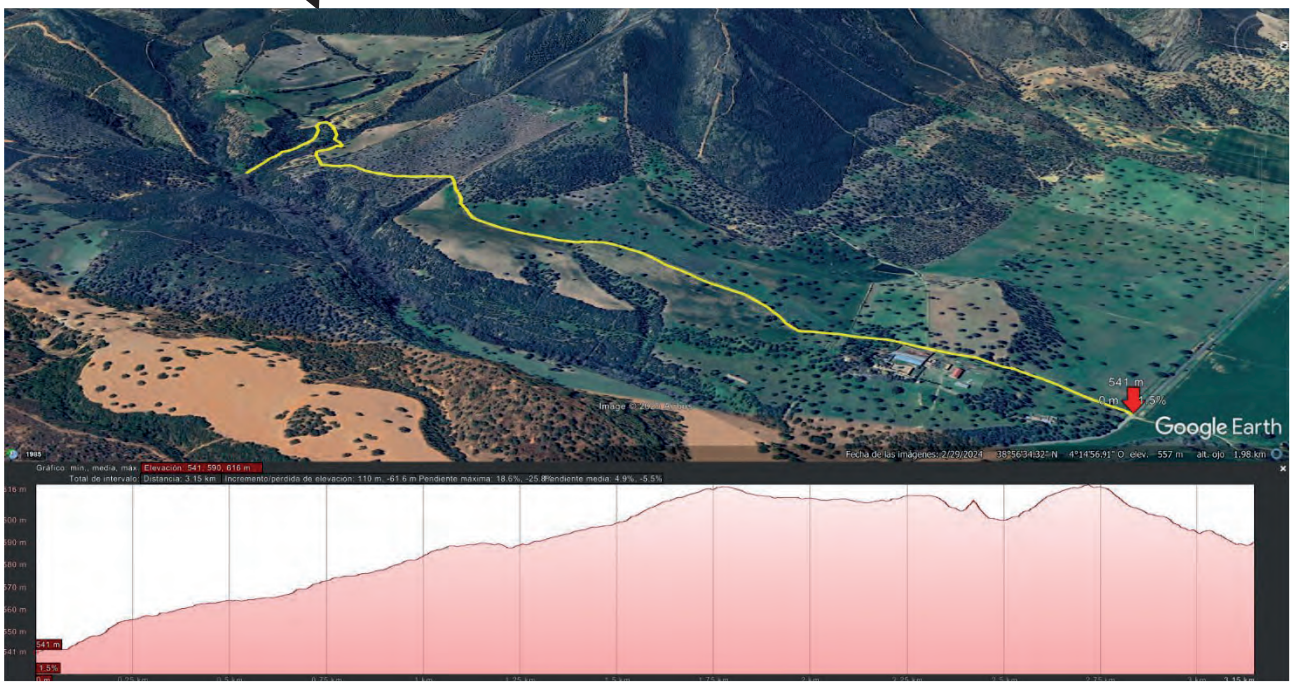
Waters, A.C., y Fisher, R.V. 1971: Base surge and their deposits: Capelinhos and Talla Volcanoes. *Journal of Geophysical Research,* 76, 5596-5614.

Wohletz, K.H. (1993). Hidrovolcanismo. *La Volcanología actual*, pp. 99-193.

Web: Campo de Calatrava, Los volcanes. Elena González Cárdenas. GEOVOL-UCLM. https://volcanescalatrava.web.uclm.es/

MAPA DE LA RUTA. HIDROGEODÍA CIUDAD REAL 2025





NOTAS

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?
APADRINA UNA ROCA
CSIC IGME 175







GEOVOL
UCLM
CREA UCLM
Centro Regional de Estudios del Agua
Ayuntamiento de Piedrabuena
GEOPARQUE VOLCANES DE CALATRAVA CIUDAD REAL
unesco Geoparque Mundial
ENTRE PARQUES



Granada

HIDROGEODÍA 2025

GRANADA

ORGANIZAN:

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Instituto Geológico y Minero de España

Diputación de Granada

EXCMO. AYUNTAMIENTO DE LANJARÓN

Junta de Andalucía

SIERRA NEVADA

PARQUE NACIONAL

PARQUE NATURAL

22 de marzo 2025

LANJARÓN

PAISAJES DEL AGUA

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

* Plazas limitadas.

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA.

La inscripción se realizará a través del siguiente QR.
Las salidas se harán en grupos de unas 30 personas, cada 30 minutos entre las 9:00h y las 10:30h.
Duración aproximada de la excursión 3,5 horas.

*** También puede realizar su inscripción en el siguiente link:**
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfAwOZHBqsEViZ3Ig_ZiSoi40-R-Wf8dpWMJoa5w88xNrM4VQ/viewform?usp=header

PUNTO DE ENCUENTRO: Aparcamientos bajo Hotel Alcadima (Lanjarón), Variante de A-348.

Más información en: www.aihge.org/hidrogeodia2025

*** Se aconseja ropa cómoda, calzado de campo y agua.**

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

iah aih

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

iah aih

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación sobre Hidrogeología que se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). Su objetivo es difundir la importancia de las aguas subterráneas, considerando aspectos geológicos, físico-químicos, biológicos y la acción del hombre. La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En Granada, el **Hidrogeodía 2025** se celebra **el día 22 de marzo en Lanjarón**, localidad con una estrecha relación histórica con el agua, tanto desde el punto de vista ambiental, como desde una perspectiva sociocultural y turística.

COMO LLEGAR

El punto de encuentro será en los **aparcamientos ubicados bajo el Hotel Alcadima de Lanjarón**, localizado a unos 300 m del inicio de la variante de la carretera A-348, que bordea el núcleo urbano de Lanjarón por el sur.

Este será el lugar de recepción de las personas inscritas en la jornada, desde donde se coordinará la actividad y los horarios para la salida de los **cuatro grupos previstos a las 09:00, 09:30, 10:00 y 10:30**. La duración del recorrido completo será de unas 3 horas y media, terminando en el Parque del Salado a unos 10 minutos a pie del lugar de partida.

El itinerario ofrece un recorrido guiado de 6,5 km, de los cuales 4,8 km se realizarán a pie. A lo largo del trayecto, hemos seleccionado seis paradas (Fig. 2) en puntos específicos donde diversos especialistas compartirán sus conocimientos sobre las distintas temáticas que abordaremos durante la jornada. El recorrido entre la parada 1 y la parada 2, de 1,7 km de longitud, se realizará en minibús gratuito. **Es necesaria la inscripción previa** y la organización se reserva la opción de reorganizar los grupos para equilibrar el número de personas asistentes en cada turno.



Figura 1. Punto de encuentro en Lanjarón (Autor: Ángel Romero Martín).

QUÉ VEREMOS

Desde el punto de partida concertado en los aparcamientos (Fig. 1), nos dirigiremos a pie hacia la **Parada 1,** ubicada en el mirador del Castillo de Lanjarón. Desde esta estupenda atalaya, presentaremos la actividad y se realizará una breve descripción de las actividades que se llevarán a cabo durante el evento; se expondrán los excepcionales valores naturales y culturales del Parque Natural y Nacional de Sierra Nevada, describiendo el contexto geológico de la zona, así como los principales rasgos del Castillo desde el punto de vista histórico.

A continuación, nos desplazaremos en minibús hacia la **Parada 2,** ubicada en el Museo del Agua. En primer lugar, veremos el Lavadero de las Cimas, edificación tradicional relacionada con el uso antrópico del agua, situado a pocos metros del museo. Después

de disfrutar de un delicioso café, cortesía del Ayuntamiento de Lanjarón, nos sumergiremos en las explicaciones sobre el contenido del museo. Aprenderemos sobre la importancia y el funcionamiento de las acequias de careo, complementado con interesantes videos divulgativos que enriquecerán nuestra experiencia.

Desde este punto nos desplazaremos a pie durante 5 minutos hasta la **Parada 3**, la Estación de aforos del río Lanjarón. Conoceremos la dinámica del caudal del río, el funcionamiento de una estación de aforos y sus implicaciones en la gestión del balance hídrico de la cuenca.

Desde aquí, comenzaremos un recorrido a pie de unos 75 minutos de duración. El primer tramo discurre paralelo al río Lanjarón, hasta conectar con el sendero de la ruta de la acequia del Aceituno-Cecarta. Este tramo del recorrido, que seguiremos hasta llegar a la toma de la acequia, puede presentar cierta dificultad y esfuerzo, debido a las pronunciadas pendientes e irregularidad del terreno. Una vez en el sendero Aceituno-Cecarta, caminaremos pocos minutos junto a la acequia hasta llegar al punto donde se encuentran juntas las paradas cuarta y quinta.

La **Parada 4** se sitúa en la propia acequia del Aceituno, donde se explicará el peculiar manejo tradicional de las acequias, que se viene realizando desde hace más de mil años en Sierra Nevada. Además se realizarán medidas de caudal, temperatura y conductividad del agua en la propia acequia. La **Parada 5**, a pocos metros de la anterior, se localiza en una poza del río Lanjarón y servirá de escenario acuático para conocer los macroinvertebrados asociados al agua, sus características y la importante función que desempeñan en los ecosistemas acuáticos.

Para llegar a la última parada, volveremos sobre nuestros pasos por el mismo sendero, hasta llegar a la pista que nos adentrará en el casco urbano de Lanjarón. Tras un recorrido a pie de aproximadamente 30 minutos llegaremos al Parque del Salado, donde se ubica la **Parada 6.** En ella, veremos como se produce la formación de los travertinos, rocas relacionadas con las aguas termales, y reconoceremos in situ este tipo de roca. Durante el camino recorreremos las calles más emblemáticas de la localidad, como son las del **barrio del Hondillo**, donde podremos observar una muestra de la arquitectura típica de la ciudad y conocer más sobre su historia.

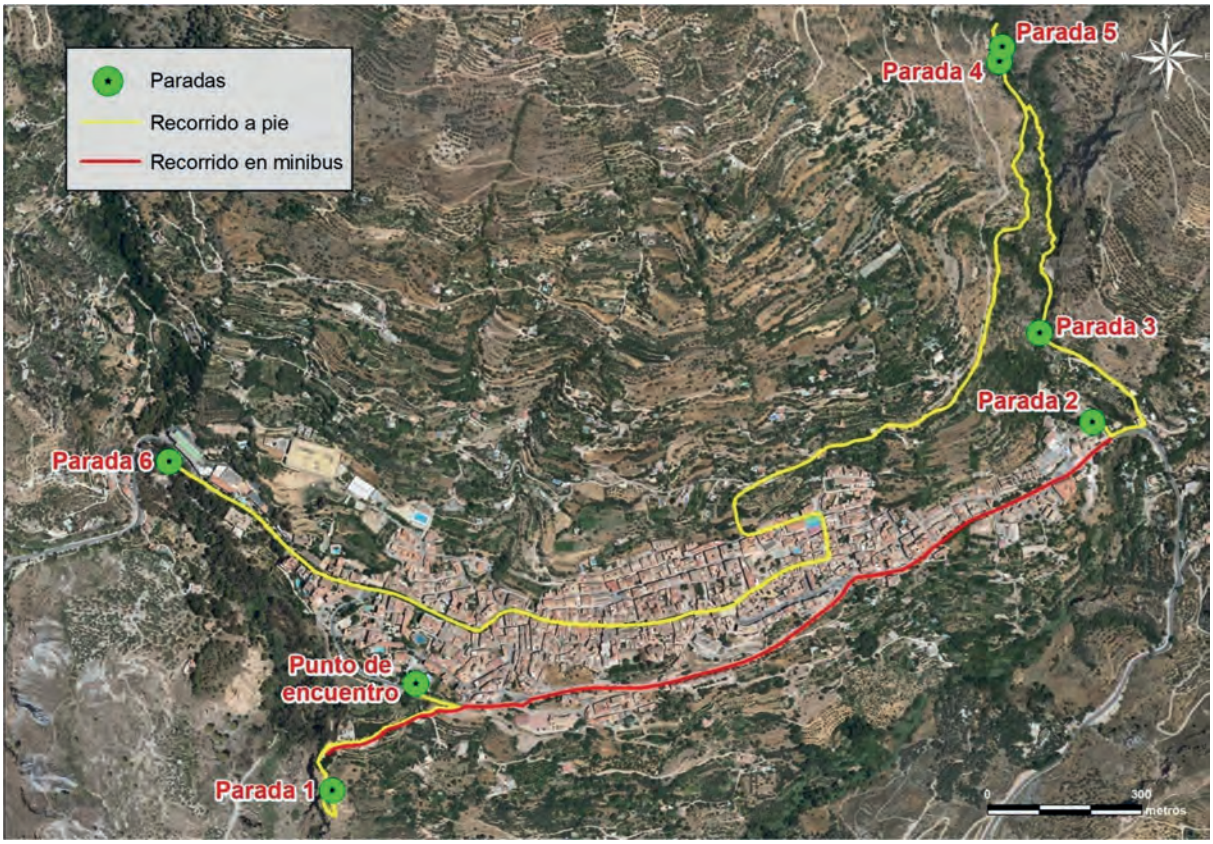


Figura 2. Recorrido de la ruta y situación de las paradas

ENTORNO GEOLÓGICO

Sierra Nevada está situada en el corazón de la Cordillera Bética, en sus zonas internas, y es el techo de la Península Ibérica, siendo su pico más alto el Mulhacén con 3.479 m s.n.m. La Cordillera Bética, gran unidad orográfica y geológica del S y SE de la Península Ibérica, se extiende desde la provincia de Cádiz hasta Alicante y por debajo del Mar Mediterráneo continúa hasta las Islas Baleares. Desde el punto de vista geológico, Sierra Nevada es un gran pliegue antiforme, con orientación este-oeste, que se extiende a lo largo de 90 km, con una anchura variable entre 15 y40 km.

La formación de estos relieves tuvo su origen en la colisión entre tres placas tectónicas: la placa Ibérica, la placa africana y la placa de Alborán, hace 25 millones de años, durante la orogenia alpina (etapa de formación de las principales cadenas montañosas del sur de Europa y Asia). La colisión continental produjo la subducción y enterramiento de sedimentos marinos de edad Paleozoica y Triásica a profundidades de hasta 60 kilómetros y su consiguiente transformación en rocas metamórficas. Posteriormente, hace unos 10 millones de años, estas rocas emergieron y se plegaron configurando importantes relieves como Sierra Nevada. La elevación de Sierra Nevada debido al choque entre las placas ha continuado hasta la actualidad, con una tasa de 400 metros por cada millón de años, o lo que es lo mismo 0,4 mm/año. Una vez emergidos los materiales

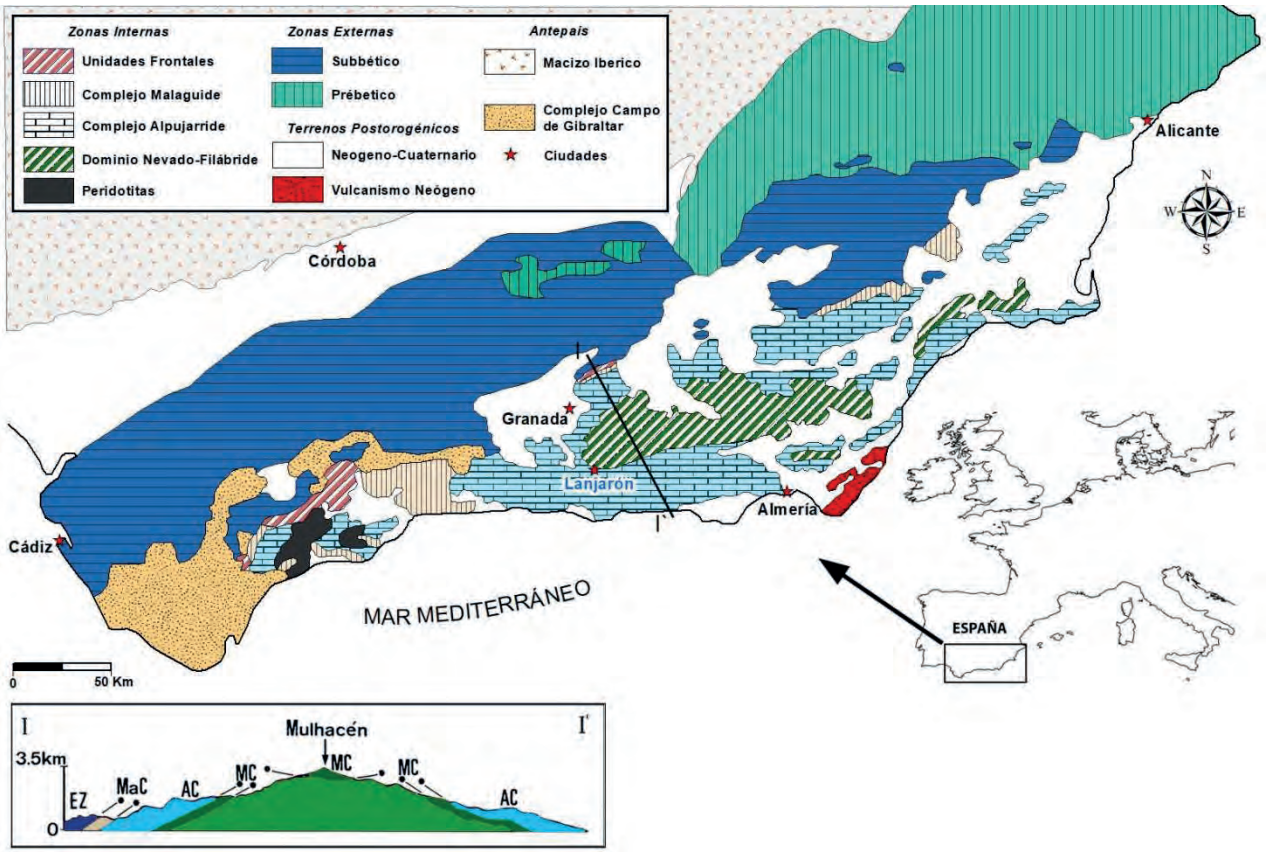


Figura 3. Mapa geológico de las Cordilleras Béticas. Fuente: Díaz Puga M.A. (2016)

comienza el efecto de los procesos geológicos externos, que erosionan los relieves y depositan los sedimentos en las cuencas intramontañosas, convirtiendo esas rocas mesozoicas en sedimentos fluviales y aluviales neógenos y cuaternarios.

Las Zonas Internas Béticas están formadas por tres complejos tectónicos superpuestos, de abajo arriba, Complejo Nevadofilábride, Alpujárride y Maláguide. En Sierra Nevada afloran los dos primeros.

Debido a su estructura, que a grandes rasgos es la de un gran antiforme con orientación E-W de unos 95 kilómetros de extensión, y a la erosión progresiva que durante su elevación produjo el desmantelamiento de los materiales que componían las zonas más elevadas, sus formaciones rocosas se disponen actualmente en tres bandas más o menos concéntricas, desde la zona central más elevada a la periferia, configurando principalmente tres contextos geológicos diferentes:

1. El núcleo de la Sierra, que comprende sus picos más elevados, está formado por rocas metamórficas del Complejo Nevadofilábride que localmente llegan a superar los 300 millones de años de antigüedad. Está constituido esencialmente por micaesquistos,(rocas oscuras y claras con aspecto pizarroso) y cuarcitas (las cuales suelen dar lugar a crestones y tajos por su mayor resistencia a la erosión) y, en menor proporción, por otras rocas metamórficas como anfibolitas, serpentinitas, gneises, mármoles, etc. En este contexto geológico destacan por su especial importancia y peculiaridad geológica dos aspectos, por un lado, en las altas cumbres están presentes morfologías producidas por los glaciares más meridionales de Europa, que se desarrollaron en diversos momentos fríos del Cuaternario durante los últimos 260.000 años (circos, morrenas y valles glaciares, entre otros). Además, entre unidades de origen continental se intercala una unidad ofiolítica de origen oceánico, formada por los únicos restos existentes del océano Tetys, que se formaron hace 180 M.a en una dorsal oceánica similar a la actual Dorsal Atlántica y que, por la acción de la tectónica de placas, fueron trasladados hasta su ubicación actual.

2. Bordeando el núcleo aparece una orla de rocas metamórficas del Complejo Alpujárride, de más de 200 millones de años de antigüedad, mayoritariamente compuesta por calizas y dolomías, que generan relieves escarpados de colores blanquecinos o grisáceos y, en menor proporción, por filitas de colores azules, violáceos o grises brillantes, conocidas en la región como "launas".

3. Por último, la banda de rocas más externa de Sierra Nevada corresponde a materiales sedimentarios mucho más recientes. Están formados por bloques, cantos, gravas y arenas, depositados en los últimos 15 millones de años, en el fondo de las pequeñas cuencas marinas que rodeaban el relieve de Sierra Nevada, como productos resultantes de la erosión de esta.

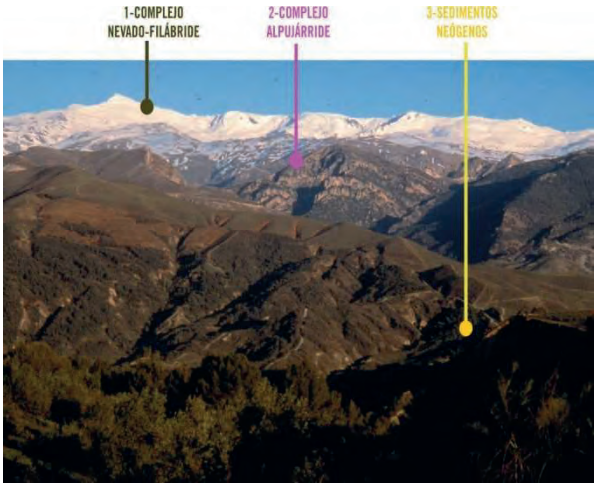


Figura 4. Contextos geológicos de Sierra Nevada. Fuente: Rodríguez Fernández, R. (2017)

En la zona de Lanjarón, donde trascurrirá la jornada, afloran rocas del Complejo Nevadofilábride (principalmente micaesquistos y mármoles) y del Complejo Alpujárride (calizas, dolomías y filitas). Además, hay que destacar el potente conjunto de sedimentos postorogénicos, de

edad Cuaternaria, formados por derrubios de ladera, suelos y travertinos. Estas últimas rocas, sobre los que se sitúa la población de Lanjarón y que veremos en la parada 7, están ligadas a la actividad hidrotermal del agua subterránea. Se da la circunstancia de que el pueblo de Lanjarón se localiza sobre la zona de contacto entre los dos complejos geológicos, lo que favorece en gran medida la circulación del agua subterránea y el afloramiento de numerosos manantiales.

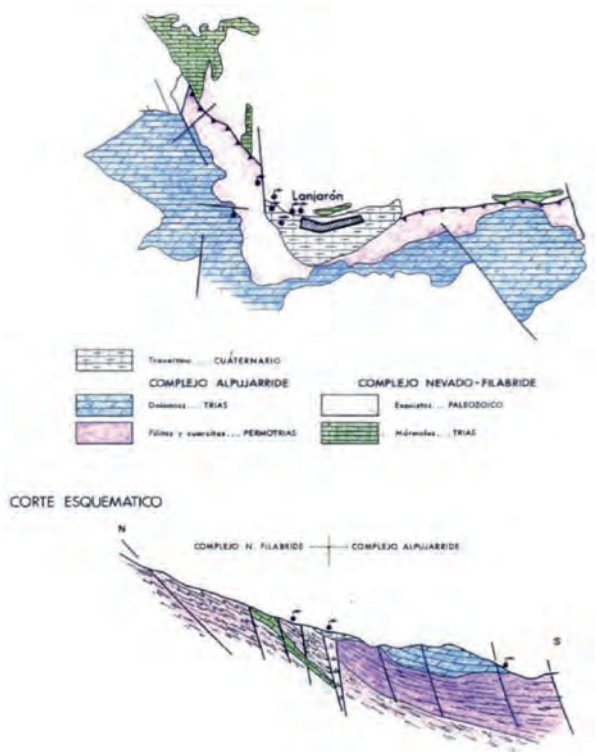


Figura 5. Mapa y corte geológico de la zona de Lanjarón. Fuente: Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Estudio de detalle de la provincia de Granada. Tomo II. IGME y Junta de Andalucía, 1990-1991

ENTORNO HIDROGEOLÓGICO

La configuración geológica de Sierra Nevada hace que existan tres grandes conjuntos de materiales acuíferos, con un comportamiento hidrogeológico claramente diferenciado, que de mayor a menor altitud serían los siguientes: 1) las formaciones cuaternarias de alteración glaciar y periglaciar que afloran, sobre los esquistos del Complejo Nevado-Filábride, por encima de los 2000-2500 m de altitud (acuíferos alpinos), 2) los afloramientos de la capa de alteración de las rocas duras, mayoritariamente esquistos, que ocupan la mayor parte de la montaña (acuíferos en pendiente), y 3) los afloramientos de rocas fundamentalmente carbonatadas como mármoles, dolomías y calizas, que afloran al oeste y al sur de Sierra Nevada (acuíferos carbonáticos de la Alpujarra).

Los espesores de los **acuíferos alpinos** pueden superar la trentena de metros. Bajo las formaciones glaciares y periglaciares, permeables, se encuentran los esquistos sin alterar, de muy baja permeabilidad, que hacen de base del acuífero asociado a esa zona de alteración superficial. Su alta permeabilidad favorece que existan pocos manantiales, de alto caudal. El agua subterránea almacenada en estos acuíferos se limita a una delgada capa saturada que se acomoda a la pendiente de la zona de contacto entre la roca sin alterar y la base de los materiales cuaternarios.

En los **acuíferos en pendiente**, destaca la presencia de una extensa y delgada zona superficial de alteración y fracturación por la que el agua subterránea circula y que da lugar a amplios acuíferos desarrollados en las laderas de la montaña. El nivel piezométrico queda muy próximo a superficie, debido a la moderada permeabilidad general de la zona de alteración de los esquistos, descendiendo durante el estiaje en las zonas altas de las laderas. En estos acuíferos, la alta pendiente del terreno, la presencia de numerosos afloramientos de la roca fresca y la existencia de barrancos de primer orden encajados en los esquistos da lugar a la existencia de muchos manantiales de muy bajo caudal. El agua que surge por estos manantiales se vuelve a infiltrar aguas abajo, dando lugar a un flujo en cascada a lo largo de las laderas.

En estas zonas, el regadío por inundación y los canales de riego, excavados en el terreno sin revestir, incrementan la recarga de estos acuíferos de forma notoria y dan lugar a

muchos manantiales de bajo caudal y a descargas de agua subterránea en los cauces de primer orden, que permiten la existencia de números bosquetes de ribera. Las aguas que drenan los manantiales de estos acuíferos son, fundamentalmente, bicarbonatado cálcicas y cálcico–magnésicas, con salinidades inferiores a 300-350 mg/l y temperaturas comprendidas entre 2 y 16 °C.

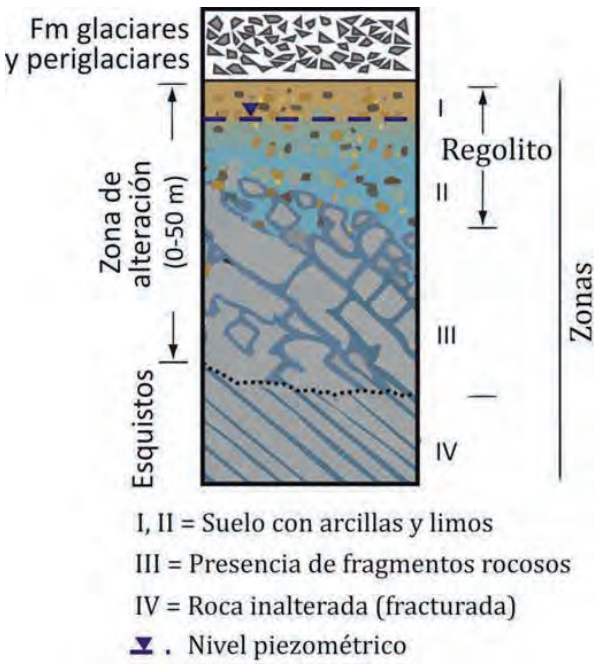


Figura 6. Columna litológica sintética del acuífero en rocas duras Nevado-Filábride de Sierra Nevada. Fuente: Martos-Rosillo, S. et al. (2019)

Los **acuíferos carbonáticos** de la Alpujarra están formados por potentes materiales carbonatos triásicos, intensamente plegados y deformados, que rodean a la sierra por el sur y especialmente por el oeste y noroeste, destacando el acuífero de la Sierra de Padul, con una extensión de afloramientos permeables de 135 km² y espesores de hasta 1000 m en el sector de La Silleta. Son acuíferos de tipo fisurado y kárstico, en ellos el agua circula preferentemente a través de fracturas y cavidades, y se caracterizan por una gran permeabilidad y capacidad de almacenamiento. Se caracterizan también por su elevada compartimentación, debido a la complejidad geológica de su estructura. Esto da lugar a la presencia de un número elevado de manantiales que no suelen presentar grandes caudales medios. La alta capacidad de recarga de estos acuíferos y su alta permeabilidad hace que el nivel piezométrico se encuentre muy profundo en buena parte de su superficie de afloramiento. El nivel solo queda próximo a superficie aguas arriba de los manantiales que se forman en la zona de contacto entre los carbonatos y otras rocas metamórficas de menor permeabilidad y en las riberas de los ríos en los que se produce buena parte de la descarga de estos acuíferos. Las aguas drenadas por los carbonatos alpujárrides presentan facies bicarbonatada cálcica a cálcico magnésica, con elevadas concentraciones de sulfatos en algunos sectores. Su salinidad suele estar comprendida entre 300 y 800 mg/l, y presentan un pH ligeramente básico.

Los acuíferos en esta zona se desarrollan en los potentes materiales carbonatados (calizas y dolomías), son acuíferos de tipo fisurado y kárstico, el agua circula preferentemente a través de fracturas y cavidades, y se caracterizan por una gran permeabilidad y capacidad de almacenamiento.

EL ACUÍFERO DE LANJARÓN

Los materiales aflorantes en la zona de Lanjarón están formados fundamentalmente por micaesquistos y en menor medida gneises y mármoles, todos ellos del Complejo Nevado-Filábride. Las primeras decenas de metros de estos materiales, debido a la intensa meteorización y fracturación que presentan, dan lugar a una zona de cierta permeabilidad por la que se produce el flujo del agua subterránea. Pertenecen por lo tanto a los llamados acuíferos en pendiente, anteriormente mencionados.

Otros materiales de naturaleza acuífera ligados a los anteriores, aunque de menor importancia debido a su escasa superficie de afloramiento y espesor, son los derrubios de ladera y los suelos, todos ellos permeables debido a la porosidad existente en los huecos entre granos de sedimentos. Y por último los travertinos, de permeabilidad media-alta, conferida fundamentalmente por los conductos y poros dejados por los restos de tallos, hojas y materia orgánica tapados por los depósitos calcáreos de las aguas termales.

Las rocas carbonatadas del Complejo Alpujárride, aflorantes al sur de la localidad de Lanjarón, en ocasiones como bloques aislados por falla y/o erosión (como el del Castillo), son permeables por fisuración y por karstificación. La base impermeable de estos acuíferos está compuesta por el contacto con las filitas del Complejo Alpujárride, no en vano, estas rocas son utilizadas en la arquitectura popular alpujarreña como material de construcción para la impermeabilización de tejados. Los manantiales ligados a estos materiales, como los de Albercon, Escolta, Pedro Calvo y Las Adelfas forman parte de un acuífero que drena en el río Lanjarón, cerca de su encuentro con el río Ízbor.

En el entorno de Lanjarón existe un elevadísimo número de manantiales, con características muy diversas en lo que se refiere a temperatura del agua, salinidad, facies hidroquímica, contenido en gases, presencia de depósitos (ferruginosos, por ejemplo) en el área de surgencia, etc. De acuerdo con estas características se clasifican en tres grupos: el primer grupo corresponde a aquellas surgencias (Baño termal, Capuchina, Ferruginoso, etc.) que presentan una salinidad elevada (varios g/l) y una clara anomalía térmica (20-29°C). Sus aguas son empleadas tradicionalmente para los baños por sus propiedades curativas. El segundo grupo (San Vicente, Nicasio, etc.) lo integran los manantiales de baja temperatura de surgencia (15-18°C), coincidente con la temperatura media anual del aire en el sector, y débil mineralización (por debajo de 500 mg/l). Finalmente, existe un tercer grupo de manantiales (Capilla, Salud 11, San Pedro,



Figura 7. Mapa geológico con situación de los puntos de agua en la loma Bordaila. Fuente: Rodríguez del Rosario, M. et al, (2023)

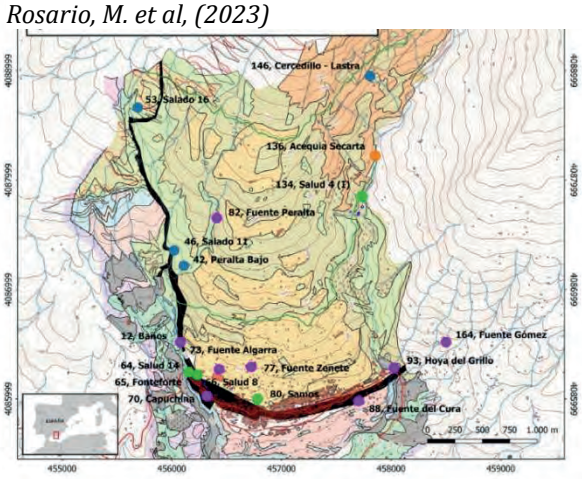


Figura 7. Mapa geológico con situación de los puntos de agua en la loma Bordaila. Fuente: Rodríguez del Rosario, M. et al, (2023)

etc.) con características intermedias entre los dos anteriores. La inmensa mayoría de las surgencias están situadas en las inmediaciones del pueblo y más particularmente en sus bordes oriental y occidental, que coinciden, a su vez, con los cauces de los cursos fluviales que delimitan la loma de la Bordaila: el río Lanjarón, al Este, y el arroyo Salado, al Oeste.

La situación de las surgencias está fuertemente condicionada por las características geológicas, coincidiendo mayoritariamente con un importante contacto geológico, el cabalgamiento de los materiales del Complejo Alpujárride (filitas con niveles de cuarcita y yeso) sobre los micaesquistos del Complejo Nevado-Filábride. Este contacto está marcado por una banda de milonitas, es decir, de rocas fracturadas por efectos de la tectonización.

El modelo de funcionamiento hidrogeológico que explica estas diferencias físico-químicas

de las aguas de los manantiales mencionados es el siguiente:

La recarga se produce en primer lugar, mediante la precipitación sobre los propios afloramientos, a la que hay que añadir, y con importancia prioritaria, la alimentación adicional representada por la compleja red de acequias, el retorno de los riegos y las aguas superficiales, por lo menos en la parte alta del sistema.

La capa meteorizada desarrollada sobre los micaesquistos mantiene una zona saturada, desigual y discontinua, que produce descarga subterránea a distintas cotas: manantiales dispersos en la loma de Bordaila y alrededores y descargas a la red superficial, particularmente al río Lanjarón.

minerales silicatados de las rocas por las que circula.

Una parte de la recarga se infiltra aprovechando fracturas en los micaesquistos. La débil permeabilidad de esa red de fisuras y el largo recorrido del agua, que alcanza una importante profundidad antes de surgir, de nuevo a superficie, hace que el agua esté en el acuífero durante mucho tiempo. Este hecho, unido a las altas temperaturas que pueden llegar a los 100°C debido al gradiente geotérmico (≈30°C/km), propicia que el agua adquiera una alta mineralización.

Al llegar el agua en su recorrido a la zona de contacto entre los micaesquistos y las filitas (impermeables), su flujo asciende a través de la banda de rocas milonitizadas. Estos materiales presentan sin duda una mayor

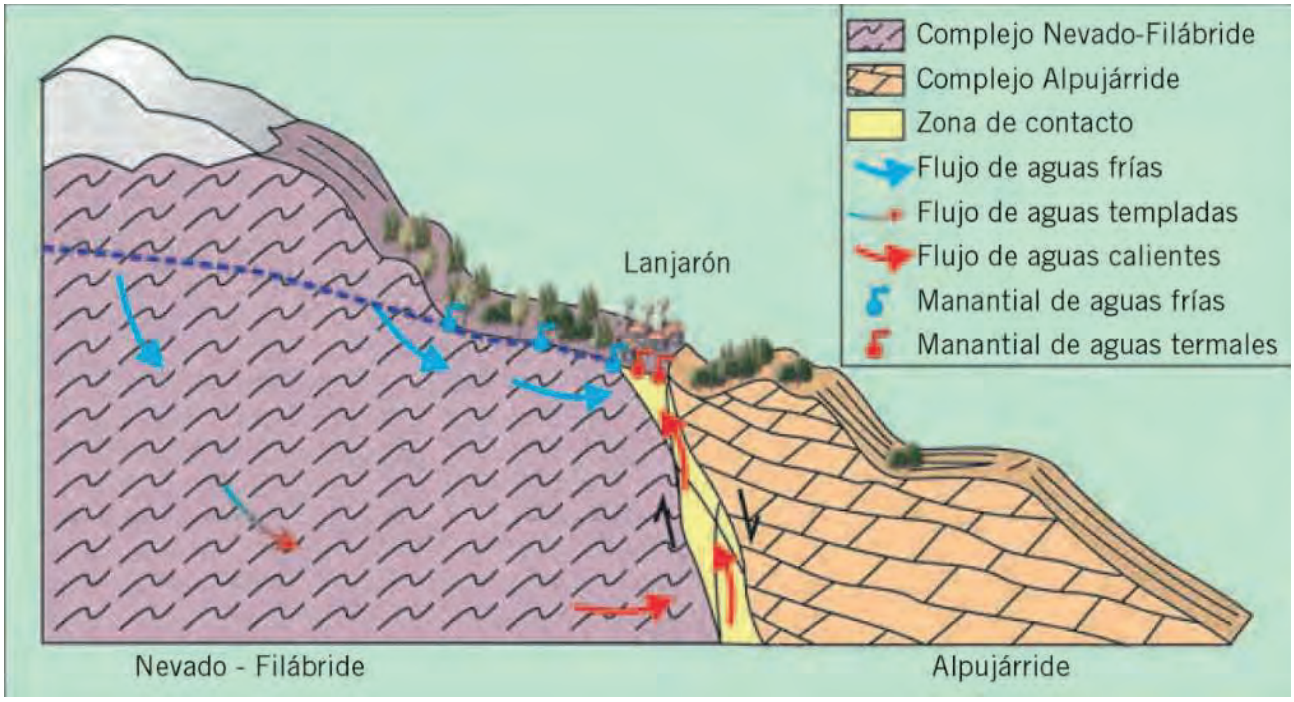


Figura 8. Corte y modelo hidrogeológico del acuífero de Lanjarón. Fuente: Alfaro et al., 2003

En todo caso, buena parte de la descarga se realiza en la parte más baja de estos afloramientos, en el sector de Lanjarón. Estos manantiales representan la salida de un flujo sub-superficial, de recorrido relativamente breve, de modo que el agua se encuentra a baja temperatura (la media anual del aire en el lugar) y presenta una débil mineralización, coherente con la baja solubilidad de los

permeabilidad que los micaesquistos, pero tampoco muy elevada, de modo que el flujo debe ser suficientemente lento para que se produzca un progresivo enfriamiento del agua, aunque en superficie permanezca parte de la anomalía térmica alcanzada en profundidad. Estas aguas se caracterizan, además, por emisiones de gases ($C0_2$) de cierta envergadura. Una parte de esa

descarga puede producirse a la capa meteorizada, al travertino, etc., de modo que de ello resulta una mezcla en proporciones diversas con el agua fría de flujo subsuperficial.

LAS ACEQUIAS DE CAREO

Para poder abastecer de agua a las poblaciones de Sierra Nevada y para regar los pastos y las terrazas de cultivo construidas en sus abruptas pendientes, fue necesario aumentar el caudal y la duración de los manantiales que surgían por encima de las poblaciones y, sobre todo, aumentar el caudal de los ríos durante el estiaje. Este problema se resolvió durante la época de Al-Ándalus mediante la construcción de una extensa red de canales de infiltración, excavados en el terreno sin impermeabilizar, denominados acequias de careo. Se entiende por "carear" al proceso por el que el que se recolecta el agua de escorrentía de las cabeceras de los ríos, durante la época de deshielo (marzo-junio), para infiltrarla en la zona de alteración de las rocas duras que se desarrolla en las partes altas de las laderas. Parte del agua infiltrada se recupera tiempo después, aguas abajo, disponiendo así del preciado recurso durante la época estival, cuando los ríos de Sierra Nevada ven reducido su caudal drásticamente tras el deshielo.

El esquema conceptual general del funcionamiento hidrogeológico de las acequias de careo es el siguiente. El agua derivada por las acequias de careo se vierte para su infiltración en zonas denominadas "Simas", zonas de baja pendiente y de mayor permeabilidad debido a la naturaleza del terreno y a su fracturación. El agua recargada surge, tiempo después, por numerosos manantiales que se generan en la media y baja ladera de los valles, además de ser drenada por los arroyos encajados en el acuífero superficial y por los ríos. A mediados de junio, las acequias de careo dejan de utilizarse y otra extensa red de acequias de riego, situada a menor altitud, comienza a derivar agua de los ríos para el riego de las zonas de cultivo intensivo. Con este procedimiento de uso conjunto de agua superficial y subterránea se optimiza la capacidad de retención/almacenamiento del acuífero en rocas duras de Sierra Nevada.

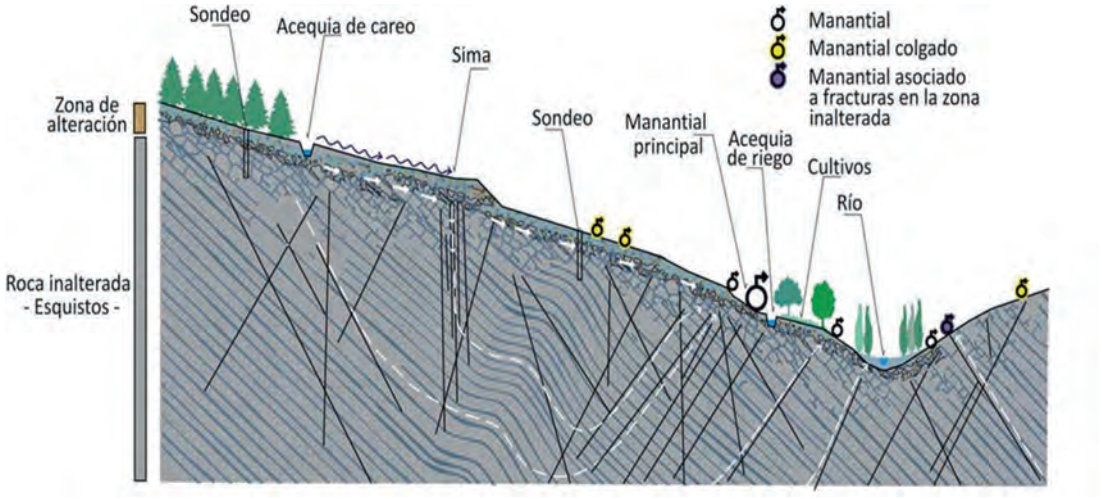


Figura 9. Esquema conceptual de funcionamiento hidrogeológico. Fuente: Martos-Rosillo, S. et al. (2019)

Por el momento, se contabilizan en Sierra Nevada 720 km de acequias de careo y de careo/riego, a los que hay que añadir unos 3000 km de acequias de regadío. La magnitud de estas cifras pone de manifiesto la importancia que este sistema de manejo del agua tiene en el funcionamiento de los ríos que drenan Sierra Nevada.

Con este sistema se consigue además de un beneficio social (agua de abastecimiento a la población y para riego) un indudable beneficio ambiental. La mayor parte del agua infiltrada por el careo se descarga en los arroyos encajados en el acuífero, contribuyendo a sostener la fauna acuática y la asociada a los bosques de ribera que tapizan estos cauces. Donde se realiza recarga con las acequias de careo conviven parcelas de regadío con zonas de mayor densidad de vegetación natural, lo que da lugar a paisajes culturales, resultado de siglos de una interacción sostenible entre las comunidades campesinas y el medio.

Para mantener estos ancestrales sistemas de Gestión Integral del Agua, es fundamental el papel de las comunidades de regantes. Cuando los acequieros, personas de la comunidad a cargo de las acequias, dejan de realizar su función, las acequias pierden su funcionalidad, teniendo graves efectos en cascada sobre el ciclo hidrológico, la vegetación, la fauna y el paisaje.



Figura 10. Acequiero gestionando el agua en la acequia de Mecina (Autor: Sergio Martos Rosillo)

Este sistema de manejo del agua ha provocado una intensa transformación del paisaje del valle de Lanjarón, en el que las terrazas de cultivo y los pastos coexisten con ecosistemas de alto valor ecológico. La recarga del agua de deshielo en las laderas regula el caudal nival de los ríos, favorecen la infiltración y disminuyen la escorrentía superficial y las pérdidas de suelo. El sistema de reparto y activación de las acequias, que tenían establecido los moriscos, recibía el nombre de dula (en árabe دولة), que en árabe quiere decir turno. Cada dula constaba de 14 días. Hoy en día se siguen aplicando estos turnos entre las comunidades de regantes.

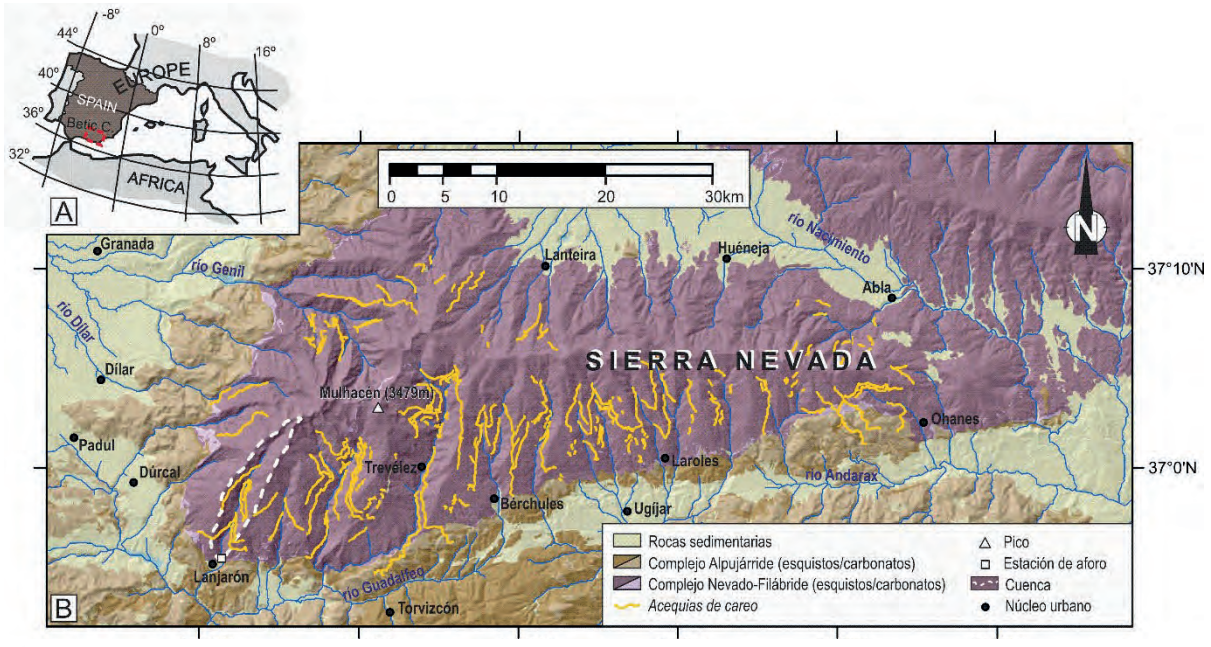


Figura 11. Situación de las acequias en Sierra Nevada (Autora: Irene Castillo Marín)



Figura 12. Acequiero Nueva de Lanjarón (Autor: Ayuntamiento de Lanjarón)

Las acequias pertenecientes a la Comunidad de Regantes de las acequias y aguas de la Villa de Lanjarón son 21, con una longitud total de sus cauces de 50.328 m, que abastecen directa o indirectamente una superficie regable de 1.780,5 ha. Se localizan en la margen izquierda del río Lanjarón (9 acequias), en su margen derecha (6 acequias) y en el Arroyo Salado (6 acequias). Entre ellas, destacan por su importancia la acequia Alta de la Sierra con una longitud de cauce de 5.066 m y un caudal medio (Qm) de 16,76 l/s, la Acequia Rascabejal con 5.078 m y Qm de 12,87 l/s, la acequia de Prados Coloraos con 1.910 m y Qm de 5,33 l/s, o la acequia Mezquerina con 3.685 m y un Qm de 85,27 l/s.

PARADA 1. MIRADOR DEL CASTILLO

Desde esta privilegiada atalaya se observa una impresionante panorámica (Fig. 13). Hacia el norte, podemos ver gran parte del valle del río Lanjarón, localizado en la vertiente sur de Sierra Nevada. Su casco urbano y sus fértiles zonas de cultivo aledañas, dispuestas sobre bancales que descienden hasta el río, se localizan sobre la Loma Bordaila, delimitada por los valles del río Lanjarón al este y del arroyo del Salado al oeste. Mirando hacia el Sur, observamos en primer término el Tajo Colorao y como telón fondo, Sierra de Lujar. La descripción del contexto geológico e hidrogeológico de la zona se detalla en sus correspondientes apartados introductorios de esta guía.

El Castillo de Lanjarón (Fig. 14), conocido en la localidad como Castillo de los Moros, data del periodo nazarí, aunque casi todas las estructuras visibles actualmente fueron construidas por los castellanos entre finales del siglo XV y comienzos del XVI. Fue edificado inicialmente en el marco del programa defensivo desarrollado en el reinado de Yūsuf I (1333-1354) o de su hijo Muḥammad V, en el que también se crearon



Figura 13. Vistas desde el mirador del Castillo de Lanjarón (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga).

las fortalezas de Restábal, Mondújar y Moclín. En 1592 cesa definitivamente su uso militar y queda abandonado desde entonces

La planta del castillo se adapta al sustrato rocoso, generando un trazado irregular. En las caras este y oeste el terreno se corta en precipicios verticales, lo que lo hace inexpugnable por estos flancos. El castillo está compuesto por dos recintos. Todas las fábricas son de mampostería en hiladas, con refuerzos de cantería caliza a soga y tizón en las esquinas. Los muros tienen todos un grosor uniforme de 1,20 m.



Figura 14. Castillo de Lanjarón (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

Sierra Nevada se encuentra en el sureste ibérico, entre las provincias de Almería y Granada. Es el relieve montañoso más meridional de Europa y el más alto tras Los Alpes. Presenta una superficie de 200.000 ha, de las que 172.238,05 forman parte del Espacio Natural de Sierra Nevada (85.883 ha de Parque Nacional y 86.335 ha de Parque Natural). Con una longitud aproximada de 90 km y una anchura de 15 km en su extremo oriental, progresa en superficie y altitud hacia su extremo occidental, donde alcanza 40 km de ancho aproximadamente y 3.482 m de altitud en el Pico Mulhacén, techo de la Península Ibérica.



Figura 15. Límites del Parque Natural (gris) y del Parque Nacional (verde)

Sierra Nevada es reconocida a nivel mundial por su extraordinaria diversidad biológica, geológica y por sus ecosistemas únicos. De hecho, es un espacio especialmente protegido, declarado Reserva de la Biosfera (1986), Parque Natural (1989), Parque Nacional (1999). También forma parte de la Red Natura (2000) como Zona Especial de Conservación denominada (Z.E.C), es zona de especial protección para la aves (Z.E.P.A) y lugar de importancia internacional para las aves migratorias (RAMSAR). Por último, en el año 2024 el Espacio Natural Sierra Nevada a pasado a formar parte de la Green List de la Unión Internacional de Conservacíon de la Naturaleza (UICN).

En la actualidad es el centro de diversidad vegetal más importante del Mediterráneo occidental, con 2.353 taxones registrados de plantas vasculares entre las que se encuentran 84 especies exclusivas del macizo. Contiene casi el 30 % de la flora de la España peninsular en el 0,4 % de su extensión y el 7% de la flora de la Región Mediterránea en el 0,01% de su superficie, datos sobresalientes para esta reducida superficie. De igual forma, presenta una rica comunidad faunística con alrededor de 4.000 especies de artrópodos entre los cuales 146 son especies endémicas que solo se encuentran en el macizo. El número de vertebrados registrados en Sierra Nevada asciende a 260 especies, destacando su rica avifauna, con especies como el águila real, águila perdicera o el quebrantahuesos, reintroducido en el macizo montañoso en los últimos años. Además, Sierra Nevada alberga la mayor población de cabra montés de la Península Ibérica y 300 especies exclusivas de insectos.



Figura 16. Quebrantahuesos volando en Sierra Nevada (Autor: Francisco Contreras Parody)

Es el único relieve peninsular donde están representados cinco de los seis "pisos bioclimáticos" de la región Mediterránea, desde el Termomediterráneo en las zonas

basales del macizo hasta el Crioromediterráneo en la zona de altas cumbres, donde aparecen la mayor parte de las especies endémicas, raras y/o amenazadas. A estos valores debemos añadir, por supuesto, la gran geodiversidad que posee. Destacando por ejemplo, que en altas cumbres se desarrollaron los sistemas glaciares más meridionales de Europa, formados en diversos momentos fríos del Cuaternario durante los últimos 260.000 años. En estas áreas cacuminales, se observan formaciones como circos y valles glaciares, morrenas y cubetas de sobreexcavación convertidas en espectaculares lagunas de alta montaña.

Los cursos de agua de Sierra Nevada se distribuyen entre las dos vertientes de macizo. En la vertiente norte, las aguas de las cuencas del río Genil y del río Fardes, llevan su caudal hasta el Parque Nacional de Doñana, a través del río Guadalquivir que desemboca en el océano Atlántico. En la vertiente sur, los cursos de agua se distribuyen entre las cuencas de los ríos Guadalfeo, Adra y Andarax, que llevan su caudal al mar Mediterráneo.

PARADA 2. EL MUSEO DEL AGUA

El Museo del Agua de Lanjarón (Fig. 17) se encuentra situado en el extremo este de la población, junto al cauce del río Lanjarón y debajo de la acequia de riego de la Ermita, que bordea unas antiguas construcciones utilizadas como matadero municipal. Es un proyecto del arquitecto español Juan Domingo Santos, que recupera una estructura que originalmente pertenecía a un conjunto de molinos de agua.

La sala exterior del museo está inspirada en la estructura de madera que en el siglo XVIII cubrió el Manantial de la Capuchina, famoso nacimiento de agua termal de Lanjarón. La exposición se extiende en su interior a través de cuatro salas con contenidos audiovisuales de diferentes temáticas: "El recorrido del agua", "Los recursos del agua" y "Los recuerdos del agua". En la nave más antigua un vidrio con proyecciones sobre su superficie emerge del suelo inundado con agua de la acequia, creando un juego de reflejos sobre los antiguos muros del molino.

En sus diferentes recursos audiovisuales se nos explica la estrecha relación de Lanjarón con el agua, tanto en aspectos científicos (ciclo del agua en la naturaleza), como medioambientales (vegetación), por su gestión (red de acequias), turísticos (balneario de aguas termales y minero-medicinales) o industriales (embotelladora de agua mineral de Lanjarón). Especial atención se presta a la importancia de las acequias de careo y a su gran distribución en la comarca de Lanjarón.



Figura 17. Museo del agua de Lanjarón (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

Junto a la espalda del museo, encontramos el Lavadero de las Cimas (Fig. 18), una ancestral infraestructura relacionada con el uso antrópico del agua. En la Alpujarra, como en tantos otros sitios, antes de contar con una construcción específica para esta finalidad, las lavanderas utilizaban como lavaderos las rocas de las orillas de los ríos y arroyos. Las piedras se elegían por su disposición y forma como plataformas sobre las que refregar la ropa. Posteriormente, en España, se construyeron una gran cantidad de lavaderos públicos desde principios del siglo XIX hasta la primera mitad del siglo XX. La lavadora,

que data de 1901, era un bien del que sólo un porcentaje privilegiado de la población disfrutaba, no popularizándose su uso hasta la década de los 70.

Este lavadero de las Cimas, se construyó en Lanjarón en los años 30 del siglo pasado, gracias a la donación de una lugareña pudiente (Pilar Fiestas). Aprovechando el agua de la acequia de la Ermita, se construyó el tipo de lavadero más común, que presentaba una canal o acequia por donde circulaba el agua, alineándose en sus bordes un número variable de piedras inclinadas o lajas. En la década de los 70 se modernizó mediante pilas prefabricadas de hormigón y ya en los 90 se cubrió con un tejado de hormigón para proteger a las personas del sol.



Figura 18. Lavadero de las Cimas (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

PARADA 3. ESTACIÓN DE AFOROS

Una estación de aforo consiste en una estructura que se construye en la sección transversal de un río con el fin de poder medir, almacenar e incluso transmitir medidas en continuo del caudal (cantidad de agua que circula por el río). En este caso, la estación de aforos del río Lanjarón (Fig. 19 y 22) pertenece a las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.



Figura 19. Estación de aforos del río Lanjarón (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

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.

- **Limnígrafos**: 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.

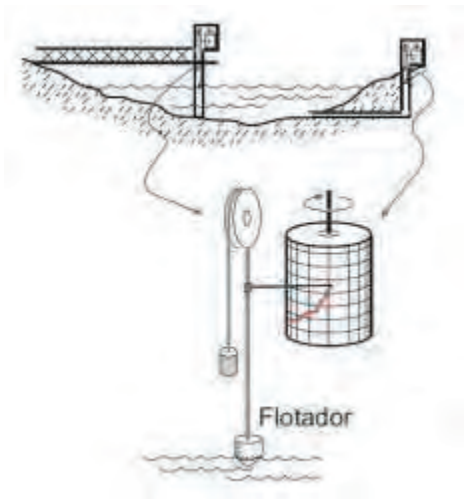


Figura 20. Ejemplo de limnígrafo con flotador clásico instalado. https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf

¿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. 19), 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 (m3/s) respectivamente.

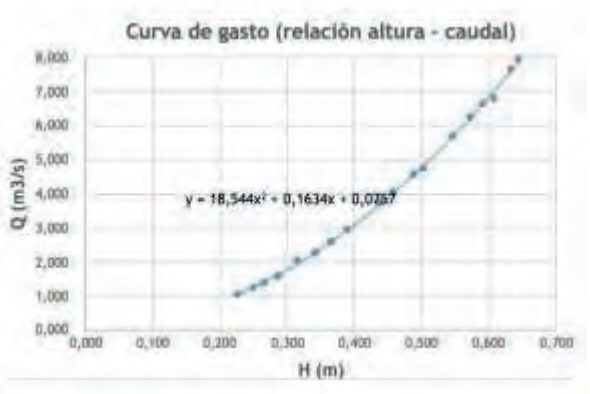


Figura 21. Representación gráfica de una curva de gasto

¿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 estación de aforo del río Lanjarón se encauza el río y se dirige hacia la margen izquierda, alcanzando el canal de aguas bajas (canal más pequeño con el que se consigue medida de mayor precisión cuando el río lleva poca agua). Junto al lado de este canal existe un pozo de registro que es donde se realizan las medidas de caudal. El agua que circula por el canal de aguas bajas entra por una rejilla en el pozo de registro, donde se queda a la misma altura que en el canal. En este pozo hay instalado un sensor de presión que mide y registra la altura de la lámina de agua de forma periódica, de manera que así se puede conocer con precisión el caudal que circula por el río.



Figura 22. Canal de aguas bajas de la estación de aforos (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

Las estaciones de aforo son esenciales para saber cuánta agua circula por una cuenca o qué caudal se genera cuando hay lluvias torrenciales. Estos datos son fundamentales para gestionar el agua de nuestros ríos y para conocer qué zonas se pueden inundar aguas abajo cuando se producen lluvias torrenciales.

PARADA 4. ACEQUIA DEL ACEITUNO

La acequia del Aceituno con 1.400 m de longitud, toma sus aguas de la margen derecha del río Lanjarón y abastece una superficie regable de 30 ha. Su caudal medio es de 6,85 l/s, lo que aporta un volumen máximo anual de 216.000 m³. En esta acequia, durante la actividad, tendremos la oportunidad de medir algunas propiedades físico-químicas del agua, como la temperatura, la conductividad y el pH, así como también su caudal utilizando diferentes métodos.



Figura 23. Acequia del Aceituno (Autor: Ángel Romero Martín)



Figura 23. Acequia del Aceituno (Autor: Ángel Romero Martín)

El caudal se puede medir de forma directa, mediante distintos aparatos que miden la velocidad del agua, o bien de forma continua, como vimos en la parada anterior, mediante una estación de aforo. Los molinetes son los equipos más usuales de medida directa. Estos aparatos cuentan con una hélice tarada. Conociendo el número de vueltas que da la hélice en un periodo de tiempo determinado, se puede conocer la velocidad del agua. La medida de dicha velocidad y la del ancho y la altura de la lámina de agua permite conocer el caudal que circula por el río o acequia en ese momento. Este tipo de labores exige el desplazamiento de una o dos personas para realizar una medida de caudal puntual. Otra forma de medir el caudal o aforar, que también practicaremos en esta parada, es mediante el método químico.

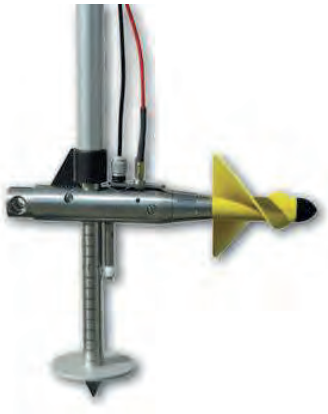


Figura 25. Molinete para medir caudal

PARADA 5. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los ecosistemas acuáticos de agua dulce son un componente esencial de la naturaleza, mantienen la biodiversidad del planeta y la calidad de vida de las personas mediante los servicios ecosistémicos que nos proporcionan. Proveen de recursos hídricos a las zonas urbanas, agrícolas e industriales y tienen un papel clave en la provisión de alimentos, las actividades recreativas y en el mantenimiento del ciclo del agua. Por tanto, es un recurso vital que influye en múltiples aspectos de la vida humana, desde la economía hasta la cultura.

El agua dulce que existe en nuestro planeta representa el 2,5% del total de agua disponible, el resto es agua salada. Las actividades humanas y los efectos del cambio climático están causando un gran impacto en los ecosistemas acuáticos a nivel mundial. Por lo tanto, es crucial que todos nos comprometamos a conservar y gestionar este recurso de manera responsable. Para reducir estos efectos adversos, es fundamental poner en marcha estrategias educativas que ayuden a concienciar a la comunidad sobre la vulnerabilidad de este valioso recurso natural. En este contexto, el estudio de los macroinvertebrados acuáticos es una

herramienta didáctica rápida, económica y eficaz, que nos permite conocer el estado ecológico de los hábitats de agua dulce, debido a que son excelentes bioindicadores de la calidad del agua y del estado de conservación de los bosques de ribera.

En esta parada, ilustraremos los diferentes grupos faunísticos que se utilizan para este propósito. Por un lado, aquellos grupos más sensibles a las alteraciones del medio, como los plecópteros (moscas de las piedras), efemerópteros (efímeras), tricópteros (frigáneas), odonatos (libélulas y caballitos del diablo) y coleópteros acuáticos (escarabajos). De otro lado, analizaremos los grupos que muestran mayor tolerancia a las variaciones ambientales como los hemípteros (chinches acuáticas), la mayoría de los dípteros (moscas y mosquitos), oligoquetos (lombrices), crustáceos, sanguijuelas, etc.



Figura 26. Macroinvertebrados acuáticos (Autor: Ángel Romero Martín)

El municipio de Lanjarón presenta dos cursos de agua bien distintos entre sí. El río Salado se distingue por su elevada concentración de sales y cierto carácter hidrotermal, resultado de su nacimiento en manantiales profundos y en las zonas de fallas. Por otro lado, el río Lanjarón es un típico ejemplo de río de alta montaña nevadense, con aguas muy puras de carácter oligotrófico (pocos nutrientes), frías y muy oxigenadas. El gran desnivel que presenta su cauce, desde la laguna de Lanjarón (3.180 m) al embalse de Rules (230 m), condiciona la distribución de las comunidades de flora y fauna a lo largo de su recorrido, debido a la velocidad y baja temperatura del agua. En estas circunstancias, la comunidad de insectos acuáticos presentes en el río Lanjarón y en el río Salado es sustancialmente distinta.

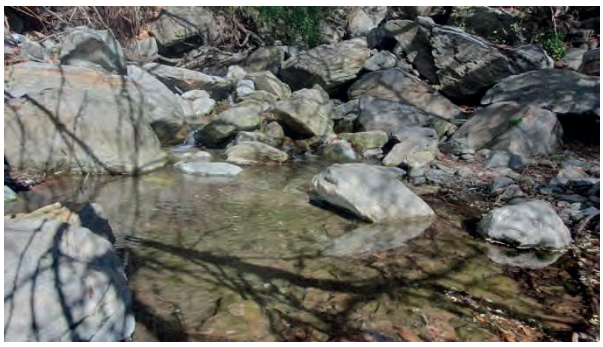


Figura 27. Poza en el río Lanjarón (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

El objetivo primordial de la quinta parada es reflexionar sobre el impacto de nuestras acciones cotidianas en el medio natural y sensibilizar a los participantes sobre la problemática social y ecológica del agua en el sureste ibérico.

RECORRIDO POR EL TÍPICO BARRIO HONDILLO

De la mano de un guía de turismo visitaremos el Barrio Hondillo, camino a la parada seis. El barrio es un conjunto arquitectónico integrado por estrechas calles, placetas y "tinaos", con viviendas de entre dos y tres alturas en torno a la calle Hondillo o Castejón. Durante el recorrido observaremos que conserva una gran cantidad de casas de origen antiguo y gran número de fuentes.

Son especialmente destacables los "tinaos" y portales, como el de La Chispas, del Tío Pedro, de la Chirinas, callejón de Dieguito y

la placeta Colorá. Además, alberga algunas hornacinas religiosas en fachadas. Su existencia se menciona ya en época musulmana y es, junto al castillo fortaleza, uno de los vestigios más evidentes del recuerdo de la época medieval en el municipio. En el barrio aún se pueden observar los elementos típicos de una arquitectura que parece tener raíces berebéres, con callejuelas estrechas, tinaos, casas que se sostienen y se pisan unas sobre otras



Figura 28. Fuente pública de la calle Cañuelo (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)



Figura 29. Arquitectura típica "Tinao" (Autor: Ángel Romero Martín)

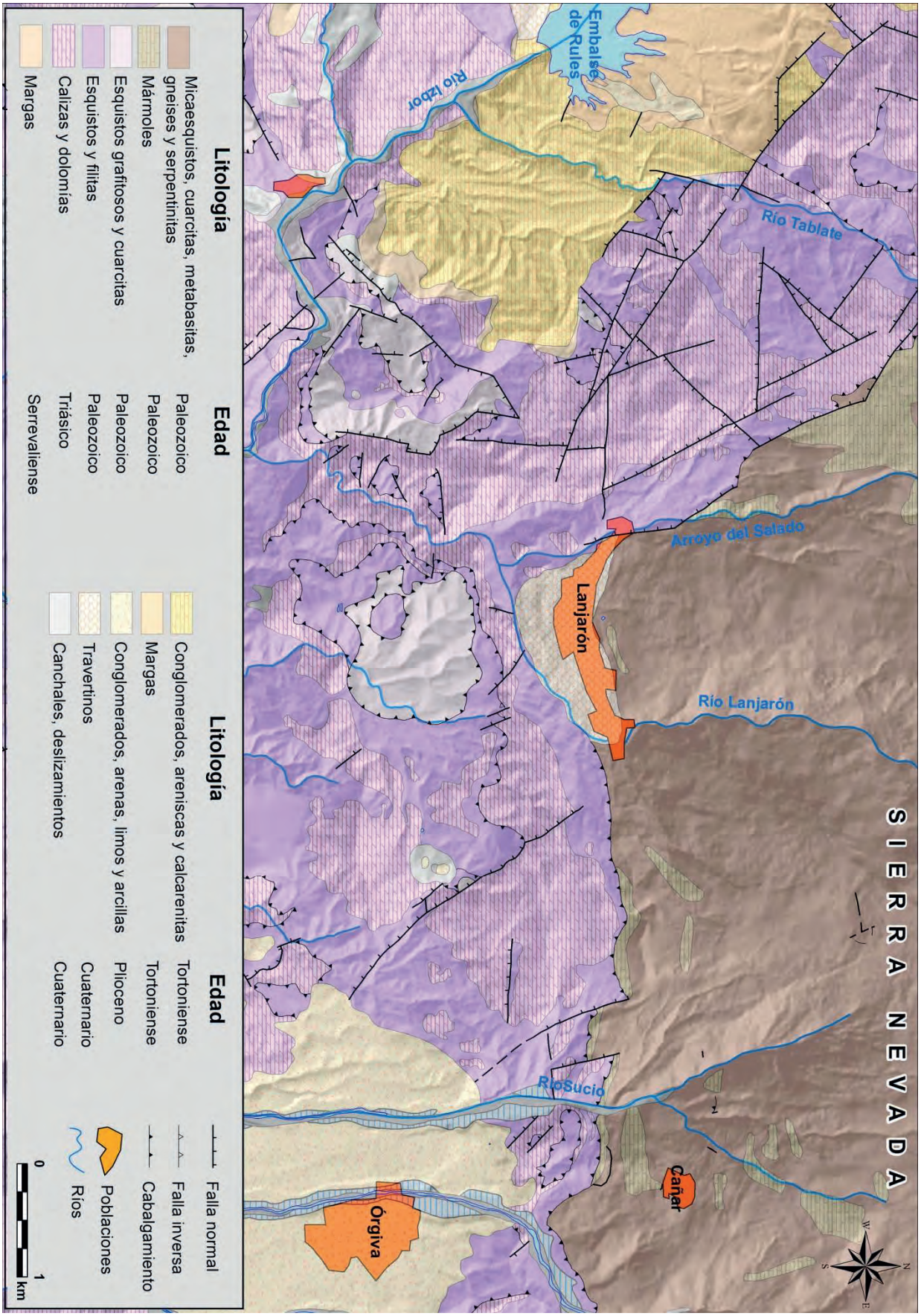
PARADA 6. TRAVERTINOS DEL PARQUE DEL SALADO

En la zona de Lanjarón se depositó un potente afloramiento de travertinos, cuyo techo da lugar a la plataforma sobre la que está edificada la población y cuya suave topografía contrasta marcadamente con el relieve mucho más abrupto, propio del modelado desarrollado sobre las restantes rocas del entorno. Esta formación travertínica es de edad reciente (Cuaternario) y consiste en un depósito de carbonato cálcico que aglutina abundantes restos vegetales (localmente puede mostrar enriquecimientos de hierro, de materia orgánica, o incluso de niveles más detríticos); se trata de depósitos típicamente asociados a zonas de descarga de aguas subterráneas; de hecho, en algunos puntos se observa la formación actual de tales rocas en relación con surgencias, en especial de las de mayor temperatura y salinidad, con desprendimiento de CO_2 (por ejemplo, el caso del manantial Ferruginoso Lanjarón, en las proximidades del cauce del río Lanjarón).



Figura 30. Travertinos en el Parque del Salado (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

En el momento en el que las aguas de los manantiales surgen a la superficie, finalizando su viaje por el interior de la Tierra, se descomprimen y se enfrían. Esto provoca una pérdida del gas carbónico que llevan en disolución, un incremento en el pH y un desequilibrio en el grado de saturación en calcita. La consecuencia es que el agua se vuelve incrustante y precipita parte de las sales que lleva en disolución en forma de carbonato cálcico. Estos precipitados se producen en zonas donde la vegetación es abundante, como consecuencia, los precipitados envuelven los tallos y ramas de las plantas fosilizándolas.



Mapa geológico de la zona. Hidrogeodía de Granada 2025 (Autor: Miguel Ángel Díaz Puga)

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA GRANADA

- La excursión del Hidrogeodía 2025 tiene lugar en un espacio natural protegido. Por lo tanto, se ruega no alterar el medio natural ni arrojar residuos al entorno.
- 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 el Parque del Salado.
- La hora de llegada es aproximada (12:30 a 14:00 dependiendo del grupo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han apoyado y/o patrocinado el Hidrogeodía 2025-Granada: Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada, Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Diputación Provincial de Granada, Ayuntamiento de Lanjarón, Aguas DANONE SA y Hotel España-Balcón de Lorca.

Agradecemos a Nuria Rodríguez Linares, Ana María Fortes Carrera y Antonio Bolivar Romero su labor de guías durante esta jornada.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA GRANADA 2025

Autores de la Guía:

Miguel Ángel Díaz Puga (Espacio Natural Sierra Nevada)
Ángel Romero Martín (Espacio Natural Sierra Nevada)
Sergio Martos Rosillo (IGME-CSIC)

Organizadores:
Miguel Ángel Díaz Puga (Espacio Natural Sierra Nevada)
Ángel Romero Martín (Espacio Natural Sierra Nevada)
Rocio García Lara (Espacio Natural Sierra Nevada)
Sergio Martos Rosillo (IGME-CSIC)
Nuria Naranjo Fernández (IGME-CSIC)
Irene Carrillo Marín (IGME-CSIC)
Thomas Zakaluk (IGME-CSIC)
Blas Ramos (IGME-CSIC)
Manuel López Chicano (UGR)
Jorge Jiménez Sánchez (IGME-CSIC)
Cesar Husillos (IGME-CSIC)
Károly Hidas (IGME-CSIC)

PARA SABER MÁS....

Para conocer más sobre los aspectos abordados en este documento se recomienda la lectura de los documentos que se indican a continuación, dado que estos han sido utilizados para la elaboración de esta guía y de ellos se han utilizado algunas de las figuras que ilustran este documento:

Castillo Martín, A., Cruz Sanjulián, J.J. y Benavente Herrera, J. (1999): Aguas de sierra nevada; aguas de Lanjarón. En: "Lanjarón: paisajes del agua". Ed. Balneario de Lanjarón, S.A. 35-64.

Díaz Puga, M.A. (2016). Caracterización Hidrogeológica e hidrogeoquímica del extremo occidental de la Sierra de Gádor y acuíferos cercanos. Universidad de Almería. Tesis Doctoral. 492 pp.

Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Estudio de detalle de la provincia

de Granada. Tomo II. IGME y Junta de Andalucía, 1990-1991.

Martos Rosillo, S., González Ramón, A., Ruiz Constán, A., Marín-Lechado, C., Guardiola Albert, C., Moral Martos, F., Jorge Jódar, J. y Pedrera Parias, A (2019): El manejo del agua en las cuencas de alta montaña del Parque Nacional de Sierra Nevada (Sur de España). Un ejemplo ancestral de Gestión Integral del Agua. Boletín Geológico y Minero, 130 (4): 729-742.

Rodríguez del Rosario, M., Manuel López Chicano, M. y Calvache Quesada, M.L. (2023): Caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas subterráneas de Lanjarón (Sierra Nevada, Granada). Revista de la Sociedad Geológica de España, 73, 7-10.

Rodríguez Fernández, R. (2017): Guía Geológica del Parque Nacional de Sierra Nevada. Instituto Geológico y Minero de España. 321 pp.



Guadalajara

HIDROGEODÍA 2025

unesco Global Geopark

GEOPARQUE COMARCA DE MOLINA - ALTO TAJO

EL RÍO MESA: RECURSO ESENCIAL Y PELIGRO OCASIONAL

Excursión guiada gratuita solo previa inscripción
22 de marzo de 2025 a las 10:00
Parada de bus de Mochales en Calle del Río.

CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Instituto Geológico y Minero de España



Colaboran:

Ayuntamiento de Mochales
Ayuntamiento de Villel de Mesa
Ayuntamiento de Algar de Mesa
Agentes Medioambientales de Castilla-La Mancha

Inscripción y solicitud de plaza en autobús Molina - Valle del Mesa - Molina:
mediante correo electrónico a email a: geoparquemolinaaltotajo@gmail.com
Más información y folleto en: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?
APADRINA UNA ROCA
CSIC IGME 175

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Castilla-La Mancha
Consejería de Desarrollo Sostenible
DIPUTACIÓN DE GUADALAJARA
Comunidad de Real Señorío de Molina y su Tierra
MUSEOS DE MOLINA
LEADER MOLINA DE ARAGÓN ALTO TAJO
NATURA 2000

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la hidrogeología con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). La hidrogeología es la parte 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.

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

En Guadalajara, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en **el Valle del Río Mesa,** realizando un recorrido desde Mochales a Algar de Mesa que nos mostrará los principales usos tradicionales del agua, así como otros elementos interesantes relacionados con ella y el aprovechamiento que ha hecho esta comunidad del que es el principal recurso natural con que cuenta y que ha sido clave en su economía y modo de vida.



Punto de encuentro del Hidrogeodía de Guadalajara 2025, en la Calle del Río de Mochales.

GEOPARQUE MUNDIAL UNESCO COMARCA DE MOLINA - ALTO TAJO

La Comarca de Molina - Alto Tajo pertenece desde 2014 a la Red Global de Geoparques Mundiales de la UNESCO. Esta organización está formada por territorios que poseen un patrimonio geológico de relevancia internacional gestionado adecuadamente desde su comunidad local para obtener beneficio socioeconómico y convertirlo en fuente de desarrollo sostenible.


Rocas del Geoparque de Molina – Alto Tajo.

El Valle del río Mesa se encuentra incluido en la Red Natura 2000 ya que es parte del Lugar de Interés Comunitario Parameras de Maranchón, Hoz del Mesa y Aragoncillo. Los principales valores que han llevado a esta catalogación son sus comunidades vegetales como sabinares, asociaciones de plantas rupícolas calcícolas, comunidades de repisas y de paredones rezumantes. Coronando las laderas, se asoman sabinares de páramo con una excepcional riqueza en plantas y aves esteparias.



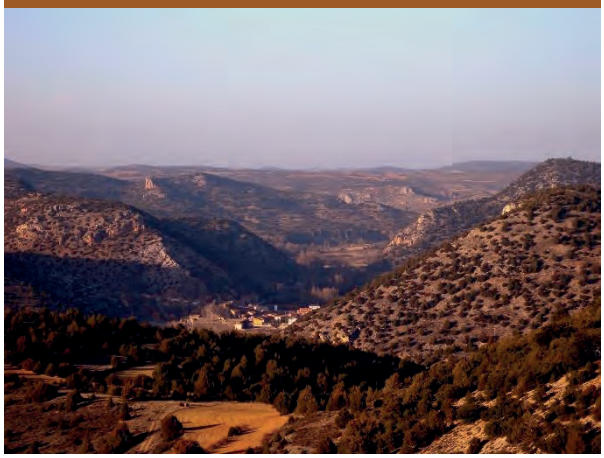
El punto de encuentro y de partida del recorrido es el parque junto a la parada de bus en la Calle del Río de Mochales.

El Valle del río Mesa se encuentra en la zona norte del Geoparque Mundial UNESCO Comarca de Molina - Alto Tajo. Lo recorre la carretera GU-427 y se encuentra a 40 km de Molina de Aragón y a 125 km de Guadalajara.

EL HIDROGEODÍA DE GUADALAJARA 2025

En este valle puedes encontrar ejemplos de cómo el agua es aprovechada de forma eficiente y sostenible convirtiéndola en un recurso que genera gran riqueza para la economía tradicional de su comunidad. Sin embargo, en ocasiones el agua puede causar daños y es necesario realizar obras que prevengan los efectos de las periódicas avenidas que se producen. Este Hidrogeodía te muestra múltiples usos del agua, con las infraestructuras construidas para ellos y las que previenen los efectos dañinos que se producen cuando, eventualmente, las precipitaciones son intensas.

ENTORNO GEOLÓGICO DEL VALLE DEL RÍO MESA



El río Mesa ha excavado un valle encajándose en la paramera que flanquea la Cordillera Ibérica y poniendo al descubierto estratos que van desde el Triásico Medio al Terciario. El itinerario de este Hidrogeodía 2025 de Guadalajara avanza descendiendo en la estratigrafía hacia rocas más antiguas, de forma que al comienzo se observan las calizas del Jurásico Inferior con formas escarpadas en las laderas del valle. Continuando la ruta, aparecen las arcillas en facies Keuper del Triásico Superior, escasamente representadas en este entorno, y las calizas en facies Muschelkalk del Triásico Medio formando pronunciados escarpes sobre el tramo de carretera entre Mochales y Villel. Los materiales más antiguos son las areniscas rojas de las facies Buntsandstein del Triásico Inferior. Coronando las laderas del valle en la zona de Villel, los sedimentos continentales del período Terciario forman acantilados con su característico color anaranjado.

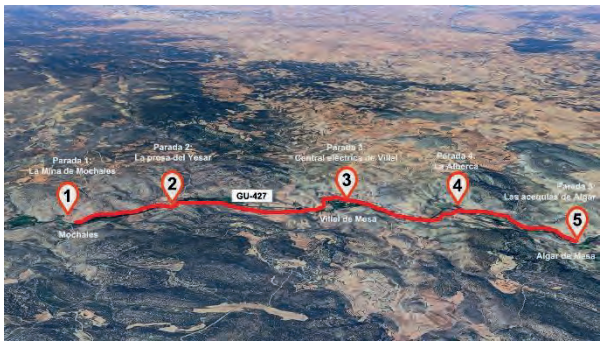
También observaremos formaciones de toba caliza de reciente formación (Cuaternario), lo cual aporta una visión de la enorme capacidad del agua para modelar el paisaje y aportar nuevos recursos.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La hidrogeología es la parte de la geología que estudia el agua subterránea, su origen, su circulación, su disponibilidad, su interacción con suelos y rocas, etc… En el momento en que, a causa del cambio climático, el aumento de la población y la actividad industrial, el agua se ha convertido en un bien escaso, el conocimiento de los recursos hídricos disponibles y su evolución cobra gran importancia.

ITINERARIO

Descendiendo por la carretera GU-427 que lleva a Mochales y recorre el valle hasta Algar de Mesa, realizaremos el itinerario, si bien necesitaremos caminar unos metros para acceder a las paradas.



PARADA 1: La Mina de Mochales

El Barranco de la Romerosa recoge el agua de lluvia de una amplia extensión sobre Mochales. Con frecuencia, sus avenidas provocaban la inundación del pueblo. Descubre cómo se solucionó este problema.



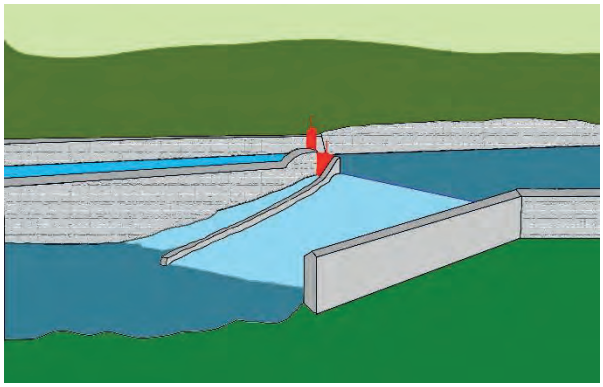
Entrada de la Mina

PARADA 2: La presa de El Yesar



Presa de El Yesar

El aprovechamiento del agua casi siempre comienza con la construcción de una presa, también llamada azud. En ella se remansa el agua para derivar una parte del caudal por un canal que la dirige a los diferentes puntos donde se utiliza.



Esquema de la presa de El Yesar.

Desde aquí puedes observar las compuertas que regulan el caudal que se deriva por el canal, de modo que permanezca lo más constante posible, tanto en períodos de estiaje como en caso de avenidas.

¿Qué es el "caudal ecológico?

PARADA 3: Minicentral eléctrica La Esperanza de Villel de Mesa



Maquinaria de la minicentral de Villel

Una de los usos más frecuentes de la energía hidrahulica es la generación de energía eléctrica, ya que es fácil de transportar y es esencial para nuestro modo de vida. En esta instalación puedes observar todos los mecanismos que intervienen para que se produzca esta transformación.

PARADA 4: La Alberca de Villel



La Alberca de Villel

Se trata de una torca, es decir, una depresión con paredes verticales formada por el hundimiento de la superficie a causa de la creación y colapso de una cavidad subterránea a poca profundidad bajo ella. Al encontrarse en la zona de regadíos del río Mesa, ha sido aprovechada para diferentes usos.

PARADA 5: Las acequias de Algar de Mesa

El agua que se ha captado en las presas, se conduce hacia los puntos de utilización por medio de pequeños canales conocidos como acequias. Descubre cómo, en Algar de Mesa, estas acequias se han conservado hasta la actualidad y las podemos encontrar en las calles y las casas.



Canal de agua en Algar de Mesa



Las acequias cruzan el casco urbano de Algar de Mesa

Hasta hace poco tiempo, los márgenes del cauce del río Mesa eran cultivos de regadío, es decir, huertas de hortalizas que necesitan un aporte de agua adicional al que produce la lluvia. Para conseguir esta hidratación extra, especialmente durante el verano, las acequias de riego distribuían el agua hasta cada parcela.



Zona de regadíos junto al río

A LO LARGO DEL VALLE

En varios puntos del valle podremos ver formaciones de toba caliza originada por la precipitación de carbonato cálcico en surgencias de agua saturada en carbonatos. 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 frecuente encontrarla formando parte de obras tradicionales como muros y, especialmente por su ligereza, para la formación de arcos y bóvedas.

AGUA Y SOCIEDAD

En el Valle del Río Mesa podemos comprobar la importancia que el agua cobra para una comunidad rural tradicional. En primer lugar, no debemos olvidar que ha sido la erosión del río tallando la paramera, la que ha generado un valle en cuyo fondo se han acumulado tierras fértiles mientras que sus laderas protegen del viento creando un microclima más benigno que el del entorno. Así mismo la energía hidráulica ha proporcionado impulso a la economía tradicional, determinando los modos de vida de su comunidad.



La Chorrera de Algar de Mesa

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

El agua subterránea es clave por la gran 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, y las de umbría, más húmedas y frías. Esta diferenciación aporta mayor biodiversidad a este paisaje.



Entorno de Villel de Mesa

CONSIDERACIONES

Se trata de una actividad voluntaria y gratuita, por lo que las entidades y personas organizadoras no se hacen responsables de eventuales accidentes o incidencias sufridos por los participantes.

La organización fletará un autobús gratuito que partirá de Molina de Aragón, realizará el itinerario y regresará a Molina. Es necesario solicitar plaza escribiendo al correo; geoparquemolinaaltotajo.@gmail.com Los participantes que asistan desplazándose en el autobús puesto a su disposición por la organización, se comprometerán a regresar a este tras la finalización de las explicaciones evitando retrasar la realización del itinerario. Si algún participante no hubiera regresado al autobús en un tiempo razonable, el vehículo partirá hacia la siguiente parada del itinerario. La organización no se hará responsable de las molestias ocasionadas en caso de pérdida del autobús por retraso en el acceso.

La actividad tiene lugar en un espacio protegido y sensible, por lo que es obligatorio

respetar las normas de los espacios Red Natura 2000, entre las que destacamos:

- Estacionar los vehículos en lugares adecuados, respetando su capacidad máxima y evitando obstaculizar el tráfico.

- 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....

https://www.geoparquemolina-altotajo.es

https://www.castillalamancha.es/gobierno/agrimedambydesrur/estructura/dgapfyen/rednatura2000/liczepaES4240017-ES0000094

https://es.wikipedia.org/wiki/Valle_del_Mesa

https://www.facebook.com/AsociacionAmigosDeMochales/

https://algardemesa.com/

https://geoparquemolina-altotajo.com/wp-content/uploads/2024/12/Georuta-11i-1.pdf

TELÉFONOS DE INTERÉS

Existe servicio de bar en Mochales y restaurante en Algar de Mesa. En el momento de editar esta guía, el bar de Villel de Mesa se encuentra cerrado por los daños causados por la DANA en 2024.

Se recomiendo llamar y reservar antes de solicitar los servicios de estos establecimientos:

Bar (Mochales): 642 819 685

Bar (Villel de Mesa): 626 718 839 Tienda (Villel de Mesa): 630 345 500

Bar Domingo (Algar de Mesa): 608 911 614 Bar Restaurante Carlos (Algar de Mesa): 949 834 799



HIDROGEODÍA 2025

ORGANIZAN

Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español

COLABORAN

Ayuntamiento de Mochales

Ayuntamiento de Villel de Mesa

Ayuntamiento de Algar de Mesa

Agentes Ambientales de Castilla La Mancha

Agradecimiento especial a Francisco Escolano.



Huelva

HIDROGEODÍA 2025 HUELVA

Facultad de Ciencias Experimentales
Universidad de Huelva

Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad de Huelva

iah aih
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Domingo 23 de marzo de 2025

La Ría de Huelva: Contaminación del agua y problemática ambiental

VISITA GRATUITA EN BARCO

Punto de encuentro:
Muelle de Levante (antigua cervecería Bonilla)

Hora de inicio 10:00
Duración 3h

Imprescindible reserva previa:

hidrogeodiahuelva@gmail.com



Información detallada y guía de la excursión próximamente en:

www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2025/

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA 180

CSIC IGME 175

ICOGA
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía

EL HIDROGEODÍA

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

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

En la provincia de Huelva, el **Hidrogeodía 2025** será la VI edición desde 2018 y consistirá en una visita en barco para mostrar los problemas de contaminación que sufre el **estuario de la Ría de Huelva**. .

COMO LLEGAR

El punto de encuentro será el Muelle de Levante en el puerto interior de la ciudad de Huelva, junto a la antigua cervecería Bonilla.

Dirección: Puente Pt Muelle Levante, 118, 21001 Huelva.

1. EL ESTUARIO DE LA RÍA DE HUELVA

Los estuarios se forman cuando el agua de mar penetra en la desembocadura de los ríos debido a las mareas, generando una zona donde se mezcla **agua salada** (marina) y **agua dulce** (fluvial) en distintas proporciones. Estos **sistemas de transición** son muy productivos gracias a la gran **diversidad** de hábitats (canales profundos, playas arenosas, marismas, caños, esteros...) y la gran variabilidad hidrológica debido a los constantes cambios de los aportes fluviales y del mar. Muchas especies de peces y crustáceos dependen de las aguas estuarinas como lugares seguros para reproducirse y pasar sus primeras fases de desarrollo, de ahí que los estuarios sean muy importantes para el sostenimiento de las pesquerías costeras. Además, existe un gradiente de distintos tipos de vegetación, en función de la salinidad e inundabilidad, formando numerosos hábitats que permiten a muchas especies de pájaros, mamíferos y otros animales alimentarse y reproducirse. De este modo, los estuarios son paso obligatorio en las rutas migratorias de muchas aves.

La unión de las desembocaduras de los ríos Tinto y Odiel define un extenso sistema estuarino conocido como la **Ría de Huelva**. La influencia marina penetra más de 25 km tierra adentro, hasta las proximidades de Gibraleón en el estuario del Odiel y más allá de San Juan del Puerto en el del Tinto.

La dinámica de la costa de Huelva está dominada por el efecto de las mareas, que tiene un régimen denominado mesomareal, con un rango de marea medio de 2,2 m, alcanzándose en las mareas vivas los 3,7 m (Morales y Borrego, 2008). La formación del estuario de la Ría de Huelva se remonta a hace

11.000 años, cuando el nivel del mar comenzó a subir. Desde entonces y hasta hace unos 6.000 años se ha producido un ascenso de más de 100 m, en el que las desembocaduras de los ríos Tinto y Odiel han sido invadidos por el mar. Originalmente la Ría de Huelva era un estuario abierto y profundo. En una fase posterior se formaron islas barreras, cerrando el estuario y favoreciendo la sedimentación. De esta forma se formaron las grandes islas situadas en el interior del estuario, como la isla Saltés.

En función de su dinámica sedimentaria, se pueden diferenciar cuatro sectores en el estuario (Fig. 1; López-González et al., 2008):

- **Canal del Padre Santo**, que va desde la confluencia Tinto-Odiel hasta el océano Atlántico. Es la vía de navegación de los barcos que se dirigen al puerto de Huelva, a través del canal penetra la mayor parte del agua mareal y sale el agua fluvial durante las crecidas.
- **Subsistema Punta Umbría**, formado por una amplia extensión de llanuras mareales vegetadas que forman parte del Paraje Natural Marismas del Odiel.
- **Estuario del Odiel**, que se extiende hasta las proximidades de Gibraleón. En su zona más interna se desarrollan un complejo sistema de islas con marismas que también *forma parte del* Paraje Natural Marismas del Odiel. En su tramo final se ubican instalaciones portuarias y un polígono industrial.
- **Estuario del Tinto**, que se extiende desde las proximidades de San Juan del Puerto hasta la confluencia con el Odiel. En su margen oeste se sitúan las balsas de fosfoyesos mientras que al Este se ubica el Paraje Natural Estero Domingo Rubio y las localidades de Palos de la Frontera y Moguer.

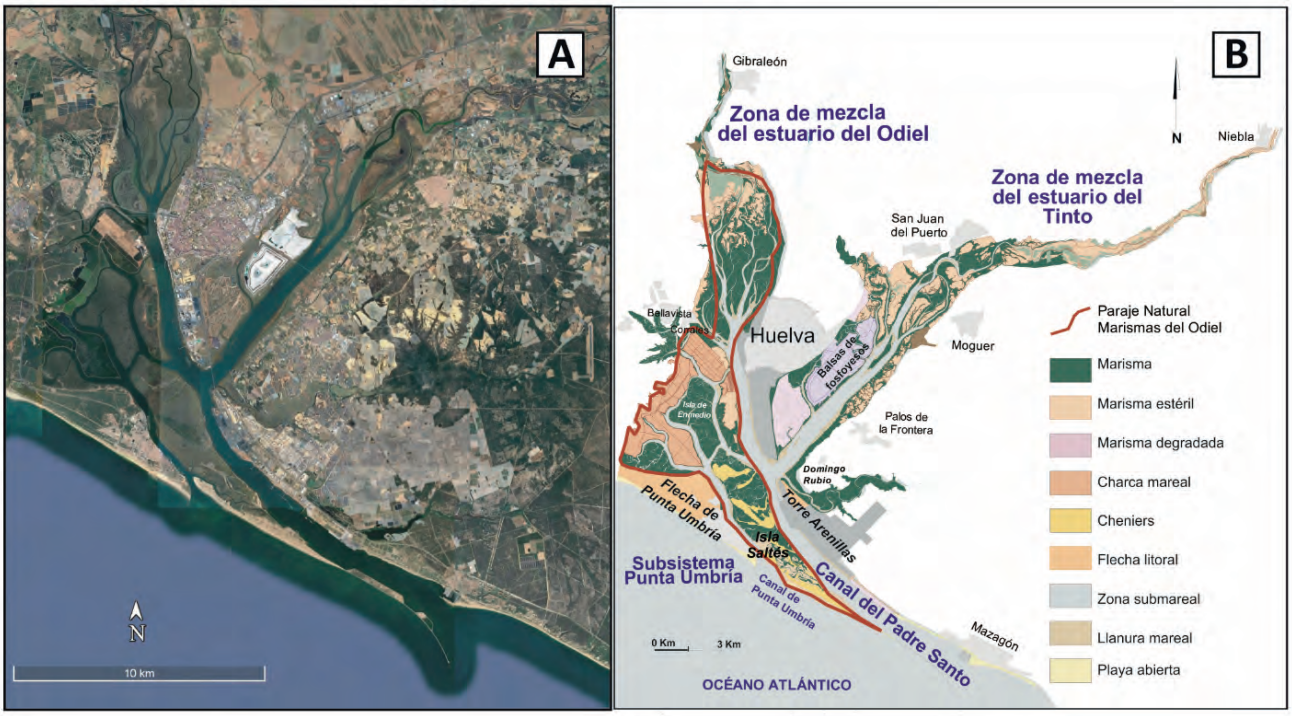


Figura 1. *A) Imagen aérea del estuario de la Ría de Huelva. B) Cartografía de los ambientes sedimentarios de la Ría de Huelva y ubicación del Paraje Natural de Marismas del Odiel. Modificado de Carro et al. (2018).*

Aparte de sus valores ecológicos, la Ría de Huelva ha condicionado la forma de vida a lo largo de la historia en la propia ciudad, por lo que tiene un **gran valor sociocultural**. Así, entre las formas de aprovechamiento tradicional, además de la pesca, destacan la existencia de salinas tradicionales, como las de Bacuta, en el estuario del Odiel, o las de San Juan del Puerto en el del Tinto. Esta actividad continúa hoy en día con medios modernos en las salinas del Odiel, que veremos en el recorrido. Otras instalaciones en la Ría de Huelva eran los Molinos de Marea, en los que se almacenaba el agua de la pleamar mediante diques y luego durante la bajamar se hacía pasar a través de un rodete, permitiendo la molienda del trigo. En la costa de Huelva existían 30 molinos de mareas, 4 de ellos en la ciudad de Huelva. Por otro lado, desde mediados del siglo XIX a mediados del siglo XX existieron varios balnearios y playas para el baño en la orilla izquierda del estuario del Odiel, donde los onubenses podían nadar y refrescarse los calurosos días del verano (Cátedra Aguas de Huelva, 2022).

2. HISTORIA DE LA CONTAMINACIÓN Y APORTES DE LOS RÍOS TINTO Y ODIEL

La Ría de Huelva representa un claro ejemplo de **ecosistema contaminado por metales**. Los residuos que actúan como fuente de contaminación son, principalmente, aquellos que existen en zonas mineras abandonadas de la Faja Pirítica Ibérica (FPI). La FPI es una de las mayores provincias metalogenéticas de sulfuros masivos del mundo, que han sido explotados por las diferentes civilizaciones que se han asentado en esta región. Como resultado de dicha explotación se liberan contaminantes que son transportados a la Ría de Huelva a través de los ríos Tinto y Odiel. La **contaminación minera** en la Ría de Huelva, comenzó en el periodo calcolítico (hace unos **5000 años**) con las primeras explotaciones metalúrgicas, intensificándose posteriormente durante la época romana, si bien, la envergadura de ambos periodos mineros no fue suficiente como para generar un problema crónico. Sin embargo, en el **siglo XIX**, la **minería alcanzó una escala industrial** con la llegada de empresas extranjeras, especialmente la británica Río Tinto Company Limited, que explotó masivamente los yacimientos sin ningún control ambiental, generando grandes depósitos de residuos ricos en metales pesados (Fig. 2). Así, entre 1900 y 1930 se sitúa el período de mayor producción minera en la FPI en un contexto de alta demanda de cobre y ácido sulfúrico, llegando a una producción anual de piritas del 60% del total mundial (Carrasco Martiañez, 2000).



Figura 2. *Teleras para la tostación de pirita a cielo abierto en la segunda mitad del siglo XIX (Fundación Riotinto).*

Esta intensa actividad extractiva generó grandes impactos ambientales:

- Drenaje ácido de mina debido a la exposición de sulfuros metálicos (ej. pirita) a condiciones atmosféricas, contaminando las aguas con acidez y liberando metales y metaloides tóxicos al medio (hierro, arsénico, plomo, cobre, cadmio, zinc…).

- Contaminación atmosférica con gases tóxicos y generadores de lluvia ácida (ej. gases sulfurosos y arsenicales).
- Contaminación de suelos.
- Acumulación masiva de residuos mineros en escombreras y balsas de lodos.
- Impacto paisajístico y degradación del medio natural.

Durante la Segunda Guerra Mundial se produce una disminución de la producción minera y hasta finales de los 50, durante la dictadura, no se produce un repunte. Además, en la década de 1960, la industrialización agravó la contaminación en el estuario de Huelva, especialmente con la creación del **Polo Químico**, donde se trasladó la fundición de cobre y la fábrica de ácido sulfúrico, además de otras empresas como "Fertilizantes de Iberia". Se promovió la instalación de las industrias en esta zona porque, al ya estar la Ría de Huelva contaminada por los ríos Tinto y Odiel con sus aguas ácidas y ricas en metales, no era necesario ningún tratamiento de aguas residuales antes de verterlas. Esto provocó una gran degradación de la Ría de Huelva al sumarse la contaminación procedente de los ríos con la de las industrias, enriqueciendo sus aguas y sedimentos también con nutrientes (nitratos y fosfatos), partículas en suspensión e incluso radionúclidos como el uranio (Borrego et al, 2002; Hierro et al., 2013).

En relación con la fabricación de ácido fosfórico para fertilizantes, este proceso industrial generó grandes cantidades de **fosfoyeso**, un residuo con impurezas metálicas y radionucleidos. Hasta 1997, un 20% de este material se vertía directamente al estuario del río Odiel sin tratamiento, y el resto se acumulaba en balsas sobre las marismas del río Tinto, afectando la calidad del agua y los sedimentos. Un cambio legislativo en **1997** obligó a la empresa a modificar su **gestión de residuos**, adoptando un sistema cerrado de agua y apilando los fosfoyesos en una gran pila, reduciendo así los vertidos directos. Así mismo, a partir de la década de 1980, se implementaron en España **medidas de control ambiental en la minería**, enfocadas en la protección de los recursos naturales, la gestión de residuos y la restauración de espacios afectados. Por ejemplo, el Real Decreto 2994/1982 estableció la obligación de restaurar el espacio natural afectado por actividades mineras. En Andalucía, y específicamente en la provincia de Huelva (Diputación de Huelva, 2022), estas medidas adquirieron especial relevancia debido a la intensa actividad minera en la región. La Estrategia Minera de Andalucía (Junta de Andalucía, 2023), desarrollada en años posteriores, promovió prácticas sostenibles y la economía circular en el sector minero, buscando minimizar el impacto ambiental y fomentar la reutilización de recursos. Estas medidas representan una mejora en la calidad ambiental de la Ría de Huelva frente a la contaminación recibida.

3. ESTADO ACTUAL AGUAS SUPERFICIALES Y SEDIMENTOS

A pesar de los esfuerzos de restauración ambiental, la Ría de Huelva sigue recibiendo una carga significativa de contaminantes procedentes de minas de sulfuros abandonadas. Los ríos Tinto y Odiel transportan grandes cantidades de metales y metaloides desde las zonas mineras, mientras que las balsas de fosfoyesos situadas en las marismas del margen derecho del estuario contribuyen con lixiviados ácidos. Olías et al. (2006) calcularon la contribución fluvial procedente de la minería abandonada entre 1995 y 2003, determinando un vertido promedio de contaminantes de **7900, 5800, 3500, 1700 y 1600 toneladas anuales de Fe, Al, Zn, Cu y Mn**, respectivamente, entre otros elementos. Estos valores representan más del **50 % del Zn y el 10 % del Cu** de la

cantidad **total de metales** transferidos desde los continentes hacia los **océanos a nivel global**.

La Ría de Huelva actúa como un medio de transición entre las aguas ácidas fluviales (pH 2.5-3.5 en los ríos Tinto y Odiel) y las condiciones alcalinas del mar (pH ~8). En este entorno, **los contaminantes siguen diferentes dinámicas** (Fig. 3):

- **Elementos no conservativos** (como hierro, aluminio y cobre) precipitan en el agua cuando el pH se neutraliza, acumulándose en los sedimentos.
- **Elementos conservativos** (como zinc, manganeso, níquel y cobalto) permanecen en disolución y llegan hasta el océano.
- **Elementos con comportamiento "off-on"** (como el arsénico) pueden quedar atrapados temporalmente en los sedimentos y posteriormente liberarse al medio acuático.

Los contaminantes conservativos y aquellos con un comportamiento "on-off" son los responsables de que el agua de mar en la plataforma del **Golfo de Cádiz** presente una **elevada concentración de metales disueltos** en comparación con otras aguas costeras del mundo. Esto fue identificado en la década de 1980 por una expedición oceanográfica del Woods Hole Oceanographic Institution (Sherrell & Boyle, 1988). En la actualidad, no hay debate científico sobre el hecho de que los metales presentes en el Golfo de Cádiz provienen de las descargas de los ríos Tinto y Odiel. En relación con los elementos no conservativos, los procesos de precipitación hacen que los sedimentos estuarinos actúen como sumideros de la contaminación. Las concentraciones de metales observadas en los sedimentos superficiales del estuario presentan valores muy por encima de los valores de referencia. Por ejemplo, las concentraciones de **cobre** alcanzan hasta **3000 mg/kg**, triplicando el umbral de sedimento no peligroso establecido por CEDEX (2021). Estos elevados niveles de metales y metaloides en las aguas y sedimentos de la Ría de Huelva se transfieren a la vegetación, penetrando en la cadena trófica y afectando a muchos otros organismos que habitan en este entorno, como crustáceos, peces e incluso aves, suponiendo un **gravísimo problema ambiental.**

Actualmente, **investigadores de la Universidad de Huelva** continúan monitorizando la evolución de la contaminación en la Ría de Huelva, con el objetivo de comprender mejor su dinámica y

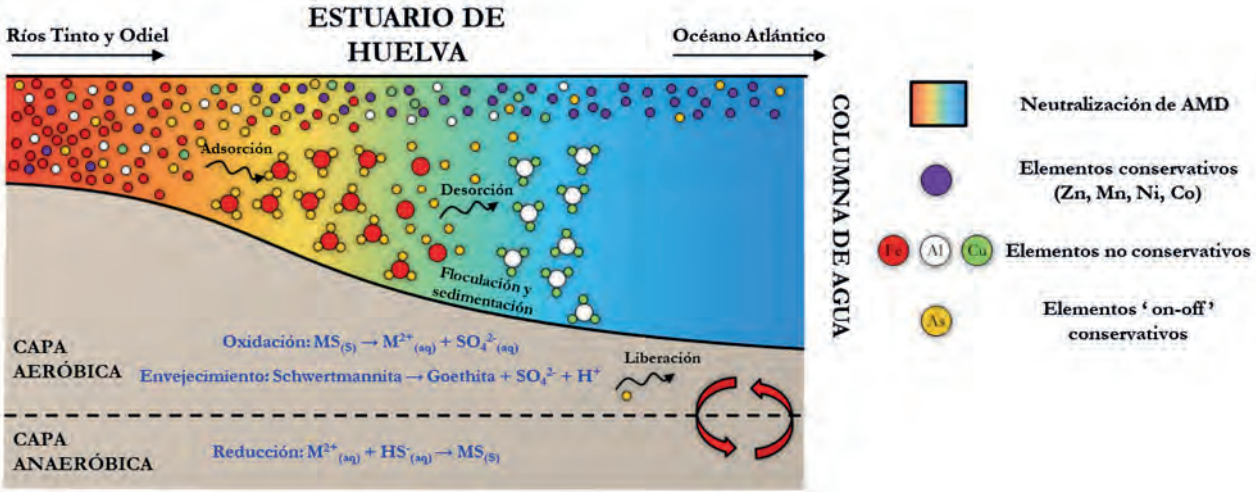


Figura 3. *Modelo conceptual de los procesos que afectan al material particulado desde su floculación hasta su sedimentación en el estuario de Huelva.*

desarrollar estrategias de mitigación más efectivas.

4. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ENTORNO DE LA RÍA DE HUELVA

Como hemos visto anteriormente, el estuario de la Ría de Huelva está dominado por las entradas de aguas del océano Atlántico, por un lado, y los aportes superficiales de los ríos Tinto y Odiel, por el otro. No obstante, el estuario también recibe aportes de aguas subterráneas, aunque de menor magnitud. Los acuíferos ubicados en el entorno de la ría de Huelva son: Niebla-Posadas al norte, Ayamonte-Huelva al oeste y Almonte-Marismas al este.

El **acuífero Niebla-Posadas** se extiende al borde de los materiales paleozoicos de la meseta ibérica desde la provincia de Huelva hasta la de Córdoba. Los materiales que constituyen este acuífero son principalmente calcarenitas, conglomerados y arenas del Mioceno. Estos materiales afloran en la zona de Niebla y Gibraleón, pero se hunden progresivamente hacia el sur y sobre ellos se dispone la formación Arcillas de Gibraleón. Por ello, en la zona de la ría de Huelva los materiales acuíferos están cubiertos por materiales impermeables (las arcillas) y no aportan agua subterránea a la ría de Huelva. Es decir, en esta zona el acuífero está confinado.

En el **acuífero Ayamonte-Huelva** se distinguen varios niveles permeables constituidos por: arenas, gravas y conglomerados del Mioceno, Plioceno y Cuaternario (son los materiales de color amarillo en la figura 4). La parte de este acuífero donde el agua subterránea fluye hacia

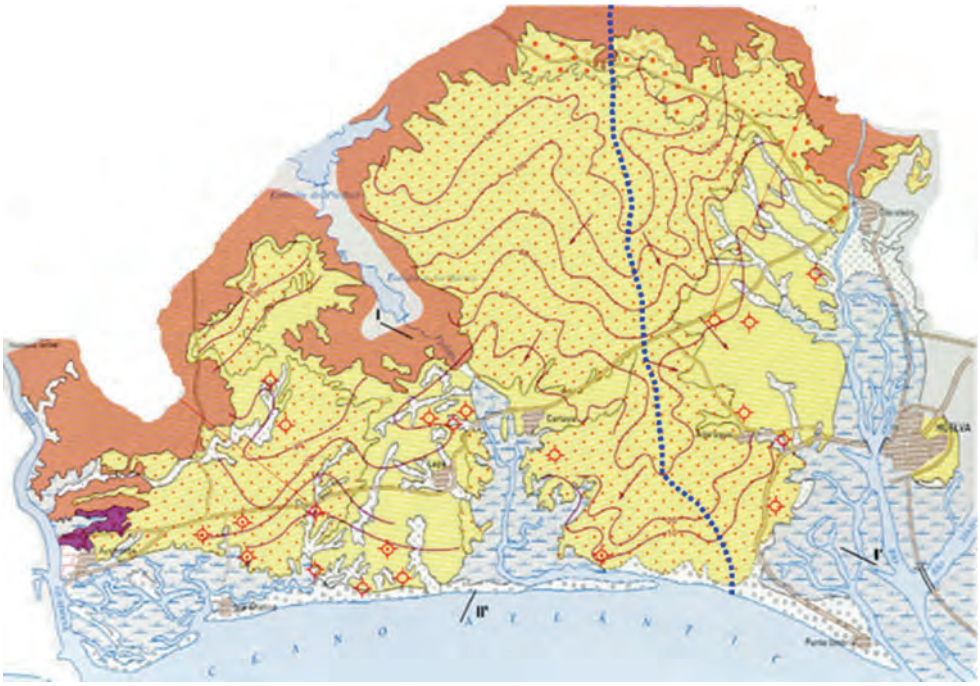


Figura 4. *Figura 4. Mapa del acuífero Ayamonte-Huelva (ITGE-Junta de Andalucía, 1998). Los materiales permeables son los de color amarillo. Las líneas continuas son las isopiezas (líneas en el nivel piezométrico se encuentra a la misma cota) y las flechas indican el flujo del agua subterránea. La línea azul de puntos marca la divisoria de aguas subterráneas de la zona que fluye hacia la Ría de Huelva.*

la ría de Huelva es la situada al este de la línea de puntos azul de la figura 4.

Al este del estuario del Tinto afloran los materiales del **acuífero Almonte-Marismas** (Fig. 5) constituidos fundamentalmente por gravas, arenas y limos arenosos del Pliocuaternario (Custodio et al., 2009). Este acuífero es ampliamente conocido debido a que en su zona suroriental se localiza el Parque Nacional de Doñana. Por otra parte, en cuanto a la Ría de Huelva la zona de interés es el sector occidental, donde el flujo del agua subterránea se dirige hacia el oeste (Fig. 5). Esta zona pertenece a la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras y constituye la denominada masa de agua subterránea Condado.

Las aguas subterráneas de los acuíferos Ayamonte-Huelva y Almonte-Marismas están contaminadas por **altas concentraciones de nitratos y pesticidas**, procedentes principalmente de los cultivos intensivos de frutos rojos. En la figura 6 se muestran las concentraciones de nitratos en el agua subterránea en la zona de ambos acuíferos próxima a la ría de Huelva. Estos compuestos son transportados por las aguas subterráneas hacia la ría de Huelva. Se comprueba que en muchas zonas se superan ampliamente los 50 mg/L de nitratos considerados en las normativas como aceptable para consumo



Figura 5. *Mapa del acuífero Almonte-Marismas (ITGE-Junta de Andalucía, 1998). La línea azul de puntos indica la divisoria de aproximada de aguas subterráneas que delimita la zona del acuífero donde el agua fluye hacia el río Tinto y la ría de Huelva.*

humano y para que las aguas subterráneas tengan un buen estado químico. También se encuentran concentraciones muy altas de glifosato (herbicida con potencial de producir cáncer y con efectos adversos sobre la biodiversidad) en el agua subterránea de estos acuíferos.

Además de estos acuíferos del entorno de la Ría de Huelva, los **depósitos de fosfoyesos** acumulados junto al estuario del Tinto también son materiales permeables y constituyen un **acuífero antrópico**. Como se ha comentado anteriormente, las aguas contenidas en estas balsas tienen un bajo valor de pH y muy elevadas concentraciones de metales y metaloides (arsénico, cadmio, cobre, etc.) y constituyen una importante fuente de aportes contaminantes a la ría.

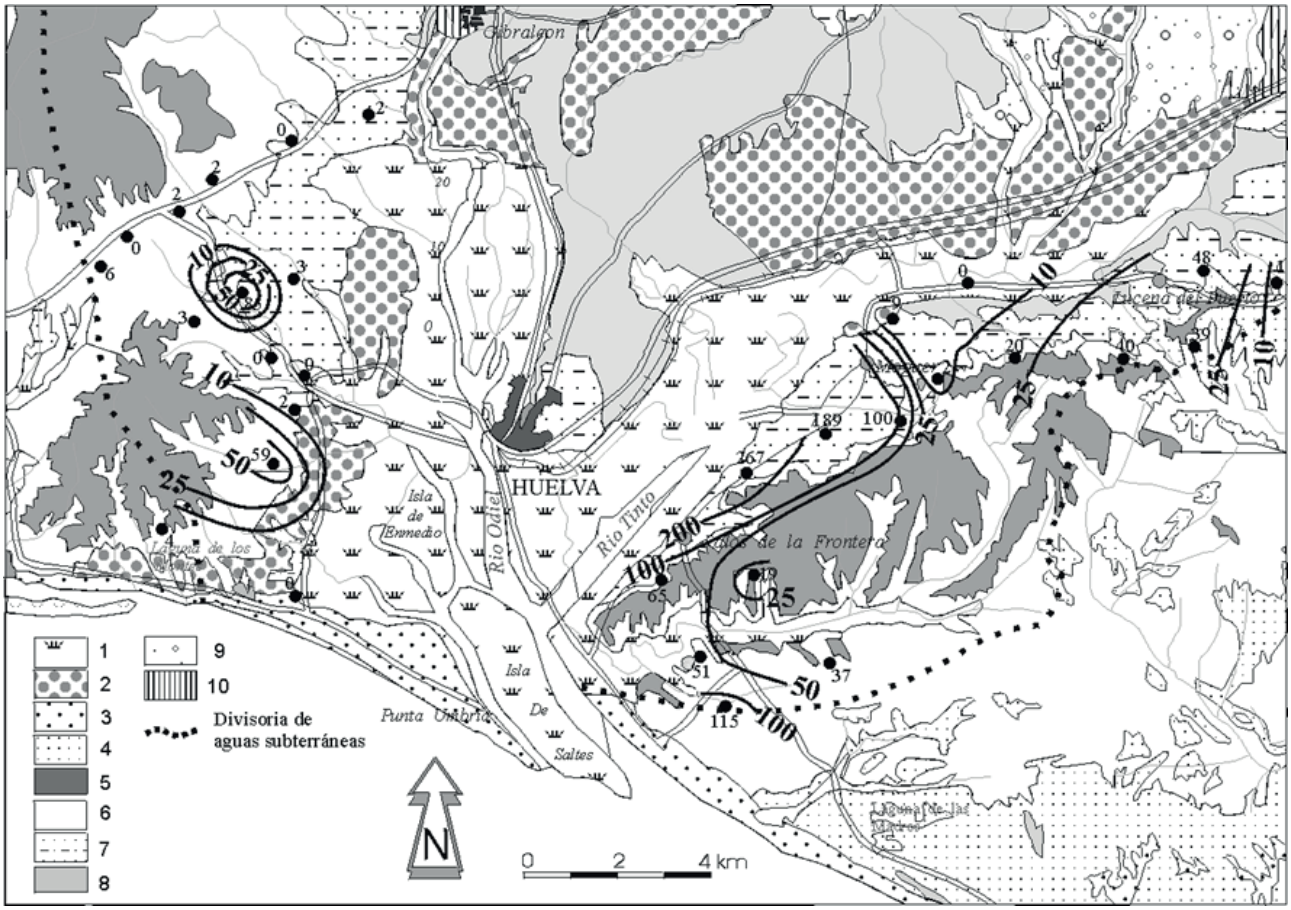


Figura 6. *Distribución del contenido en nitratos (en mg/L) de las aguas subterráneas que fluyen hacia la ría de Huelva. Leyenda: 1: Marisma, 2: Terrazas, 3: Playas y dunas actuales, 4: Arenas finas eólicas, 5: Glacis, 6: Arenas, 7: Limos arenosos calcáreos, 8: Margas, 9: Conglomerados y calcarenitas, 10: Rocas impermeables paleozoicas (Cánovas et al., 2004).*

INFORMACIÓN IMPORTANTE

Se recomienda llevar ropa, calzado cómodo, bebida y protección solar. La visita guiada en barco se realizará en dos turnos: (1) de 10 a 12 y (2) de 11:30 a 13:30. Se deberá acudir al turno asignado por correo electrónico para evitar problemas de aforo.

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

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA DE HUELVA 2025

Esta actividad ha sido organizada por investigadores del Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva.

Rafael Pérez López

Manuel M. Olías Álvarez

Laura Sánchez López

Gerardo A. Amaya Yaeggy

Rafael León Cortegano

Jonatan Romero Matos

Ainara Rodrigo García

Alberto Molinero García

Francisco Macías Suárez

Carlos Ruiz Cánovas

José Miguel Nieto Liñán

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Dpto. de Ciencias de la Tierra, la Facultad de Ciencias Experimentales, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía y el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. La actividad también ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través del proyecto DYNAMICO (PID2023-151504OB-I00); MICIU/AEI/10.13039/501100011033.

PARA SABER MÁS

Borrego, J., Morales, J.A., de la Torre, M.L., Grande, J.A. (2002). Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of the Tinto and Odiel river estuary (southwestern Spain). Environmental Geology 41: 785-796.

Cánovas, C.R., Olías, M., Cerón, J.C., Nieto, J.M. (2004). Contaminación de las aguas subterráneas en el entorno de la ría de Huelva. Geo-Temas 6(4): 149-152.

Carrasco Martiañez, I. (2000). Historia de la Faja Pirítica. Bocamina 5: 8-49.

Carro, B., Borrego, J., Morales, J.A., (2018). Estuaries of the Huelva Coast: Odiel and Tinto Estuaries (SW Spain). En: Morales, J. (Ed.), The Spanish Coastal Systems. Springer, Cham. Springer Nature Switzerland.

Cátedra Aguas de Huelva (2022). Caminos del Agua en Huelva y su entorno. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. https://www.uhu.es/publicaciones/?q=libros&code=1287

CEDEX (2021). Directrices para la caracterización del material dragado y su

reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre. Comisión Interministerial de Estrategias Marinas, 2021.

Custodio, E., Manzano, M., Montes, C. (2009). Las aguas subterráneas en Doñana: Aspectos socio-ecológicos. Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/agencia_andaluza_agua/participacion/publicaciones/libro_donana_baja.pdf

Diputación de Huelva. (2022). Informe socioeconómico de la provincia de Huelva: Segundo semestre 2022. https://www.diphuelva.es/export/sites/dph/ces/.galleries/documentos/Informe_2_2022_web.pdf

Hierro, A., Martín, J.E., Olías, M., Vaca, F., Bolívar, J.P. (2013). Uranium behaviour in an estuary polluted by mining and industrial effluents: The Ría of Huelva (SW of Spain). Water Research 47(16): 6269–6279.

ITGE-Junta de Andalucía (1998). Atlas hidrogeológico de Andalucía. https://web.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros1_HR/libro110/lib110.htm

Junta de Andalucía (2023). Estrategia para una Minería Sostenible en Andalucía 2030 (EMSA 2030). https://www.juntadeandalucia.es/organismos/industriaenergiayminas/consejeria/transparencia/planificacion-evaluacion-estadistica/planes/detalle/435583.html

López González, N., Borrego, J., Carro Flores, B. (2008). La contaminación de la Ría de Huelva. En: Geología de Huelva. Lugares de interés geológico. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 64-65. https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/7494

Morales, J.A., Borrego, J. (2008). El litoral de Huelva, fisiografía y dinámica. En: Geología de Huelva. Lugares de interés geológico. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 28-34. https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/7494

Olías, M., Cánovas, C., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M. (2006). Evaluation of the dissolved contaminant load transported by the Tinto and Odiel rivers (South West Spain). Applied Geochemistry 21: 1733-1749.

Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración de espacios naturales afectados por actividades extractivas. Boletín Oficial del Estado, núm. 289, de 2 de diciembre de 1982, páginas 32335 a 32336. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1982-32927

Sherrell, R.M., Boyle, E.A. (1988). Zinc, chromium, vanadium and iron in the Mediterranean Sea. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers 35(8): 1319-1334.



Huesca

HIDROGEODÍA HUESCA 2025

HIDROGEOLOGÍA DE LA LITERA ALTA EN EL ENTORNO DE LOS RÍOS NOGUERA RIBAGORZANA Y CINCA-ÉSERA



SÁBADO **29** MARZO

JORNADA DE DIVULGACIÓN HIDROGEOLÓGICA GUIADA POR GEÓLOGOS

Apto para todos los públicos

¿Qué llevar?
Agua, ropa y calzado cómodo



Indique en el correo de inscripción sus datos y opciones

Inscripción previa **GRATUITA en: hghuesca2025@gmail.com**

Guía detallada: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/

Transporte incluido en la inscripción: **Autobús**

Puntos de encuentro: **8.00h-Lleida (Camp d'Esports)**
***(opcional)* 8.45h-Tamarite (E.S. Cepsa)**

Horario de retorno: **19.00h (aproximadamente)**

Comida no incluida en la inscripción: ***(Opcional)* Picnic o menú**

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

Universitat de Lleida
Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl

Fluvial Dynamics Research Group

RIUS

SIGMADOT

La Puebla de Castro

ETSEA Universitat de Lleida

Universitat de Lleida
Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitària

1. INTRODUCCIÓN 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, 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 2025** de la provincia de **Huesca** consistirá en una visita guiada por diferentes elementos relacionados con el agua y la hidrogeología del entorno más próximo en la masa de agua de la Litera Alta, en el interfluvio de los ríos Noguera Ribagorzana, Cinca y Ésera: **HIDROGEOLOGÍA DE LA LITERA ALTA EN EL ENTORNO DE LOS RÍOS NOGUERA RIBAGORZANA Y CINCA-ÉSERA**, visitando el manantial de Puigvert y sus tobas calcáreas, el pozo surgente de Torres del Obispo, la planta embotelladora de aguas de Ribagorza, las termas romanas de la Labitolosa en La Puebla de Castro, el congosto de Olvena y el manantial de los Doce Caños de Estadilla. La visita se realizaría el sábado día **29 de marzo** de 2025.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

La ruta se desarrolla íntegramente dentro del contexto geológico de los Pirineos, concretamente en su vertiente más centro-meridional. En este sector pirenaico se encuentra la unidad estructural conocida como Unidad Surpirenaica Central (USPC), elemento estructural clave para entender la geología de esta región (Figura 1).

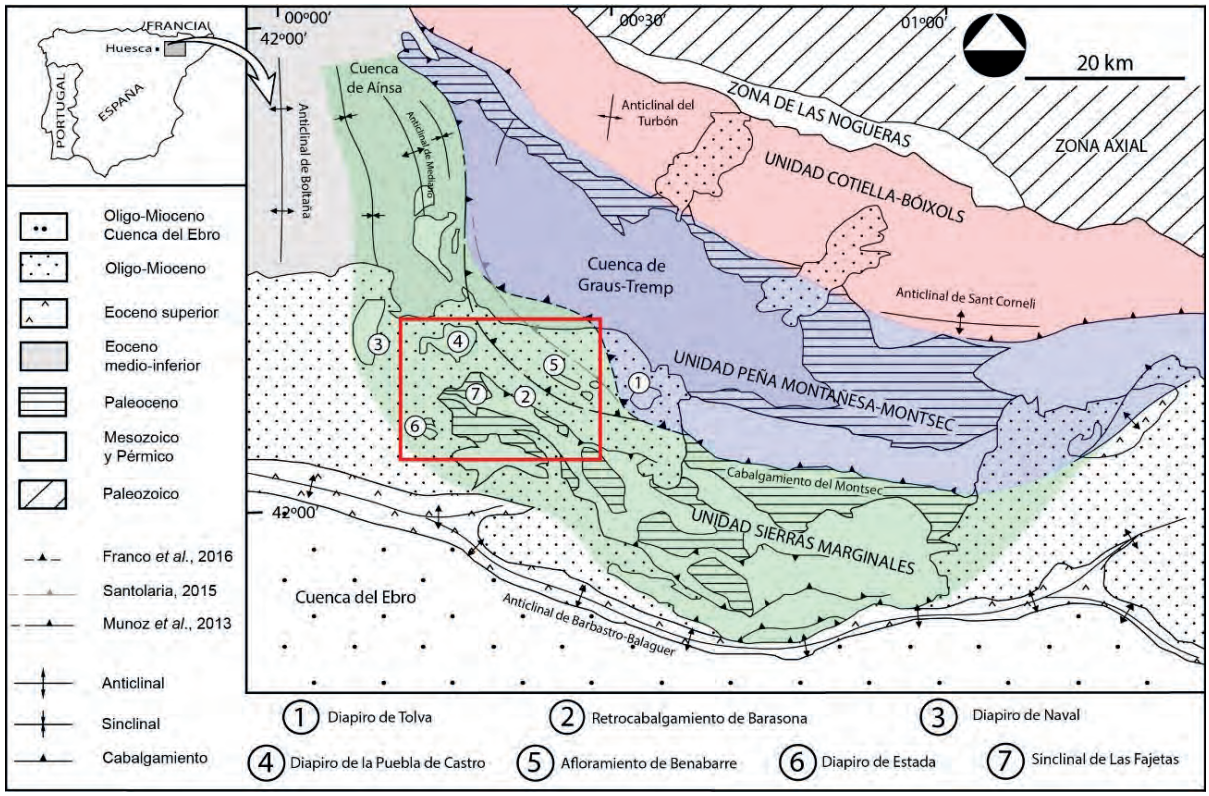


Figura 1. Situación de la ruta. Modificado de Franco (2016).

A grandes rasgos, la USPC está formada por formaciones geológicas que abarcan desde el Triásico hasta el Cenozoico y que disminuyen su espesor de norte a sur. Su posición y situación actual es distinta a la que fue cuando se formaron, constituyendo así lo que se conoce como cobertera, la cual se desplazó hacia el sur a favor de unos materiales arcillosos y salinos conocidos como facies Keuper (Triásico superior) que actuaron como lubricante.

A su vez, la USPC está dividida en tres grandes unidades conocidas como mantos de cabalgamiento que, de norte a sur, constituyen los mantos de Cotiella-Bóixols, Peña Montañesa-Montsec y Sierras Marginales (Figura 1).

En esta ocasión, la ruta transcurre íntegramente por el extremo más occidental del manto de las Sierras Marginales, en la que la complejidad estructural resultante de la existencia de distintas escamas de cabalgamiento se refleja en su paisaje (Figura 2). En este sector se desarrollan cabalgamientos y retrocabalgamientos, pliegues y diapiros que iremos descubriendo a lo largo del recorrido y relacionando con el comportamiento de las aguas subterráneas.

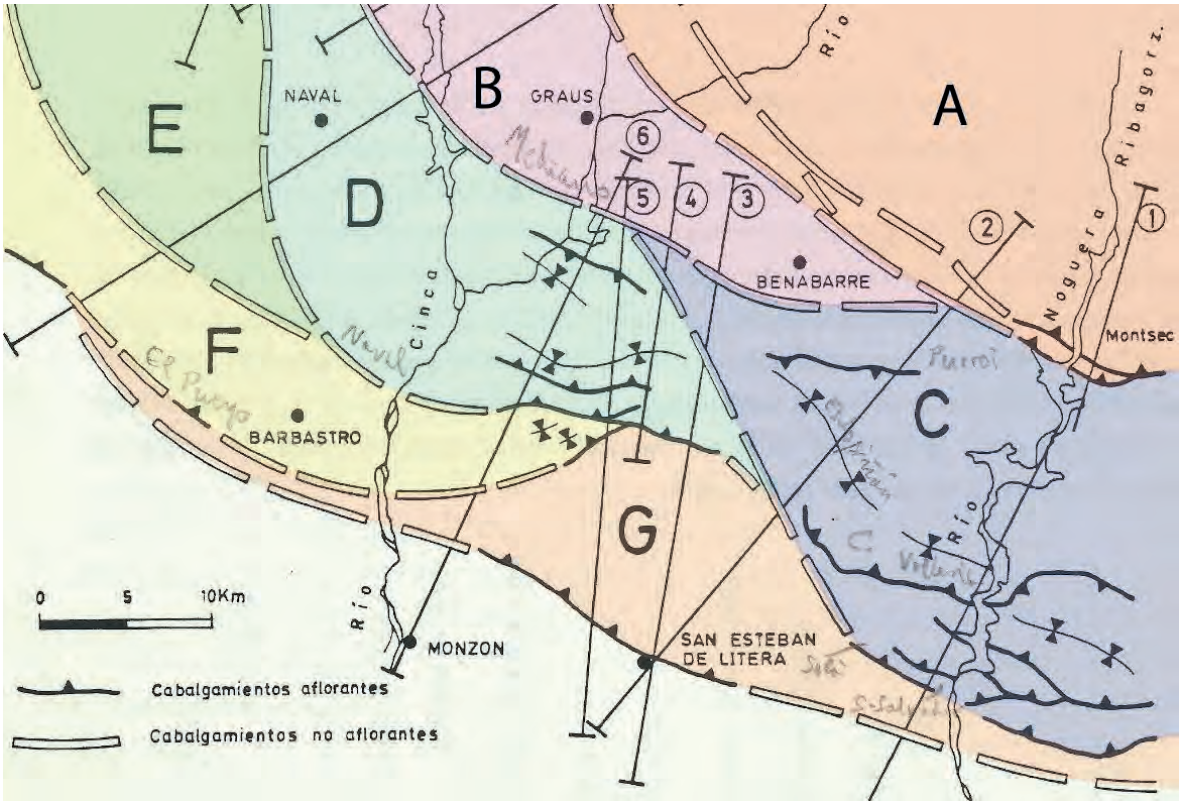


Figura 2. Láminas de cabalgamiento. A: Unidad Peña Montañesa-Montsec, B: Mediano, C: Sierras Marginales, D: Naval, E: Boltaña, F: Pueyo de Barbastro, G: San Sebastián de Litera. Modificado de Martínez-Peña (1991).

3. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Desde un punto de vista hidrogeológico, la ruta transcurre íntegramente dentro de la masa de agua subterránea definida por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) como Litera Alta (Figura 3).

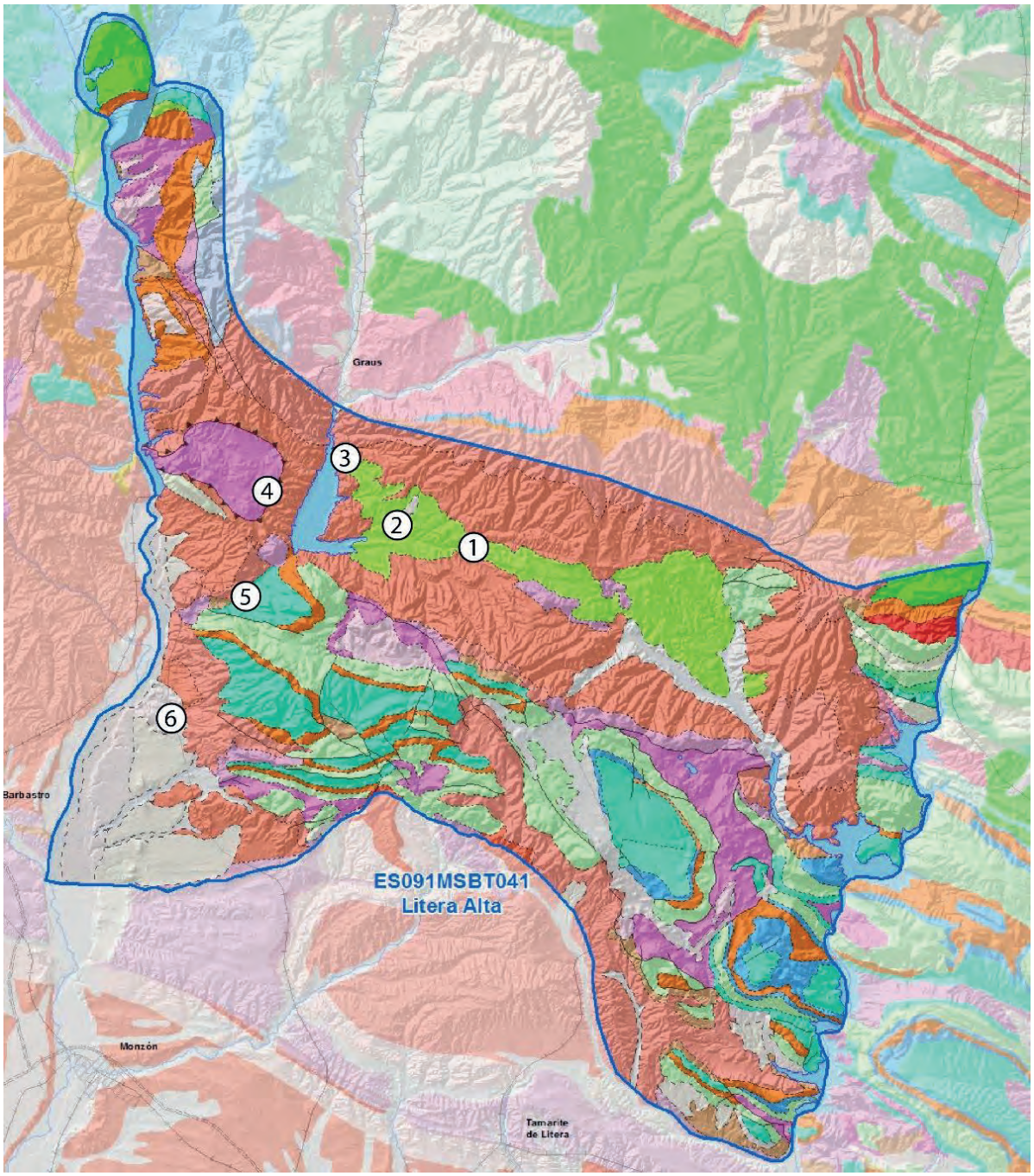


Figura 3. Mapa geológico de la masa de agua subterránea Litera Alta (09.41). Paradas de la ruta: (1) manantial de Puigvert; (2) pozo de Torres del Obispo; (3) aguas de Ribagorza; (4) yacimiento Labitolosa; (5) ongosto de Olvena; (6) fuente de los Doce Caños.

Esta unidad incluye el sector más occidental del manto o unidad de las Sierras Marginales de la USPC, situada entre los ríos Noguera Ribagorzana (este) y Cinca (oeste). Por otro lado, el límite

septentrional se sitúa en el límite con los materiales de la cuenca surpirenaica central (Graus-Tremp) y el meridional en el cabalgamiento frontal surpirenaico.

Los principales niveles permeables, y por tanto acuíferos, están formados por los materiales calcáreos del Muschelkalk (Triásico medio), calizas del Cretácico superior y calizas del Eoceno inferior, y, en menor medida, por los materiales detríticos del Oligoceno-Mioceno y Cuaternario.

El funcionamiento hidrológico de esta unidad es muy complejo debido a la heterogeneidad estructural de este sector pirenaico. Las bruscas variaciones laterales en los espesores de estas unidades más permeables junto con la complejidad estructural de las distintas láminas de cabalgamiento y diapiros que dominan en el sector, hacen que dentro de la unidad Litera Alta existan pequeñas sub-unidades con comportamiento hidrogeológico independiente que iremos descifrando a lo largo de la ruta.

4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA RUTA (PARADAS)

PARADA 1: MANANTIAL PUIGVERT

Superficialmente, en la zona dominan los materiales detríticos que tradicionalmente se incluyen dentro de la Formación Conglomerados de Graus. Se trata de limos, areniscas y conglomerados de edad Oligoceno-Mioceno procedentes de la erosión de los últimos estadios de levantamiento de los Pirineos.

Desde un punto de vista hidrogeológico, estos materiales detríticos constituyen un acuífero multicapa de poca relevancia, explotado históricamente debido a la abundancia de pequeños manantiales muy dispersos, pero de bajo caudal (<5 l/min). Las calizas del Cretácico superior constituyen un acuífero kárstico de importancia regional. La recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia a través de los diferentes afloramientos diseminados y alineados en dirección E-O (Figura 4).

Todavía está por determinar, pero el embalse de Barasona podría constituir otro punto de potencial de recarga. Por el contrario, la descarga se produce a través de los distintos pozos de explotación y, de manera natural, a través del manantial de Puigvert, situado directamente sobre las calizas y en el que se registran caudales medios de unos 60 l/s.

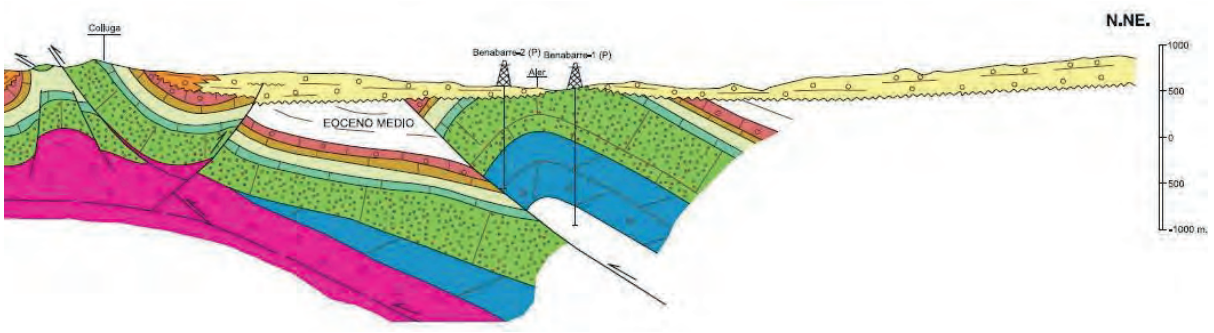


Figura 4. Corte geológico del anticlinal de bloque superior de la lámina de Mediano. Modificado de Barnolas (2017).

Ya por el camino hemos recorrido una gran zona deprimida, un Polje, llamado el Polje de Purroy que nos ofrece en superficie unas lutitas discordantes sobre las calizas karstificadas que conforman este acuífero. Nos encontramos entonces con una depresión rellena de detritos procedentes del último estadio de levantamiento del Pirineo por tanto de una formación de edad Oligoceno-Mioceno: la Formación Graus, con un comportamiento prácticamente impermeable. Esto implica que el agua subterránea se encuentra en estas capas y fluye dentro de las calizas sin poder aflorar en superficie a no ser que, también afloren las calizas dando lugar a manantiales como el de Puigvert.

Dicha Formación, representada en el corte de la Figura 4 de tonos amarillos y marronáceos, ocupa la parte superior y está dispuesta de forma horizontal. Esta característica la vamos viendo a lo largo del acuífero, dando lugar así a afloramientos de manantiales en aquellos puntos donde los detritos de la Formación Graus (conglomerados, areniscas y limos), dejan paso para aflorar en superficie a las calizas y por tanto al agua. En la imagen que aparece a continuación, se puede observar, de forma muy simplificada como el agua sólo aflora cuando la capa impermeable lo permite (Figura 5).

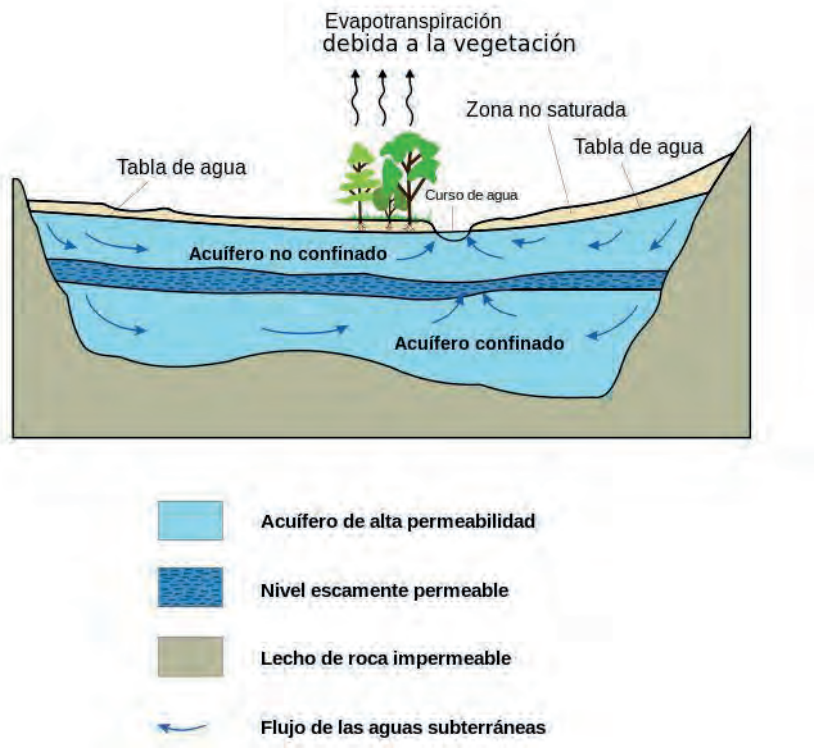


Figura 5. Esquema de un sistema acuífero con capas de diferente permeabilidad.

Si observamos a nuestro alrededor y miramos nuestro corte con ojos de hidrogeólogo/a, veremos claramente que nos situamos sobre un anticlinal de calizas, que por tanto permiten la surgencia del agua al permitir por fin su liberación.

PARADA 2: POZO DE TORRES DEL OBISPO

En el entorno de Torres del Obispo es donde se da el mayor número de manantiales y donde la descarga, en ocasiones, se produce a través de los materiales de edad Cuaternario. Algunos de los más importantes son el del Molino, las Pauls, Fonsanta, Fontviella, el Güello o es Canamás. En localidades como Benabarre, Aler o Pueyo de Marguillén, también existen manantiales relacionados con este acuífero como los de San Medardo, Font de Faro, la Tejería, balsa Misero, la Clua o la Fondaña (Figura 6).

Puntualmente, entre estos materiales detríticos afloran unas calizas de edad Cretácico superior y que constituyen el acuífero de mayor importancia a nivel regional (Figura 6). Este es el acuífero del que se abastecen actualmente tanto las localidades de la zona, explotaciones ganaderas y agrícolas, como la planta de embotellado hoy propiedad de AQUASERVICE. Este abastecimiento se realiza a través de pozos de varios cientos de metros de profundidad. En la localidad de Torres del Obispo existe otro pozo de abastecimiento, de unos 150 m de profundidad, el cual también es surgente, y en Benabarre, de abastecimiento también, existe otro de unos 170 m. Repartidos a lo largo de esta franja de calizas, coincidente con el eje del anticlinal, existen más pozos usados para el abastecimiento de explotaciones ganaderas y agrícolas.

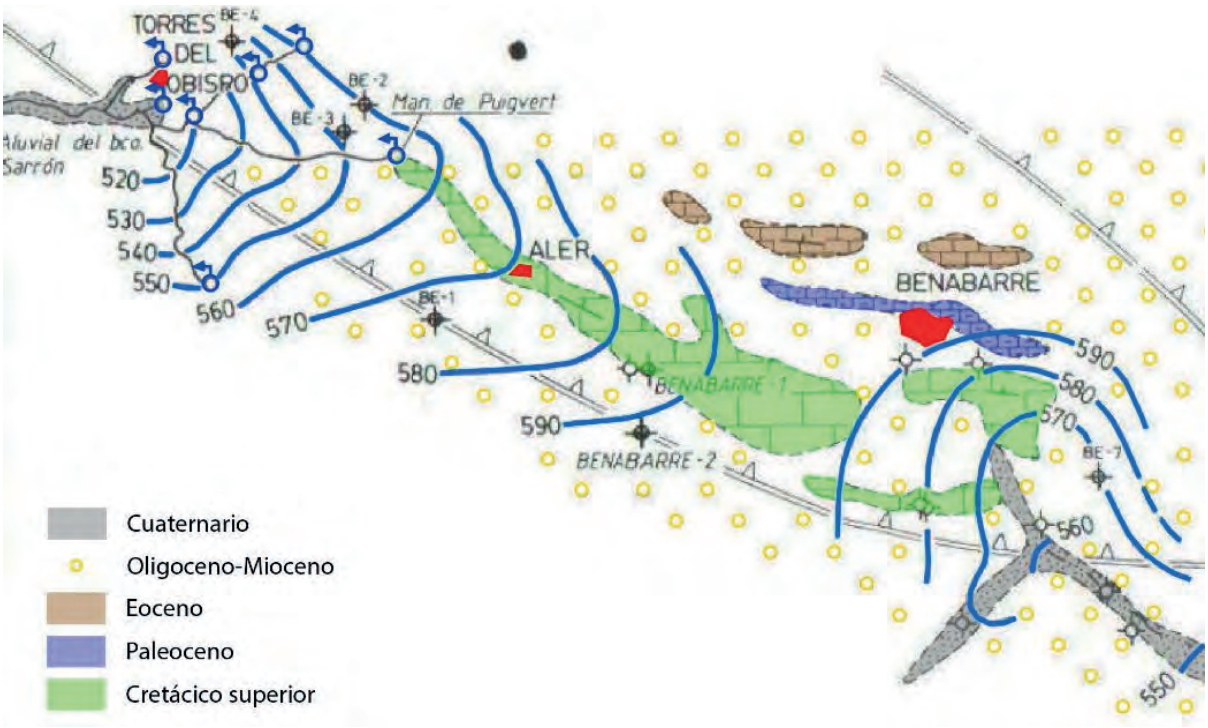


Figura 6. Piezometría del acuífero Cretácico del sector Benabarre. Modificado de San Román (1996).

En las zonas kársticas, la **conductividad del agua** es un parámetro fundamental para comprender los procesos de disolución y precipitación de la calcita, ya que mide la cantidad de iones disueltos, principalmente **Ca^{2+} y HCO_3^-**, que influyen en su capacidad para conducir electricidad.

Cuando el agua de lluvia se infiltra en el suelo, absorbe dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y del suelo, formando ácido carbónico (**H_2CO_3**). Este ácido reacciona con la roca caliza (**$CaCO_3$**), disolviéndola y generando bicarbonato de calcio en solución, lo que incrementa la conductividad del agua:

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

A medida que el agua circula por el sistema kárstico, sigue disolviendo minerales, manteniendo una **conductividad elevada** debido a la acumulación de iones. Sin embargo, cuando el agua emerge en una surgencia o cueva, la pérdida de CO_2 por despresurización reduce la solubilidad de los bicarbonatos, provocando la precipitación de calcita (**$CaCO_3$**) y, con ello, una disminución en la concentración de iones disueltos y en la **conductividad del agua**:

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

La conductividad es un indicador clave en la hidrogeología kárstica, ya que **valores elevados** sugieren un agua rica en minerales disueltos, propia de zonas con intensa disolución de caliza, mientras que **valores bajos** pueden indicar aguas recientes con poca interacción con la roca o tras la precipitación de calcita. Su monitoreo permite analizar la evolución química del agua subterránea y la dinámica de los acuíferos kársticos.

La formación de tobas ocurre cuando el agua subterránea, cargada con dióxido de carbono (CO_2) y rica en calcio, fluye a través de zonas kársticas donde disuelve la roca caliza. Al emerger a la superficie o al experimentar cambios en la presión o temperatura, el agua pierde CO_2, lo que provoca la precipitación de calcita. Este proceso genera depósitos porosos y suaves conocidos como tobas, compuestos principalmente por carbonato de calcio. Con el tiempo, estas tobas pueden formar estructuras geológicas significativas, como terrazas, cascadas y depósitos en ambientes lacustres o fluviales, reflejando la interacción entre procesos geológicos y químicos en zonas kársticas.

Las aguas subterráneas de este acuífero son bicarbonatadas cálcicas (concentraciones de bicarbonatos alrededor de los 300 ppm y de calcio de 100 ppm, no superando concentraciones de 20 ppm el resto de aniones y de cationes) con una conductividad de alrededor de 600 uS/cm y un pH de 7. Las concentraciones de nitratos no superan las 18 ppm, indicándonos que la contaminación de sus aguas es reducida.

PARADA 3: AGUAS DE RIBAGORZA

Entre la localidad de Benabarre, al este, y el río Ésera, al oeste, existen una serie de indicios superficiales que nos indican que algo está ocurriendo en el subsuelo. Por ello, durante la década de los 60 y 70 del siglo XX esta zona de los Pirineos estuvo en el punto de mira de múltiples campañas de prospección de hidrocarburos. Prueba de ello son los 14 pozos de investigación y más de 10 perfiles sísmicos que se realizaron durante ese periodo en este pequeño sector pirenaico.

Durante estas campañas se detectaron indicios de hidrocarburos en el subsuelo, pero no en cantidad suficiente como para ser rentable su explotación. A pesar de ello, a día de hoy, estos trabajos todavía permiten estudiar y conocer en detalle la geología de esta zona. A grandes rasgos, esta parada se desarrolla sobre el anticlinal de bloque superior de la lámina de Mediano, un pliegue de dirección pirenaica y ligeramente hundido hacia el oeste, lo que condiciona la hidrogeología regional.

El pozo del que se abastece la planta embotelladora (AQUASERVICE), de más de 1100 metros de profundidad, es uno de los antiguos sondeos de investigación de hidrocarburos (Benabarre-3) realizado en 1964 el cual resultó surgente y fue reaprovechado para la explotación de agua (Figura 7).

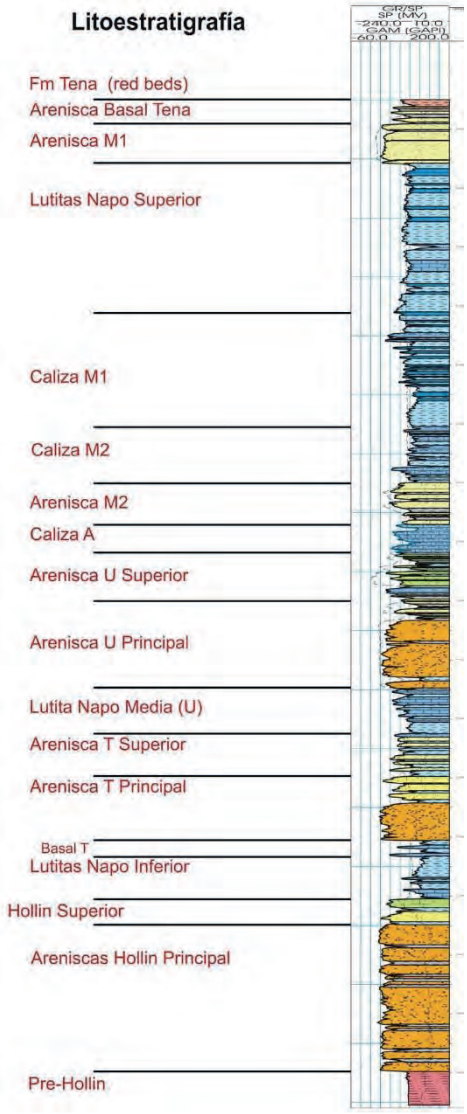


Figura 7. Ejemplo de columna litoestratigráfica elaborada a partir de un sondeo.

La perforación de un pozo de petróleo es un proceso complejo que requiere tecnología avanzada, personal especializado y una planificación meticulosa. Su objetivo es alcanzar formaciones geológicas que contienen hidrocarburos y permitir su extracción de manera segura y eficiente. Este proceso consta de varias etapas fundamentales, que incluyen la planificación, la perforación, el revestimiento y la finalización del pozo.

1. Planificación y preparación. Antes de iniciar la perforación, se llevan a cabo estudios geológicos y geofísicos detallados para identificar la ubicación del yacimiento. Se emplean métodos como la sísmica 3D y el análisis de formaciones para obtener una imagen precisa del subsuelo y evaluar la viabilidad del pozo. Una vez seleccionado el sitio de perforación, se procede con la preparación del terreno, que incluye la construcción de caminos de acceso, la instalación de infraestructura y la adecuación de la plataforma de perforación. En este punto también se consideran aspectos ambientales y regulatorios, asegurando el cumplimiento de normativas de seguridad y protección ambiental.

2. Perforación del pozo. La perforación comienza con la instalación de una tubería conductora que ayuda a estabilizar la boca del pozo y evita derrumbes iniciales. Posteriormente, se utiliza una torre de perforación equipada con un sistema rotatorio, donde una broca conectada a una sarta de perforación gira a gran velocidad para cortar la roca. Durante este proceso, se inyecta lodo de perforación, una mezcla de agua, arcillas y aditivos químicos que cumple varias funciones esenciales: enfría y lubrica la broca, estabiliza las paredes del pozo, controla la presión interna y transporta los recortes de roca a la superficie.

   A medida que el pozo se profundiza, se instalan tuberías de revestimiento y se cementan para fortalecer las paredes y evitar el colapso. Además, se realizan pruebas de presión y registros geofísicos para evaluar la composición de las formaciones y determinar la presencia de hidrocarburos. En muchos casos, se emplea la perforación direccional o horizontal para alcanzar reservorios ubicados en ángulos complejos o maximizar la producción en yacimientos no convencionales.

3. Revestimiento y pruebas del pozo. Una vez que la perforación alcanza la profundidad objetivo, se instala una tubería de revestimiento final y se cementa para aislar las zonas productivas y evitar la migración de fluidos entre formaciones geológicas. Luego, se realizan pruebas de producción para evaluar la presión del yacimiento, la tasa de flujo del petróleo y la composición de los fluidos extraídos. Estos datos permiten determinar la viabilidad económica del pozo y definir las técnicas de completación más adecuadas.

4. Finalización del pozo y puesta en producción. La finalización del pozo implica la instalación de equipos que permitirán la extracción eficiente del petróleo. Se cementa la tubería de producción y se instalan dispositivos como la válvula de seguridad y el árbol de Navidad, que regula el flujo de hidrocarburos y permite controlar la producción. En algunos casos, se aplican técnicas de estimulación como la fracturación hidráulica o la inyección de productos químicos para mejorar la permeabilidad del yacimiento y maximizar la extracción.

Finalmente, el pozo es conectado a la infraestructura de producción y transporte, como oleoductos o instalaciones de procesamiento, donde el crudo es tratado antes de su comercialización. El monitoreo continuo del pozo es crucial para optimizar la extracción, prolongar la vida útil del yacimiento y garantizar la seguridad en la operación. Este proceso permite el aprovechamiento de los recursos energéticos de manera eficiente, sostenible y responsable con el medio ambiente (Figura 8).

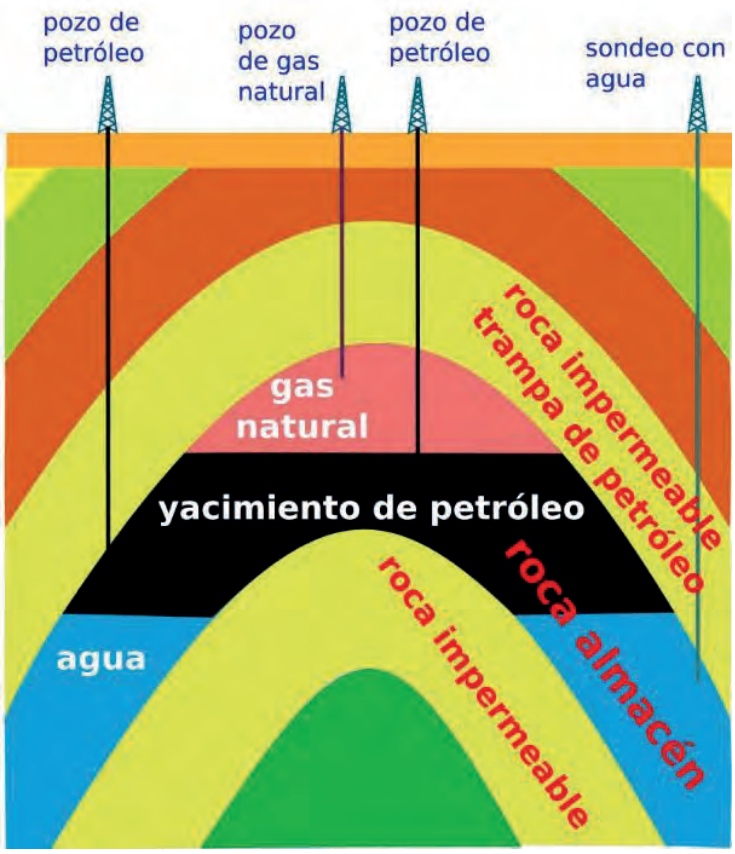


Figura 8. Esquema de tipos de extracciones mediante aprovechamientos de los recursos energéticos.

PARADA 4: YACIMIENTO LABITOLOSA

La presencia de manantiales fue un factor clave en la ubicación de los asentamientos romanos. Los romanos, expertos en ingeniería hidráulica, aprovecharon estos recursos naturales para el abastecimiento de agua, la construcción de termas y para el riego agrícola. Los manantiales, al proporcionar agua fresca y constante, eran considerados lugares ideales para fundar colonias y ciudades, ya que no solo aseguraban la supervivencia de la población, sino que también favorecían el desarrollo urbano y económico. Así, muchas ciudades romanas surgieron cerca de fuentes de agua, lo que garantizaba su prosperidad a lo largo del Imperio.

La ciudad romana de Labitolosa: la Curia y las Termas son de las mejor conservadas de la Hispania romana (Figura 9).



Figura 9. Yacimiento de las termas de Labitolosa en La Puebla de Castro.

LAS TERMAS DE LABITOLOSA (La Puebla de Castro)

La **construcción de dos complejos termales** en la ciudad de Labitolosa tuvo que ser un **acontecimiento extraordinario** en su tiempo, solo superado por el **confort** y la **calidad de vida**, nunca antes conocida, que aportaron al municipio y a toda su comarca.

El Edicto de Latinidad del emperador **Vespasiano** que otorgaba la "*ius latii*", el derecho de ciudadanía romana a las provincias de Hispania permitió que, en torno al **año 76 después de Cristo,** el primitivo poblado íbero asentado en la Peña del Calvario de La Puebla de Castro (romanizado desde el año 50 a.C.), promocionara al municipio latino (ciudad romana) de **Labitolosa**. Las leyes y organizaciones indígenas fueron sustituidas por la ley Flavia y por el modelo urbano romano, levantando los edificios públicos que los arqueólogos han descubiertos hasta el momento: el **foro**, la **curia**, de las mejores conservadas de la Hispania romana, y las **dos termas**.

Simbólicamente Roma unificó su expansión imperial **colocando en todas las ciudades**, lo vemos también en Labitolosa, tres edificios análogos a los de la ciudad eterna: la **curia** y el **templo** (consagrado a los dioses del municipio), referentes ambos de las instituciones y principios que ordenaban la sociedad romana, y las **termas**, símbolo del progreso y calidad de vida alcanzado por la civilización romana.

Labitolosa fue la **capital de una comarca**, "**la terra Labitolosana**" que posiblemente abarcaría desde la actual comarca de La Litera hasta la Galia. El prestigioso equipo de arqueólogos que durante 25 años ha trabajado en el yacimiento, capitaneados por **Mª Ángeles Magallón Botaya**, **José Ángel Asensio Esteban** y **Pierre Sillières**, sostienen que la ciudad fue abandonada en torno al año 200 después de Cristo a consecuencia de la **Peste Antonina**. Una pandemia provocada por una viruela de tipo hemorrágica que, en sucesivas oleadas, asoló el imperio. Esta peste pudo diezmar los habitantes de Labitolosa y/o impulsarles a abandonarla para escapar del contagio.

Las últimas investigaciones sobre la calidad del agua de las fuentes próximas, con altas concentraciones de iones de sal, y el cercano manantial de agua salada "Fuen Salada", apuntan a que esta ciudad pudo ser también un importante **centro termal** especializado en **tratamientos de afecciones de la piel**. Esto justificaría la existencia de los 2 complejos termales descubiertos con una superficie conjunta es de unos 1.000 m^2.

Las **Termas de Labitolosa** daban servicio no solo a sus habitantes sino a todos aquellos que se acercaban a visitar o a realizar gestiones en la ciudad. Además de ser un baño público y ofrecer tratamientos terapéuticos, cumplían una función social, cultural e incluso deportiva. Eran **foco de reunión y ocio**, un lugar para cerrar tratos comerciales y de divertimento y de encuentro entre familiares y amigos.

Junto a ellas, en **estancias y edificios anexos**, solían encontrarse salas de reunión privadas, salas para juegos y ejercicios gimnásticos, biblioteca, otras donde se ofrecían comidas (*las tabernae*) e incluso el lupanar.

La hora favorita para acudir a los baños solía ser la hora octava: en verano cuando dejaba de apretar el calor y en invierno cuando aún quedaba algo de luz.

La **entrada era muy barata**, todos podían permitirse el lujo de disfrutarlas. Los únicos que tenían prohibido asistir eran los esclavos, a excepción de los que se ocupaban de mantener la instalación y aquellos que acompañaban a sus amos para atender sus necesidades.

Los más ricos y pudientes señores de Labitolosa construyeron, para uso privado, pequeños complejos termales en sus casas (*domus*).

EL AGUA Y EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El agua, bien recogida en **cisterna** o bien procedente de **acueductos** desde las **fuentes cercanas** ("Fuen Mayó", "Santa María", "el Corán", "las Fonciellas", "Fuen Salada", etc.), entraba directamente por tuberías (*tubuli*) de arcilla o plomo en la **bañera de agua fría**. Para la **bañera de agua caliente**, el agua se retenía en un deposito cerca del horno (*praefurnium*), de aquí pasaba a una **caldera de bronce** (*testudo aluei*) instalada sobre el **fuego del fogón**, de la que se iba vertiendo, por una tubería, a la bañera de agua caliente.

El **fuego del horno** (*praefurnium*) tenía dos funciones: **calentar el agua** para la **bañera caliente** y **calentar el aire** que **circulaba bajo el pavimento** (suspensura) por una cámara o estancia subterránea

(*hypocaustum*), de unos 60 cm. de alto, y que **ascendía por las paredes** mediante tuberías de arcilla huecas (*tubuli parietales*) o a través de dobles paredes (sistema de concamerationes) hasta llegar al techo. Este sistema **calentaba el suelo y las paredes de dos estancias**: la caliente (*caldarium*), más próxima al horno, cuya temperatura ambiente podía alcanzar los **50 grados**; y la templada (*tepidarium*), que al quedar más alejada de la fuente de calor mantenía una temperatura ambiente **entre 25 y 30 grados**.

La **suspensura** era el piso o pavimento de las salas calefactadas (*caldarium* y *tepidarium*). Se encontraba elevado por unos **pequeños pilares** (*pilae*) construidos mediante la superposición de ladrillos cuadrados de cerámica. Este pavimento, compuesto de tejoletas cubiertas de mosaico o mármol alcanzaba un grosor de 80 centímetros. Tardaba mucho en calentarse, pero luego mantenía la temperatura largo tiempo después de apagado el horno.

El horno (*praefurnium*) contaba con instalaciones anexas: **almacenes de combustible** (carbón, leña de pino y carrasca), **viviendas del personal** y las **letrinas**.

El confort y el lujo de las termas tenían como contrapartida unas condiciones de trabajo durísimas para los esclavos encargados del horno y del mantenimiento de la instalación.

EL CIRCUITO TERMAL

Algunos bañistas, sobre todo los jóvenes, empezaban por calentar en la **palestra**. La palestra consistía en una pista al aire libre, más o menos grande, cubierta de arena y generalmente rodeada de porches. Las actividades físicas más habituales eran correr, jugar a pelota, ejercitarse con pesas o con la lucha y dar golpes a un saco lleno de arena. Otros sin embargo preferían tomar el sol en la **terraza** (*solárium*), un lugar más cómodo para ver y dejarse ver. Después, unos y otros, se dirigían hacia las salas de baños.

El tránsito por las termas era **progresivo**, para **aclimatar el cuerpo** a las distintas temperaturas. Se iniciaba el recorrido por la **sala fría** (frigidarium). El bañista encontraba aquí el **vestuario** (*apodyterium*): se quitaba la ropa y los objetos personales y los depositaba en estantes u hornacinas al modo de nuestras taquillas actuales. Los esclavos ayudaban a desnudarse a los ricos y proporcionaban a todos los bañistas **toallas** y **sandalias de madera**, para no quemarse los pies en el suelo (suspensura) de la sala caliente (*caldarium*). En esta primera sala se encontraba también una **bañera semicircular de agua a temperatura ambiente** en la que poder refrescarse antes de continuar el recorrido termal.

En la **segunda sala,** la **templada** (*tepidarium*), los esclavos solían ofrecer **masajes relajantes y exfoliantes** aplicando ungüentos de aceite, arena fina y ceniza.

La tercera sala, la **caliente** (*caldarium*), era la más luminosa, lujosa y adornada de las termas. En el lado norte el bañista encontraba una **bañera rectangular de agua caliente** (*solium*), a unos **40 grados** de temperatura, recubierta de **placas de mármol**, con una banqueta corrida en el interior que permitía sentarse y sumergirse en el agua hasta **12 personas** a la vez. Al fondo de la sala disponían de una **pila surtidor de agua fría** (*labrum*) para refrescarse (bajo el ábside), y un banco semicircular pegado a la pared del ábside para poder sentarse y charlar. Y, para los que deseaban sudar más, una estancia contigua que recibía el nombre de ***laconicum*,** si se trataba de una **sauna seca,** y de ***sudatorium*** si se trataba de una **sauna húmeda** (de vapor).

El bañista realizaba luego el **recorrido a la inversa**, volvía a sala templada (*tepidarium*) y terminaba en la sala fría (*frigidarium*) donde los esclavos le ofrecían **algún refrigerio**: frutas, vinos… Al volver a la sala fría (*frigidarium*) el bañista disponía de **varias opciones**: entrar en una sala anexa y disfrutar de los **servicios de peluquería**, manicura, depilación y maquillaje; tomar un último baño para aclarar la piel

en la bañera de agua a temperatura ambiente, vestirse y salir; o, por el contrario, podía decidir quedarse y volver a iniciar el recorrido termal.

El principio básico era el mismo en todos los casos: **refrescarse** en el *frigidarium*, **calentarse** en el *tepidarium* y **lavarse con agua caliente** en el *caldarium*.

En la Figura 10 se muestra la reconstrucción virtual de las termas, no es del todo fidedigna, pero sirve para hacernos una idea de cómo fue el edificio.



Figura 10. Reconstrucción virtual del edificio de las termas.

Otras visitas recomendadas desde la Puebla de Castro:

- Fuen Salada y el uso de la sal en la localidad: https://puebladecastro.blogspot.com/2021/03/la-sal-de-la-vida-en-la-puebla-de.html
- La Iglesia Románica de Castro de principios del s. XII, con su recién restaurado alfarje mudéjar.
- La Capilla de las Sagradas Reliquias de Santa Rosa de Lima y de San Francisco Solano, las mayores reliquias de estos Santos en Europa.
- El retablo gótico de San Román de Castro y el joyero museo de la Iglesia Parroquial de Santa Bárbara.
- La iglesia de Santa María del s. XIII
- El lavador de tejado anular de la huerta.
- Los restos del castillo de Muns o Castro Muñones, origen de la Archuza de Bahlul.
- La visita al pueblo, por el trazado medieval de sus calles, el pozo del chelo, historia de las casas.
- El Forau de Caballera: cueva en la que han aparecido restos humanos de hace 40.000 años y del oso de las cavernas.
- Las Pinturas Rupestres: de hace 6.000 años, en las que aparecen dibujados carros con ruedas.

PARADA 5: CONGOSTO DE OLVENA

Un piezómetro es una perforación vertical instalada con una tubería de plástico o metal, que sirve para tener acceso directo a un acuífero, o a varios, y poder controlar y monitorizar su comportamiento y evolución en el tiempo, así como conocer su calidad química y física.

En esta parada realizada en el Congosto de Olvena[1], existen unos 5 piezómetros realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en los años 90 del siglo pasado, con una profundidad de entre 125 y 300 m. En la página de la CHE se encuentran los IPA, piezómetros y descripción de la masa de aguas litera alta donde está la ruta.

A parte de ser usados para investigación y conocimiento del subsuelo, el objetivo de estos piezómetros fue el de conocer las posibilidades de utilizar este acuífero del Cretácico superior como fuente secundaria de recurso hídrico complementaria al servicio que el Canal de Aragón-Cataluña ya estaba dando. Esto es debido a que, ya en aquella época, en los meses de mayor demanda (julio y agosto) el sistema existente era insuficiente para el consumo de agua boca y riego. Esta misma causa fue la que motivó la construcción de los controvertidos embalses de Santaliestra, Campo y Comunet a finales del siglo pasado, que finalmente no se llevaron a cabo y terminaron con la construcción del embalse de San Salvador (Figura 11).



Figura 11. Manifestación contra el embalse de Santaliestra. Fuente: Diario del Alto Aragón.

Por otro lado, gracias a la existencia de estos piezómetros, se sabe que el tramo del Canal de Aragón-Cataluña que transcurre por el Congosto de Olvena, no es impermeable al 100%, lo que provoca que estas pérdidas actúen como recarga artificial del acuífero. Lo mismo ocurre con el embalse de Barasona, cuya cerrada se encuentra en las mismas calizas del Cretácico superior y por las que se infiltra agua del embalse al acuífero actuando también como recarga artificial.

Por último, en los piezómetros situados al final del Congosto de Olvena, se observa con claridad que las aguas del río Ésera están por encima del nivel piezométrico de estos pozos en condiciones

[1] Incluido dentro del catálogo de Lugares de Interés Geológico de Aragón a través del DECRETO 274/2015, de 29 de septiembre.

normales de agotamiento, lo que indica que es el río el que aporta agua al acuífero, y no al revés; indicando que el nivel de base regional se localiza en el río Cinca, próximo a la desembocadura del Ésera (Figura 12).

A través de esto último podemos explicar los estiajes que en determinados periodos del año se dan en el río Ésera en el tramo en torno al desvío que nos conduce al municipio de Olvena.



Figura 12. Panorámica del Congós de Olvena.

PARADA 6: FUENTE DE LOS DOCE CAÑOS DE ESTADILLA

La localidad de Estadilla se halla emplazada en la zona más septentrional de las Sierras Marginales Aragonesas, justo en el límite de dichas sierras con la Depresión del Ebro. Al este de Estadilla, las Sierras Marginales Aragonesas se hallan configuradas por estribaciones montañosas formadas por materiales carbonatados (calizas, predominantemente) del Cretácico superior que se disponen en estructuras de anticlinales y cabalgamientos con una dirección, predominante, este–oeste. Existe también un intenso sistema de fracturación vertical de dirección diversa. Los materiales carbonatados del Cretácico superior, a unos kilómetros de Estadilla, se hallan recubiertos por los materiales detríticos discordantes del Oligoceno – Mioceno. Justo en el núcleo de Estadilla vuelve aflorar el nivel de calizas con rudistas, conglomerados y areniscas del Cretácico (Santoniense), iniciándose en este lugar el emplazamiento del diapiro de Estada (formado por las lutitas versicolores, yesos y carniolas, calizas y dolomías y rocas ofitas del Keuper, Triásico) que se extiende hacía del río Cinca (Figura 13).



Figura 13. Mapa Geológico FONZ 288 (31-12). IGME (1994).

La conductividad de las aguas del manantial de los Doce Caños, según datos del inventario de puntos de aguas de la CHE, oscila entre los 582 y los 675 µS/cm, actualmente, el valor es de 775 µS/cm, indicándonos que son aguas de baja mineralización. El pH es de alrededor de 7,3. Las concentraciones de iones nos indican que se tratan de aguas bicarbonatadas cálcicas, aguas típicas de acuíferos carbonatados. Las concentraciones de bicarbonatos alcanzan las 375 ppm, mientras que las concentraciones de calcio alcanzan las 86 ppm. Las concentraciones del resto de cationes son menores, 22 ppm de magnesio, 21 ppm de sodio y 8,4 ppm de potasio. Respecto a los aniones, las concentraciones de sulfatos son de 85 ppm, siendo la concentración de cloruros de 29 ppm. Los nitratos presentes no superan las 14 ppm, indicándonos escasa contaminación de las aguas del acuífero.

La temperatura media de las aguas de la fuente es de 14ºC, temperatura que coincide con la temperatura media atmosférica de la zona.

El caudal medido en la fuente de los Doce Caños, en el mes de enero de 2025 fue de 62 l/seg, caudal semejante al reflejado en la bibliografía. El caudal de la fuente es constante, según nos indican los lugareños.

La captación de las aguas de la fuente de los Doce Caños se realiza mediante un túnel excavado en el nivel de calizas con rudistas, conglomerados y areniscas del Santoniense (Cretácico superior), que aflora en la base del núcleo urbano de Estadilla.

La fuente de los Doce Caños, basándonos en la información geológica e hidrogeológica disponible, consideramos que drena las aguas del acuífero carbonatado, acuífero cárstico y/o fisurado-fracturado, desarrollado en los materiales calcáreos y detríticos del Santoniense al Maastrichtiense (Cretácico superior). El área de recarga se localizaría en los relieves de la Sierra de la Carrodilla que se eleva al este de Estadilla alcanzando los 1.109 m.s.n.m. en el pico Buñero, donde afloran los materiales carbonatados y detríticos del Cretácico superior en el eje de un anticlinal que presenta una dirección NNW-SSE donde se presentan los niveles de mayor permeabilidad. Drenaría hacia el río Cinca a través de dichos materiales cretácicos, situados bajo los materiales detríticos del Oligoceno-Mioceno, emergiendo en el núcleo de Estadilla, donde emerge la fuente de los Doce Caños (Figura 14).



Figura 14. La fuente de los Doce Caños.

Nota histórica de la fuente de los Doce Caños (Ayuntamiento de Estadilla; Figura 15)

- *No se sabe con seguridad el origen del manantial perenne que alimenta la ¨Fuente de los doce caños¨. El agua aflora a la superficie por tres ojos formando un pozo, actualmente cubierto, que permite recoger el agua y conducirla a través de un túnel excavado en la roca, de unos 35 metros de longitud, hasta abastecer la bomba que sube el agua al pueblo, la fuente y el riego de las huertas de alrededor a través de acequias semienterradas. Su caudal es de 60 litros por segundo, a una temperatura estable de 15 a 16 grados. No se tiene constancia de que se haya secado nunca.*
- *La fuente, de estilo Neoclásico consta de doce cabezas de león, que arrojan agua por su boca, tres arcadas de medio punto apoyadas en pilastras moduladas rematadas por capiteles con rosetas y en el centro el escudo de la baronía de Castro (actualmente el de la villa) con la peculiaridad que está girado en espejo. La inscripción tallada nos remite sin duda a la fecha de su construcción, 1735.*
- *Gracias a referencias escritas de finales del siglo XVIII, sabemos que la fuente estaba rematada con otra salida de agua a través de la cabeza de una marmota esculpida en piedra.*
- *En esa época, la cantidad de caños de las fuentes marcaba la prosperidad del lugar, por lo que podemos deducir que Estadilla fue un importante centro en el camino real de Benabarre a Barbastro: disponía de agua, un elevado número de habitantes, familias de abolengo y hombres ilustres, convento, hospital, etc.*
- *La zona del lavadero y del abrevador ha sufrido varias reformas. Originalmente, el lavadero estaba a la altura del suelo y las personas lavaban de rodillas ejerciendo mayor presión sobre la ropa. Posteriormente y para mayor comodidad, se elevó el lavadero y se construyó el tejado.*
- ***Dato curioso:** Había una norma en el uso del lavadero, las últimas losas se debían reservar para lavar la ropa de los difuntos y enfermos.*
- *El agua de los caños es potable, y aunque no está tratada, los culantrillos nos marcan que el aire y el agua son puros.*

*En la zona de los huertos se encuentra la **Fuente del Lavadero.** Es el principal manantial de los que existen en aquella zona, pues su caudal supera los 60 litros de agua por segundo. Durante todo el año mana a una temperatura de 15-16 ° C.*

El agua, que llega a cielo abierto a través de un túnel excavado en la roca de unos 35 metros, riega los huertos del entorno y por una acequia semisubterránea denominada del Regalo, llega a regar también campos de olivos, frutales y viñedos.

*Esta fuente, datada a través de una inscripción epigráfica en **1735**, es la más monumental de cuantas se construyeron en Guara Somontano. Además de pilastras molduradas, capiteles con rosetas, carnosas hojas de acanto y volutas, presenta 12 cabezas de león a través de cuyas bocas vierten los caños. Todo ello denota un buen conocimiento por parte del autor del lenguaje clasicista.*

*Por su magnífica decoración y estructura, no responde al concepto de fuente tradicional, sino a un modelo culto, que desempeñó en las ciudades y pueblos un papel ornamental y simbólico, representando dignamente el orgullo de toda una sociedad y de las autoridades municipales, que como celebra el **escudo** que las preside, habían traído la bondad de las aguas y la prosperidad de sus habitantes.*

Olegario Chesa Salamero *narra en la revista Buñero, editada por la Sociedad l'Aurora, la construcción de la primera subida del agua desde la fuente al depósito del Castillo en la primera década del siglo XX. Estadilla fue uno de los primeros municipios de la comarca en llegar la energía eléctrica; no obstante, para la elevación el agua de la fuente al núcleo urbano se utilizó la energía hidráulica, instalándose una noria que proporcionaba la energía para el funcionamiento de las bombas de elevación del agua.*



Figura 15. Imagen de la fuente de los doce caños en 1910. Fotos del libro de Mariano Badía *"Así fuimos, así vivimos"*.

DIAPIRO DE ESTADA Y ESTADILLA

ENCUADRE GEOLÓGICO

Entre ambas poblaciones, cabe mencionar la presencia del importante diapiro de Estada – Estadilla, a poniente de la Sierra de la Carrodilla. Este diapiro, que constituye una interesante estructura pirenaica, situada dentro del Pirineo Meridional (Figura 16).

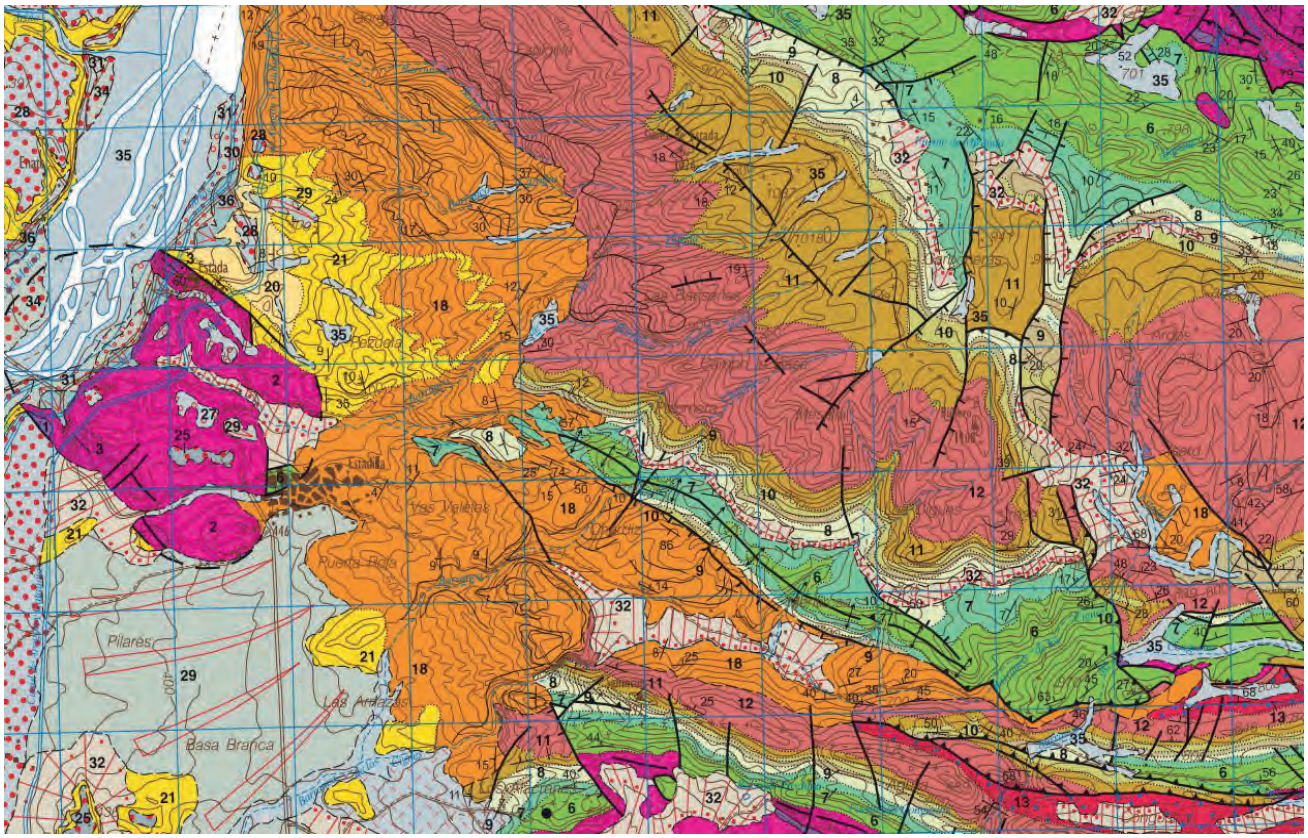


Figura 16. Mapa Geológico FONZ 288 (31-12). IGME (1994). Escala 1:50.000.

LEYENDA DEL MAPA

TRIÁSICO:

2- Lutitas versicolores, yesos y carniolas. 3- Calizas y dolomías.

CRETÁCICO:

6- Calizas con rudistas, conglomerados y areniscas. 7- Calizas micríticas. 8- Lutitas versicolores y areniscas. 9- Calizas micríticas.

PALEÓGENO:

Paleoceno-Eoceno: 10- Lutitas, areniscas y calizas. 11- Calizas. 12- Calizas con alveolinas.

Oligoceno-Mioceno: 18- Brechas calcáreas, areniscas y lutitas. 21-Areniscas y conglomerados silícicos con niveles de lutitas.

EL AGUA SALADA DE ESTADILLA

En torno a la población de Estadilla, cerca del paraje de Coscona, hay una surgencias de agua salada. Se trata del agua superficial, que ha circulado entre los materiales salinos del Triásico Superior, del Keuper, del diapiro de Estada-Estadilla. Esta agua, ha disuelto materiales salinos, dispersos entre los niveles de yesos. Luego, al llegar a la superficie, el agua salada, al alumbrar, ha dado lugar a la formación de eflorescencias salinas.

El mineral mayoritario de estas eflorescencias es la HALITA (Cloruro Sódico). Asimismo, también se encuentran indicios de EPSOMITA y de HEXAHIDRITA (sulfato de magnesio, heptahidratado y hexahidratado, respectivamente).

Cabe decir, que, en diversos momentos históricos, tanto el agua salada como la propia HALITA, han sido aprovechadas (Figura 17).



Figura 17. Lugar en donde se intentó la explotación del agua salada. Estadilla.

ANTIGUO BALNEARIO DE ESTADILLA

Se localizan ligeramente al Sur de la población de Estada (entre ésta y la población de Estadilla), cerca de la carretera que une ambas poblaciones. Concretamente, se sitúa junto al Barranco de la Huerta o Barranco de los Baños.

En este lugar, situado en el *Diapiro de Estada – Estadilla* (como el lugar anterior), hay una surgencia de aguas epitermales, de composición sulfurada, maloliente. Aunque en el mapa geológico a escala 1:50.000, no se indica ninguna fractura, creemos que la surgencia de estas aguas se relaciona con alguna de ellas, no cartografiada. El carácter sulfurado (en realidad sulfhídrico), vendría como consecuencia de la alteración de las piritas, que ocasionalmente se hallan entre los materiales del Keuper.

La existencia de esta surgencia, dio lugar a la construcción de unos baños, de un balneario, para poderlas aprovechar. Sin embargo, no prosperó esta iniciativa, aunque funcionó desde 1859 hasta 1936. No obstante, sí que dio lugar a un importante patrimonio minero (Figura 18).



Figura 18. Unos aspectos de las edificaciones de los Baños.

Autores:

Bardaji Suarez, Pedro

Carrero Carralero, Estrella

Franco Balaguer, Jorge

Gómez de Liaño Pierna, Roberto

Masich Polo, Josep María

Mata i Perelló, Josep María

Moreno Montes, Lucía

Pascual Díaz, Josep Manel

BIBLIOGRAFÍA

Barnolas-Cortinas, A. (2017): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 288 (Fonz). IGME, Madrid.

ESHYG (2004): Estudio para la delimitación del perímetro de protección del sondeo de abastecimiento a la planta embotelladora de "Aguas de Ribagorza". Graus (Huesca). Inédito.

Franco-Balaguer, J., Casas Sainz, A.M. (2016): Estructura de la terminación occidental del cabalgamiento del Montsec (Pirineos Centrales). Revista de la Sociedad Geológica de España, 29(2): 39-55.

Garrido-Megías, A. (1973): Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (Provincias de Huesca y Lérida). Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 395 p.

Lanaja, J.M. (1987): Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la Geología de España. Instituto Geológico y Minero de España, 465 pp., 17 mapas.

Martínez-Peña, B. (1991): La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 346 p.

San Román, J., Másich, J.M. y Pascual, J.M. (1996): Hidrogeología de las Sierras Exteriores surpirenaicas: cuenca de Tremp-Graus (Lleida y Huesca). Guía de Campo.

Santolaria, P. (2015): Salt and thrust tectonics in the South Central Pyrenees. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 327 p.

Séguret, M. (1972). Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère sédymentaire rôle de la compression et de la gravité. Tesis Doctoral, Univ. de Montpellier, 155 p.

HUESCA




ETSEA
Universitat de Lleida
Universitat de Lleida
Fluvial Dynamics Research Group
RIUS
SIGMADOT
SEDPGYM
LA PUEBLA DE CASTRO


COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?
APADRINA UNA ROCA
CSIC
IGME 175



Jaén


HIDROGEODÍA
2025 JAÉN
ORGANIZA
Rosario Jiménez Espinosa
Universidad de Jaén
Departamento de Geología
COLABORA
Universidad de Jaén
uja
Sostenibilidad
ITINERARIO HIDROGEOLÓGICO
POR LA SIERRA SUR DE JAÉN
26 de abril de 2025
INFORMACIÓN E INSCRIPCIÓN
Asistencia gratuita
Inscripción: Aula Verde. Universidad Jaén
(aulaverde@ujaen.es)
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

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 hidrogeólogas/os y **abiertas a todo tipo de público**, sin importar sus conocimientos en la materia.

En la provincia de Jaén, el **Hidrogeodía 2025** se celebrará en el entorno de Los Villares-Valdepeñas de Jaén el sábado **26 de abril de 2025**, con la actividad guiada "**ITINERARIO HIDROGEOLÓGICO POR LA SIERRA SUR DE JAÉN".**

Al sur de la ciudad de Jaén, en el trayecto desde Los Villares a Valdepeñas de Jaén, vamos alcanzando diversos manantiales, tales como el nacimiento de Río Frío en Los Villares en el ascenso desde esta localidad a Puerto Viejo, al pie de La Pandera. Ya en Valdepeñas de Jaén, visitaremos el entorno del río Susana, con el entorno de Las Chorreras, las diferentes litologías acuíferas y las espectaculares formaciones de travertinos. Algunos interrogantes: ¿Por qué algunos de estos manantiales manan en épocas de lluvias y se secan poco después de su cese? ¿Tienen rasgos comunes o son distintos? ¿Cuál de estas aguas es la que tiene el contenido más bajo en sales minerales? ¿Por qué? Estas y otras preguntas encontrarán respuesta en las explicaciones que se harán a lo largo del recorrido entre Los Villares y Valdepeñas de Jaén que conforma el Hidrogeodía 2025. (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 Jaén desde el Castillo de Santa Catalina.
2. Los diferentes tipos de rocas y localización de rocas acuíferas en la zona del itinerario.
3. Visita y caracterización del manantial de Río Frío en Los Villares.
4. Visita y caracterización de los manantiales del nacimiento del río de Valdepeñas de Jaén, río Vadillo
5. Paseo por el río Vadillo identificando materiales fluviales, travertinos y saltos de agua (Chorreras de Valdepeñas)

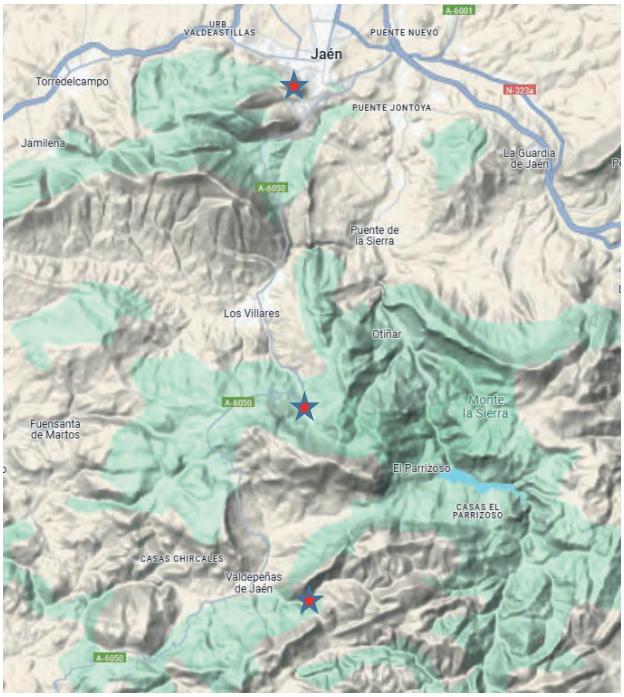


Figura 2: Localización del recorrido del Hidrogeodía'25 Jaén. (Imagen tomada de Google Maps)

¿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.

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 **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).

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.

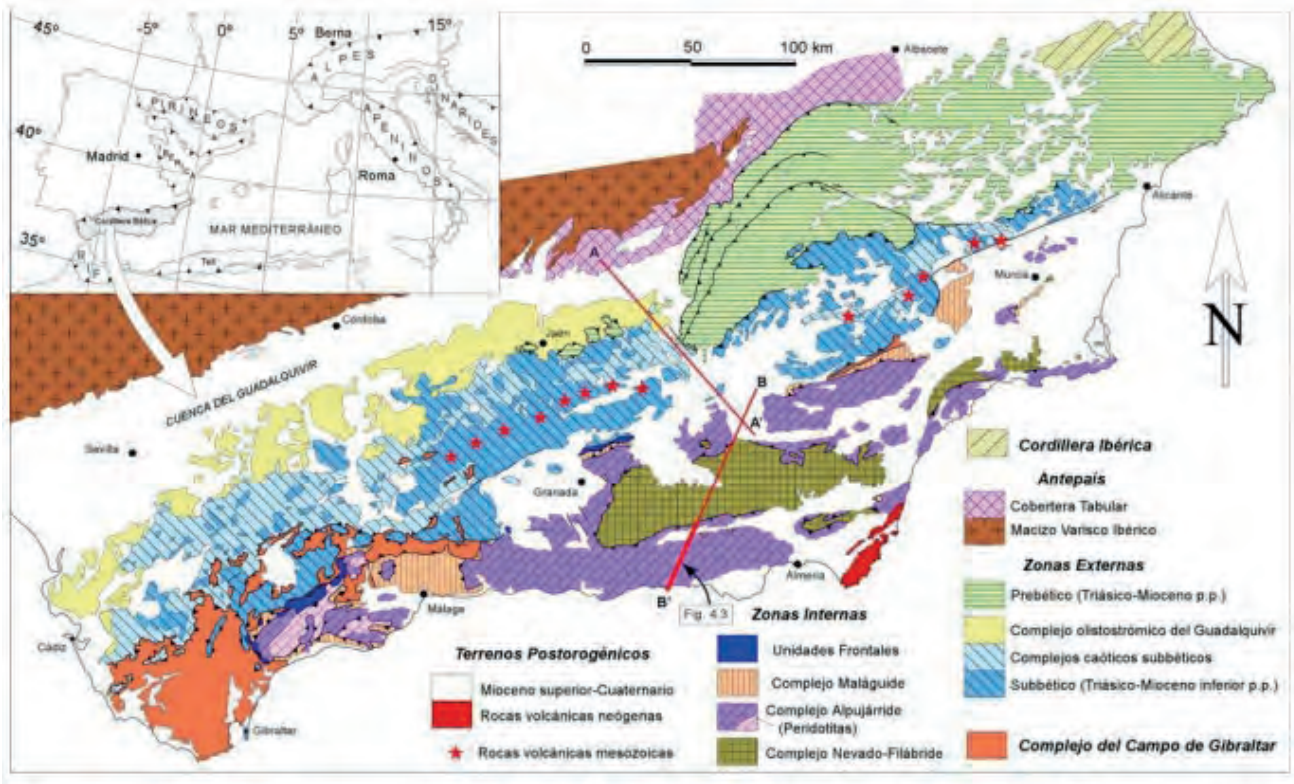


Figura 4: Mapa geológico de Andalucía (Tomado de Vera, 2004).

Parada 1: VISTA PANORÁMICA CASTILLO DE SANTA CATALINA

Gracias a su ubicación en el Cerro de Santa Catalina de la ciudad de Jaén, en un día con buena visibilidad, podemos tener una vista de más de más de 200° para observar las grandes unidades geológicas de la provincia, siendo un buen punto de partida para conocerla geológicamente "a vista de pájaro". El contraste de relieve entre la panorámica que se divisa al norte y al sur de esta posición muestra el carácter de frontera geológica del Cerro del Castillo y permite reconocer las tres grandes unidades geológicas presentes en la provincia de Jaén (Figs. 4 y 5):

- Las rocas que conforman Sierra Morena, observable al norte en último término, son principalmente rocas ígneas y metamórficas, cuarcitas, pizarras y granitos del Paleozoico. Acuíferos de poco desarrollo formados por fracturación, apareciendo el agua en las fisuras de rocas poco permeables.

- El relieve deprimido y alomado, al sur de Sierra Morena, ocupado por olivares y donde se asienta gran parte de la ciudad representa la Depresión del Guadalquivir, formada por margas, arcillas, evaporitas, en general, rocas con poco potencial acuífero.

- Al sur domina el relieve abrupto y escarpado de la Sierra Sur con "La Mella" y la Peña de Jaén en primer término, detrás el Jabalcuz y el horizonte marcado por La Pandera. La Sierra Sur, y Sierra Mágina al este representan algunas de las grandes montañas carbonatas de la Zona Externa de la Cordillera Bética. Se trata fundamentalmente de rocas jurásicas y cretácicas con una gran capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas por procesos de karstificación.

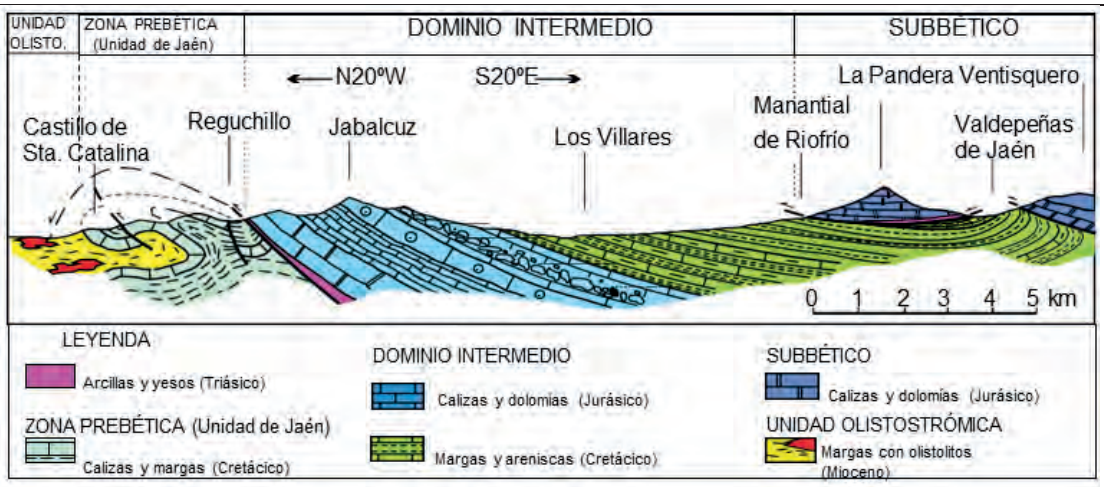


Figura 5. Corte geológico de la Zona Externa de la Cordillera Bética en la transversal Jaén-Valdepeñas de Jaén (Tomado de Geolodía 2010).

Parada 2: MANANTIAL NACIMIENTO DE RÍO FRÍO

Este manantial se encuentra entre los kms 14 y 15 de la carreteraA-6050, en la subida desde Los Villares hacia Valdepeñas de Jaén. En el desvío a la derecha de la carretera se sube por el camino que hay junto al puente de Río Frío y a unos 400 m del puente nos encontramos este espectacular paraje. Se trata de un espacio habilitado como área recreativa, con una vegetación exuberante donde se puede disfrutar de los placeres del agua subterránea surgiendo de la montaña (Fig. 6). El acuífero de Grajales-La Pandera (Fig. 9) se sitúa al SE de la ciudad de Jaén, abarcando la zona montañosa que comprende a las sierras de Grajales y de La Pandera. Tiene una extensión de afloramientos permeables de 74,4 km pertenecientes al Jurásico e incluidos en el dominio Subbético Externo. En la serie jurásica se distinguen principalmente dos tramos acuíferos: uno inferior formado por calizas y dolomías del Jurásico Inferior, que alcanzan potencias de entre 400 y 700 metros; y otro superior constituido por calizas nodulosas, oolíticas y con sílex del Jurásico Medio y Superior, con espesores variables entre 50 y 200 m. Entre ambos tramos se localiza una serie de margas y margocalizas de baja permeabilidad que los desconecta hidráulicamente. El conjunto jurásico constituye una masa alóctona, en cuya base se encuentran materiales arcillosos impermeables triásicos, que se disponen sobre margas, margocalizas y areniscas del Cretácico Inferior que conforman su substrato impermeable. Dentro del tramo permeable inferior (de edad Jurásico Inferior) destaca el sector de la Pandera, con una extensión de materiales carbonatados, principalmente dolomíticos, de 13,9 km, que está individualizado por la existencia de importantes fracturas que permiten la presencia de materiales impermeables triásicos que delimitan este acuífero. El flujo subterráneo predominante es hacia el norte y el principal punto de drenaje natural es el manantial del nacimiento del Río Frío que presenta un caudal medio de unos 120 l/s. Este manantial se usa para el abastecimiento a Jaén y Los Villares.

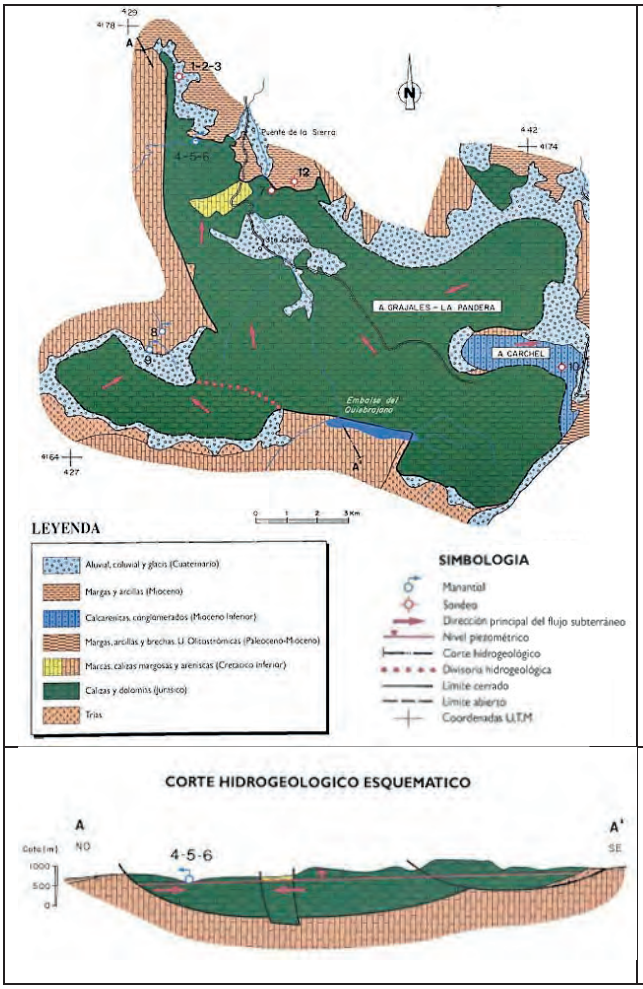




Figura 6. Esquema hidrogeológico del acuífero de Grajales-La Pandera con la localización del manantial de Río Frío (tomado del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén, ITGE, 1997). Fotografía del nacimiento de Río Frio.

Parada 3: MANANTIAL DE LOS VADILLOS - LAS CHORRERAS

Los acuíferos de Gracia-Morenita, Ventisquero y Cornicabra-Noguerones se incluyen administrativamente en la Masa de Agua Subterránea 05.70 "Gracia-Ventisquero". Se trata de un conjunto de acuíferos carbonatados y permeables por fisuración y karstificación. La estructura general de la zona corresponde a un apilamiento de láminas tectónicas que cabalgan, disponiéndose en la base de la estructura los materiales impermeables del Triásico (Fig. 7). Los materiales permeables que conforman estos acuíferos son calizas y dolomías con espesores comprendidos entre 140 y 325 metros. Los límites son cerrados por contacto con los materiales arcillosos del Triásico. La parada que vamos a hacer se localiza al E de Valdepeñas de Jaén, en el sector del acuífero de Ventisquero. Este acuífero presenta una extensión de materiales permeables de 11,6 km. Corresponde a una estructura sinforme, de dirección ENE-OSO, constituida por materiales jurásicos pertenecientes al Subbético Externo. Se trata de un conjunto alóctono, desplazado a favor de materiales arcillosos que se sitúan en su base y constituyen su substrato impermeable. Los materiales acuíferos son principalmente calizas y dolomías del Jurásico Inferior y calizas del Jurásico

Superior. La descarga del acuífero se produce a través de una serie de surgencias situadas en el entorno de Valdepeñas de Jaén. De todos estos manantiales, el de mayor importancia es de Los Vadillos, objeto de esta parada, que representa el principal flujo subterráneo en el acuífero, de oeste a este. Este manantial está situado a una cota de 985 msnm (metros sobre el nivel del mar) y tiene un caudal medio de unos 150 l/s. Las aguas de este acuífero presentan facies sulfatada-bicarbonatada cálcico-magnésica.

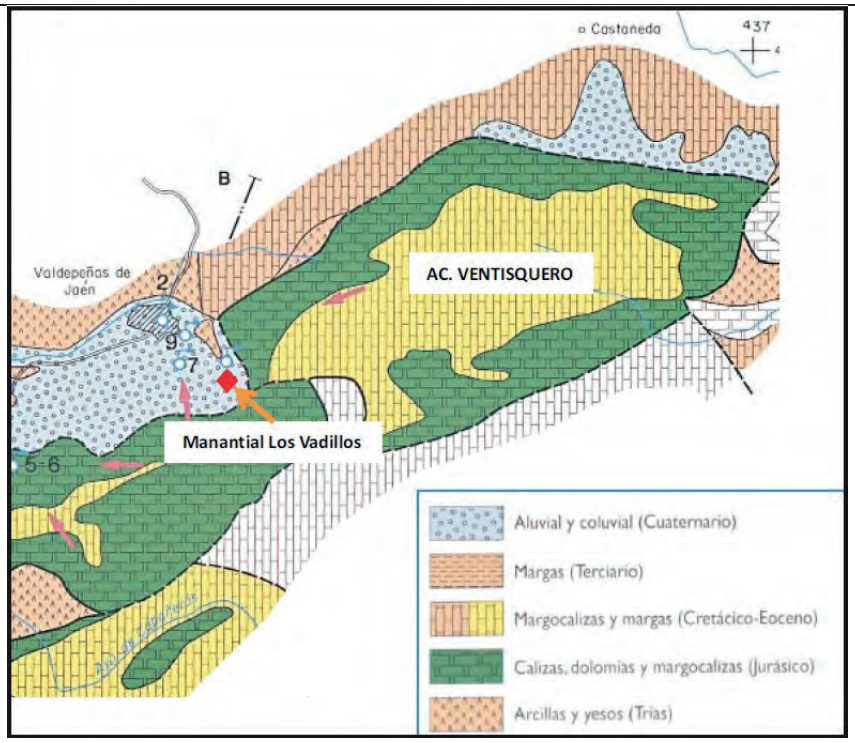


Figura 7. Esquema hidrogeológico del acuífero de Ventisquero con la localización del manantial de Los Vadillos (tomado del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén, ITGE, 1997).

El drenaje de las surgencias del acuífero del Ventisquero da lugar al nacimiento del río que pasa por el pueblo de Valdepeñas, el río Vadillo, que nos permite contemplar el magnífico paraje de Las Chorreras (Fig. 8), fácilmente accesible por el sendero que discurre junto al río, con pasarelas y puentes de madera y donde la vegetación de ribera es abundante. En pocos metros el río ha excavado un cañón por donde el agua circula a gran velocidad y cae estrepitosamente en rápidos y cascadas (Fig. 8). Además, existen numerosas cavidades y formaciones de travertinos (Fig. 8) formadas por la desgasificación de las aguas cargadas de Ca y HCO_3^- , produciéndose la reacción contraria a la disolución de la calcita y precipitando este mineral sobre las ramas, troncos, hojas y raíces de las plantas dando estas espectaculares formaciones rocosas.



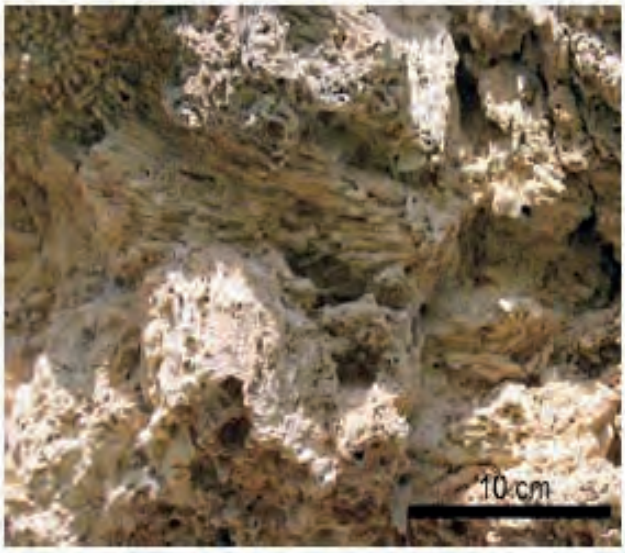




Figura 8. Fotografías de cascada y salto de agua en Las Chorreras. Ejemplo de un afloramiento de travertino donde se observan tallos de plantas dispuestos en posiciones diversas, indicando que han sufrido un transporte y resedimentación.

AGRADECIMIENTOS

La organización desea expresar su agradecimiento a las instituciones que han apoyado y/o patrocinado el **Hidrogeodía Jaén 2025**: 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.

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.

MONITORA DEL HIDROGEODÍA JAÉN 2025

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

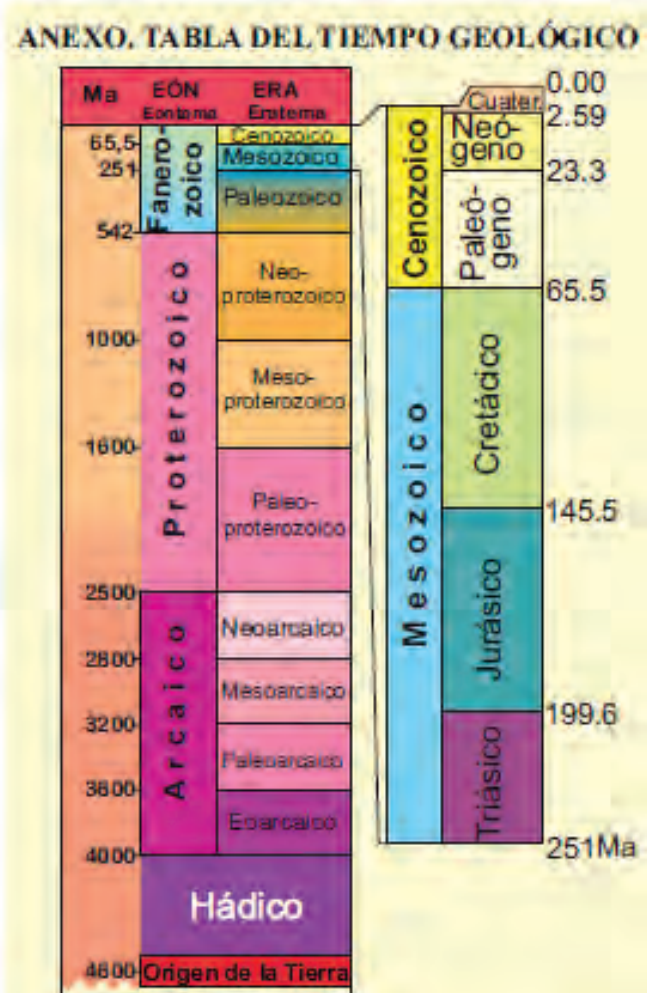
ELABORACIÓN DE LA GUÍA

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

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.
- Geolodía. Jaén'14. Isabel Abad, Cristina Fernández, Ginés A. de Gea, Pilar Hernández, Juan Jiménez, Rosario Jiménez, José M. Molina, Pedro A. Ruiz Ortiz y África Yebra (2014). Sociedad Geológica de España.
- Vera, J.A. (Ed.). Geología de España; SGE-IGME: Madrid, 2004; p. 890.
- www.conocetusfuentes.com

TABLA TIEMPO GEOLÓGICO




ORGANIZA
Rosario Jiménez Espinosa
Universidad de Jaén
Departamento de Geología
COLABORA
Universidad de Jaén
uja.
Sostenibilidad
HIDROGEODÍA
2025 JAÉN
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



Lleida

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

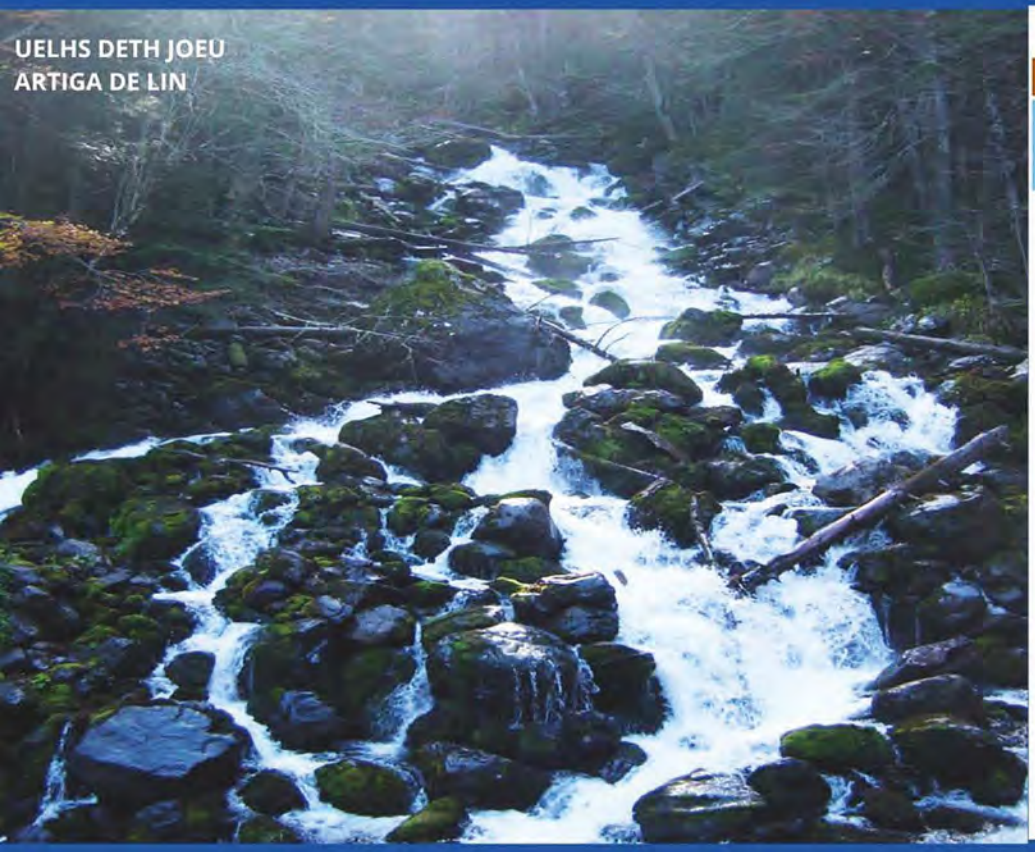
EXCURSIÓN:

LAS AGUAS TERMALES Y EL KARST DEL VAL D'ARAN

AIGÜES TERMAUS E KARST DERA VAL D'ARAN.

26 DE ABRIL 2025

PROFESORADO: CARLES BALASCH, TONI FREIXES, JORDI GAVALDÀ, JOSEP M. MÀSICH I MANEL PASCUAL



HIDROGEODÍA 2025

SEDPGYM

SIGMADOT

ETSEAFIV
Universitat de Lleida

Fluvial Dynamics Research Group
RIUS

Conselh Generau d'Aran

INSCRIPCIÓN PREVIA (GRATUITA)

- **Imprescindible reserva previa** por correo electrónico a: **josepmaria.masich@udl.cat**
- 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 40 participantes.
- Más información en:
  https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/

HORARIO Y TRANSPORTE (GRATUITO)

- **Hora y lugar de salida**: 8.00 h. Camp d'Esports (Lleida). Viaje en autocar hacia el Val d'Aran.
- **Comida:** Restaurant PRADO VERDE. 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**: 20.00 h. Camp d'Esports (Lleida).

COLABORA

¿QUIERES COLABORAR?

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

Universitat de Lleida
Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl

Universitat de Lleida
Biblioteca i Documentació
Biblioteca del CAFIV

Universitat de Lleida
Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitària

GUÍA DE LA EXCURSIÓN

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

EXCURSIÓN:
LAS AGUAS TERMALES Y EL KARST DEL VAL D'ARAN
AIGÜES TERMAUS E KARST DERA VAL D'ARAN.

26 DE ABRIL 2025



HIDROGEODÍA 2025

SEDPGYM

SIGMADOT

ETSEAFIV
Universitat de Lleida

Fluvial Dynamics Research Group
RIUS

Conselh Generau d'Aran

Autores:

Jordi Gavaldà (PARADA 1): La Val d'Aran y su morfología.

Antoni Freixes (PARADA 2): Sistema cárstico d'Aigüeira,

Josep Maria Màsich (PARADA 3): Sistema hidrotermal d'Arties.

Manel Pascual (PARADA 4): Sistema hidrotermal de Les.

Antoni Freixes (PARADA OPCIONAL): Sistema cárstico de Uelhs deth Joeu.

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

Universitat de Lleida
Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl

Universitat de Lleida
Biblioteca i Documentació
Biblioteca del CAFIV

Universitat de Lleida
Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitària

EL HIDROGEODIA

El **HIDROGEODIA** en Lleida es una de las actividades que se celebrarán para conmemorar el **DIA MUNDIAL DEL AGUA**. Durante una jornada se organizará una excursión gratuita guiada por hidrogeólogos para divulgar el trabajo de estos profesionales y la *hidrogeología* como ciencia útil para la sociedad por lo que va a ser una jornada destinada a todo tipo de público interesado en el conocimiento de 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 cuarto año consecutivo.

La presente guía resume el contenido de la excursión que se realizará el día **26 de abril de 2025** y estará organizada por el *"Departament de Fisica, Química, Medi Ambient i Sòls"* de la *"Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms, de Forest i Veterinaria"* 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 la **zona de servicios de Areny**. A las **15'00 h** se parará a comer en el restaurante **Cabana d'Aubàs** (Termino Municipal de Es Bordes). 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.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA GENERAL

La jornada de 2025 se presenta bajo el título: ***LAS AGUAS TERMALES Y EL KARST DE LA VAL D'ÀRAN.***

La zona que se visitará comprende el corazón de la Val de Aran en la cuenca alta del rio Garona. El objetivo principal de la ruta es exponer las bases

conceptuales del funcionamiento de los principales acuíferos cársticos y de los sistemas hidrotermales del Valle, así como la morfología y dinámica glaciar que caracteriza a la Zona Axial pirenaica. La ruta consta de las paradas que se indican en la figura I.1.

La *evolución paleogeográfica* del área pirenaica se inició hace unos 250 millones de años (principios del Triásico), cuando la zona estaba afectaba 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. 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 Vizcaya, emergiendo tierras de Este a Oeste. 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.

La figura I.2 reproduce parcialmente el llamado perfil ECORS que muestra la estructura geológica actual de los materiales mesozoicos, cenozoicos, y

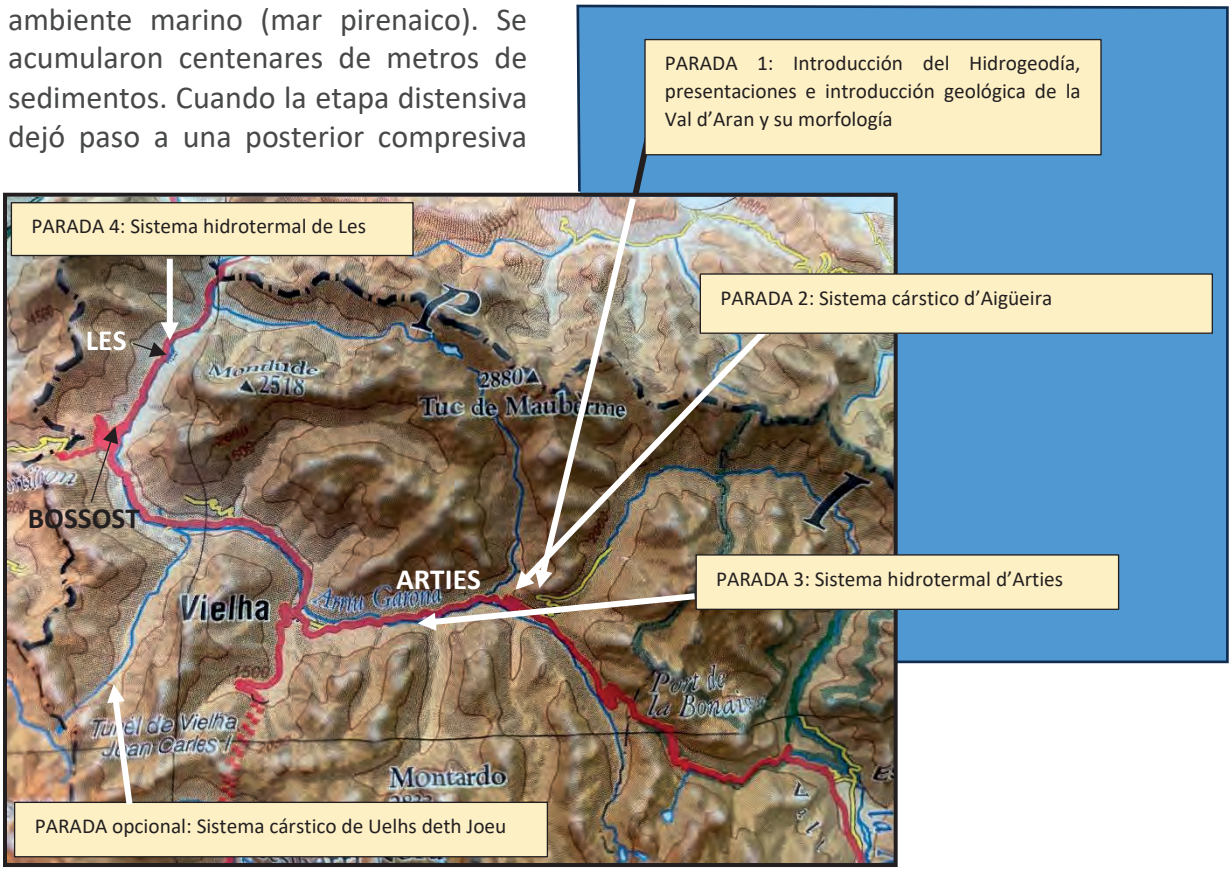


Figura I.1. Paradas de la excursión conmemorativa del Día Mundial del Agua 2025 (HIDROGEODÍA).

paleozoicos, así como *rocas de origen magmático de los Pirineos meridionales, los cuales forman parte de la zona visitada*. La disposición estructural es el 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, daba paso al levantamiento progresivo del conjunto de la cordillera y a la retirada del mar

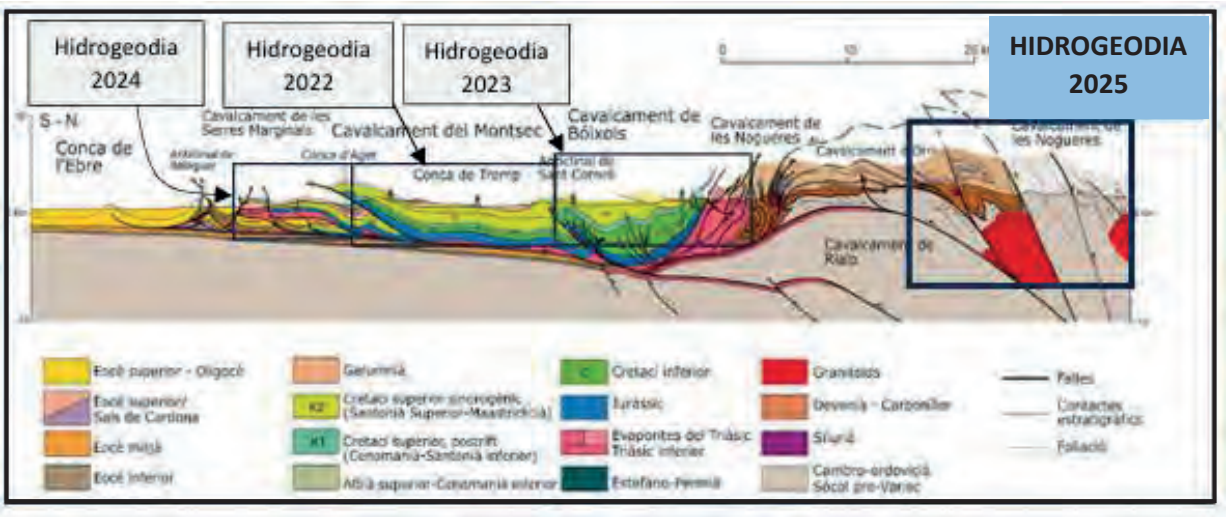


Figura I.2. Parte meridional del perfil ECORS (S-N) mostrando los sedimentos del Triásico, Jurásico, Cretáceo, Eoceno y Oligoceno, así como los paleozoicos metamorfoseados y las rocas magmáticas de la zona axial pirenaica plegados como consecuencia de la orogenia Alpina (de ICGC, 2010). El recuadro indica la parte del corte que se visitará en el Hidrogeodía 2025. Situación del corte en la figura I.3.

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 que se iban formando, 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.

En la figura I.2 se pueden distinguir tres grandes dominios: *Sierras Marginales*, *Montsec*, *Bóixols* y la *Zona Axial pirenaica*.

El itinerario del Hidrogeodía de 2025 es complementario a los itinerarios de los Hidrogeodías de 2022, 2023 y 2024. En las rutas anteriores se explicaron diferentes acuíferos vinculados a las formaciones mesozoicas y cenozoicas carbonatadas de los dominios de las Sierras Marginales, Montsec y Boixols, constituidos exclusivamente por rocas sedimentarias (figura I.2).

Este año se visitarán las formaciones más septentrionales constituidas por rocas antiguas que constituyen el *zócalo*

prealpino sobre el que se depositaron todas las anteriores. La fase compresiva que plegó los sedimentos de cobertera originó el levantamiento de estos materiales de *zócalo* que afloraron en el centro de la Cordillera por la acción continua de los agentes meteóricos que erosionaban a la misma des de los inicios de fase. Toda esta zona de *zócalo*, constituida por sedimentos paleozoicos afectados por metamorfismo de mayor o menor grado, y por materiales de naturaleza magmática, forma las cumbres más altas de la cordillera. Es la denominada Zona Axial de los Pirineos (figuras I.2 y I.3).



Figura I.3. Mapa geológico esquemático de los Pirineos y situación geológica de zona visitada. Se encuadra la zona visitada durante el Hidrogeodía 2025. Se indica la situación del perfil ECORS de la figura 2.

PARADA 1. INTRODUCCIÓN GEOLÓGICA DE LA VAL D'ARAN Y SU MORFOLOGÍA (Jordi Gavaldà)

CONTEXTO GEOLÓGICO DE LA VALL D'ARAN

La cordillera pirenaica es un orógeno alpino de doble vergencia formado por la colisión de las placas Ibérica y Europea entre el Cretácico Superior y el Paleógeno. Como se ha dicho, la parte central de la cordillera está ocupada principalmente por rocas del basamento paleozoico, que constituyen la Zona Axial, levantada por cabalgamientos alpinos de escala cortical. Esta estructura se observa en el Perfil sísmico de reflexión (ECORS), realizado en la transversal del río Pallaresa (Figura 1.1) (Muñoz, 1992). Al norte de la Zona Axial Pirenaica se sitúa la Zona Norpirenaica (ZNPy), dominada por estructuras alpinas dirigidas hacia el norte, hasta la Cuenca de Aquitania y, al sur, la Zona Surpirenaica (ZSPy) caracterizada por estructuras alpinas dirigidas al Sur, hasta la Cuenca del Ebro (Fig. 1.1). El desarrollo de estructuras alpinas en los Pirineos produce un acortamiento total estimado entre 100 y 150 km, según los autores, que no va acompañado de metamorfismo ni magmatismo significativos.

La Val d'Aran se sitúa en la zona Axial Pirenaica que está constituida principalmente por afloramientos de rocas paleozoicas, con deformación y metamorfismo varisco y deformadas por estructuras alpinas. En ella Aran, se distinguen tres dominios estructurales, que de Norte a Sur son (Figura 1.2 y 1.3):

- El Domo del Garona, el más septentrional y en el que afloran materiales infrasilúricos. Aparece caracterizado por una estructura antiformal que deforma a una serie de pliegues acostados, vergentes al Norte, a los que se asocia la esquistosidad principal que afecta a este dominio (S1).
- El segundo dominio, situado al Sur del anterior, denominado Sinclinorio de la Val d'Aran, con afloramientos devónicos, se caracteriza por un buen desarrollo de pliegues derechos, despegados de la base de las ampelitas silúricas, con dirección Este-Oeste y que llevan asociada el clivaje principal en este dominio (S2).
- El tercer dominio, es el más meridional y en él afloran materiales que van desde el Cambro-Ordovícico

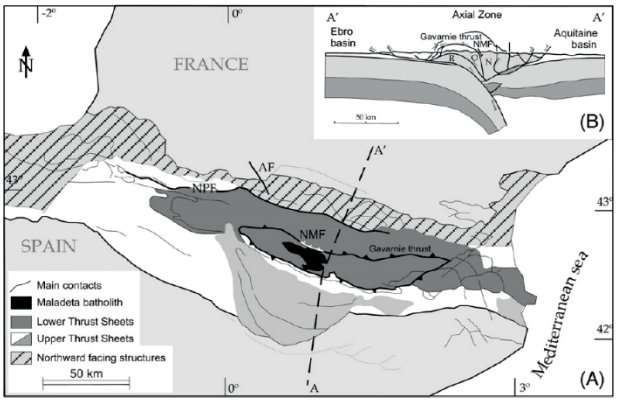


Figura 1.1. Subdivisión estructural de los Pirineos basada en datos geológicos y sísmicos (en Ortuño 2008, modif de Muñoz,1992). Arriba corte geológico en la transversal A-A' derivado del perfil ECORS. NMF, falla Norte de la Maladeta;NPF, falla Nord-pirenaica; AF Falla de Adour.

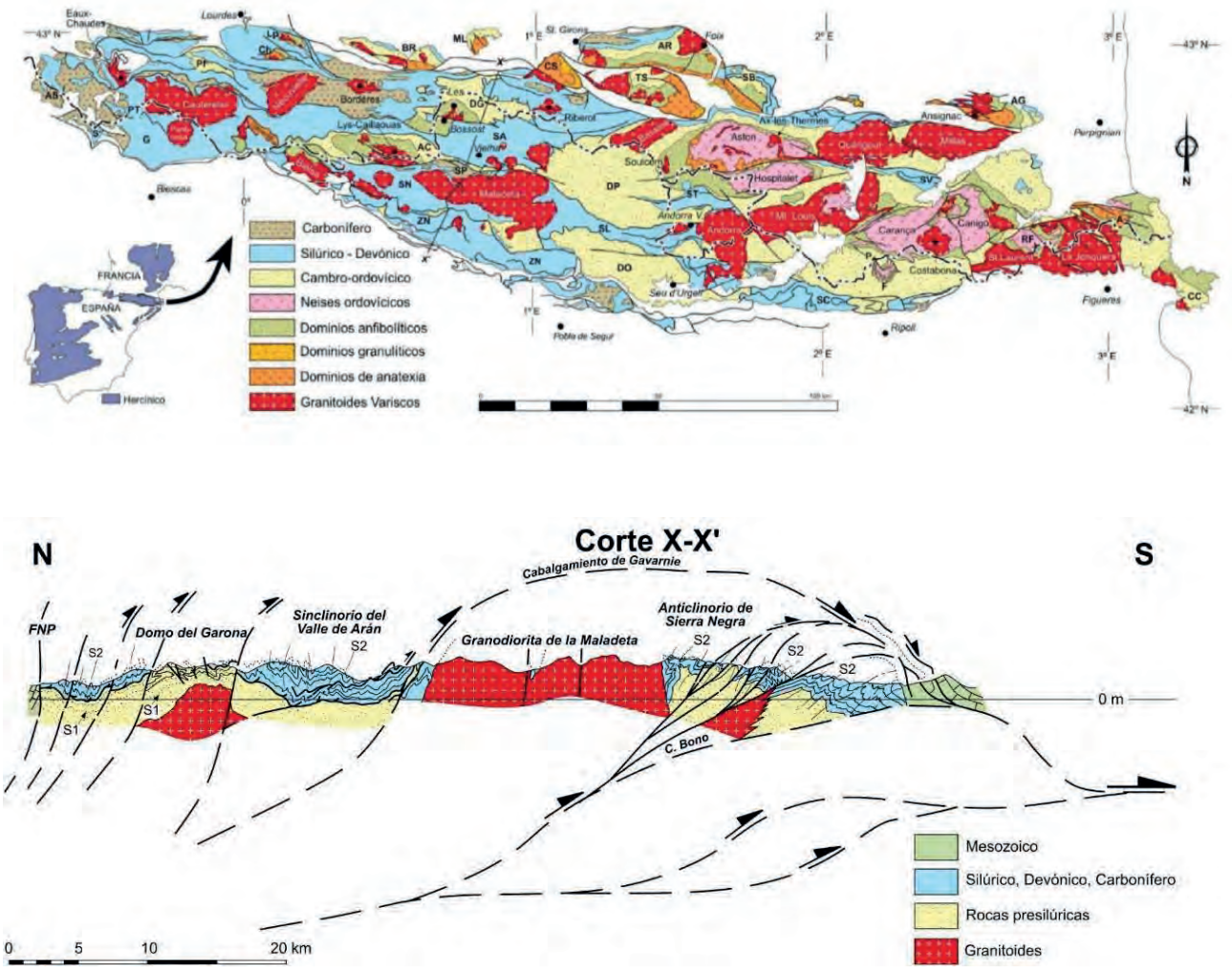


Figura 1.2. Mapa geológico de la Zona Axial pirenaica y corte geológico N-S en la transversal de la Val d'Aran, modificado de Autran and García-Sansegundo (1996) X-X': corte geológico de la Zona Axial pirenaica entre el Valle de Arán y Alta Ribagorza (García-Sansegundo, 1992). A: Alberes, AC: Anticlinal Central, AS: río Aragón Subordán, CC: Cap de Creus, Ch: Chirulet, DG: Domo del Garona, DO: Domo de l' Orri, F: río Freser, G: río Gállego, Lp: Lesponne, MP: Macizo de la Pallaresa, P: Puigmal, Pf: Pierrefite, PT: puerto Portalet, RF: Roc de Frausa, S: puerto Somport, SA: Sinclinorio del Valle de Arán, SC: Sierra del Cadí, SL: Sinclinal de Llavorsí, SN: Anticlinorio de Sierra Negra, SP: Sinclinorio de Plan d' Están, ST: Sinclinal de Tor–Casamanya, SV: Sinclinal de Villafranche , ZN: zona de los Nogueras. Macizos Norpirenaicos (BR: Barousse, ML: Milhas, CS: Castillon, AR: Arize, TS: Trois Segnieur, SB: Saint Barthélemy, AG: l' Agly.

hasta el Carbonífero. Tiene las mismas características que el anterior, pero difiere en que se encuentra afectado por numerosas fracturas tanto hercínicas como alpinas. En él se sitúan el Anticiclal Central y el Sinclinorio de Plan d'Estan.

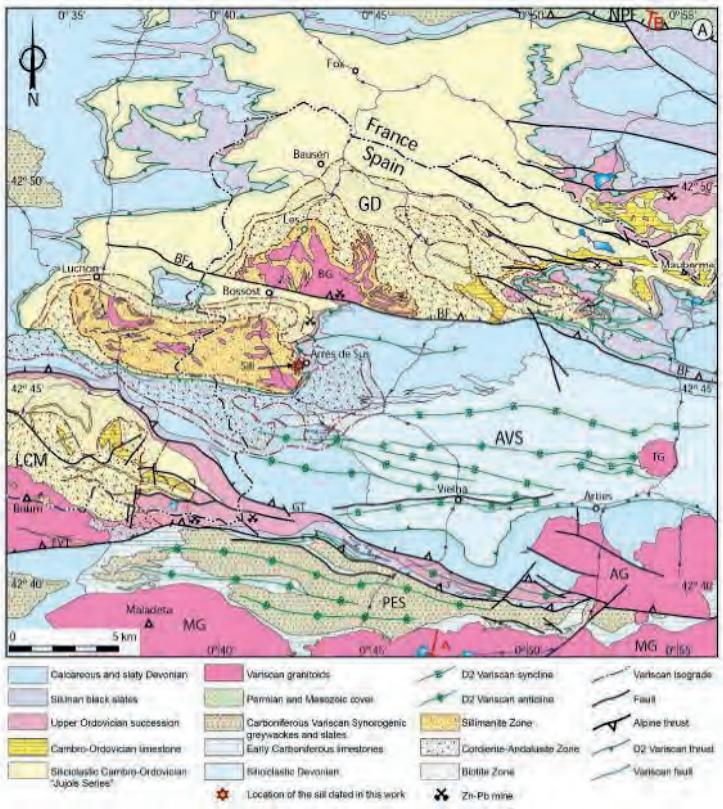


Figura 1.3. Mapa geológico de la Val d'Aran (fragmento). Las zonas metamórficas corresponden al metamorfismo varisco. En el cabalgamiento alpino, el triángulo y el segmento verdes indican movimiento varisco inverso o normal, respectivamente, y el segmento negro indica movimiento alpino normal. AG: Granito de Arties, BF: Falla de Bossòst, BG: Granitoide de Bossòst, AVS: Sinclinorio del Valle de Arán, GD: Domo del Garona, LCM: Macizo de Lys-Caillaouas, MG: Granito de la Maladeta, NPF: Falla Norpirenaica, PES: Sinclinorio de Plan d'Estan, TG: Granito de Tredós, GT: Cabalgamiento de Gavarnie, EVT: Cabalgamiento de Eriste-Valarties. De Garcia-Sansegundo, et al, 2025.

La serie Cambro-Ordovícica del Domo del Garona (Serie Jujols), está formada por cuarcitas, pizarras y calizas intercaladas (Caliza de Bentaillou) y aflora en áreas donde se alcanzaron condiciones de metamorfismo HT-LP. Sobre estas series se encuentran pizarras, areniscas, conglomerados y calizas del Ordovícico Superior, así como pizarras bituminosas del Silúrico. Al sur, el Sinclinorio del Val d'Aran expone más de 1000 m de pizarras, calizas, areniscas y cuarcitas de edad Devónica, localmente afectado por el metamorfismo HT-LP.

Las diferencias existentes entre la estructura del Domo del Garona y la de los otros dos dominios, pueden ser explicadas con base en la existencia de un importante "decollement" que se ha reconocido en la base del Silúrico. Desde este horizonte despegado se desarrolla un sistema imbricado de cabalgamientos que afectan a la S0 y a la S1 y, hacia arriba, se compensan en pliegues, algunos de los cuales pertenecen a la fase de deformación principal que afecta a los dominios del Sur. Los materiales que afloran por encima del Silúrico parecen proceder de áreas muy alejadas, a juzgar por las diferencias que existen en lo que a la estratigrafía y estructura se refiere, pudiendo ser este despegue el responsable de su posición actual.

En la Val d'Aran afloran dos cuerpos de rocas ígneas: el Granitoide de Bossòst en el núcleo del Domo del Garona y la Granodiorita de la Maladeta al sur de Aran.

El Granitoide de Bossòst corresponde a pegmatitas y leucogranitos, donde los minerales principales que conforman esta intrusión son cuarzo, albita, feldespato potásico y moscovita. Se trata de cuerpos ígneos con morfología de sill subparalelos a la foliación tectónica principal subhorizontal (S1). Esta intrusión guarda una estrecha relación con las isogradas del metamorfismo habiéndose emplazado en las etapas finales de la deformación varisca.

La Granodiorita de la Maladeta corresponde a una intrusión en niveles superiores de la corteza, produce una aureola metamórfica a su alrededor y se intruye en las fases más tardías de la orogénesis varisca.

TECTÓNICA ACTUAL Y TERMALISMO EN LA VAL D'ARAN

La Val d'Aran es una región catalogada como de baja-moderada intensidad sísmica según el IGN y en la que se han registrado 35 eventos históricos de intensidad superior a V (MSK). El mayor sismo reciente es el ocurrido en Vielha el 19 de noviembre de 1923 de intensidad VIII (MSK) y que representa el mayor registrado en Catalunya desde la edad media.

Esta actividad sísmica está relacionada con la presencia de fallas activas alpinas como la Falla Norte de la Maladeta y la Falla Nord-Pirenaica (Ortuño et al, 2004 y Ortuño et al, 2008).

El termalismo de la Val d'Aran está localizado en el entorno de los plutones graníticos de la Maladeta (Baños de Tredòs y Arties) y de Bossòst (Baños de Les) y relacionado con fallas activas en contacto con el basamento paleozoico (Figura 1.4). La lenta infiltración del agua superficial hasta gran profundidad (entre 2500 y 4000 m) permite un calentamiento elevado estimando una temperatura de reservorio de 110ºC en el caso de Arties, 90ºC en Tredòs y 72ºC en Les. Tras un largo tiempo de residencia, de algo más de 11.000 años, se produce un ascenso rápido ligado a fallas profundas que conectan con la superficie y permiten que se mantengan temperaturas altas en las surgencias (32ºC en Tredòs, 35ºC en Arties y 27ºC en Les) y se conserven sus características químicas (Buil Gutiérrez et al., 2002).

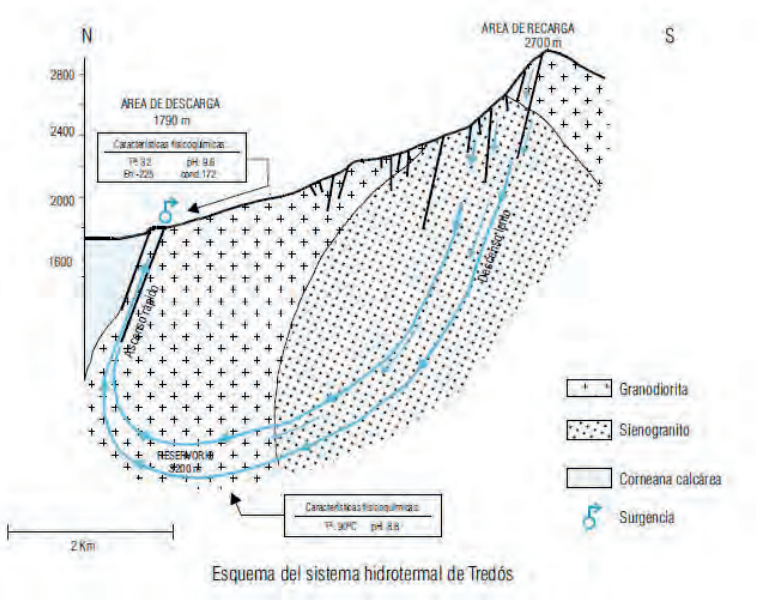


Figura 1.4. Esquema (2D) de circulación hidrogeológica del sistema geotermal de Tredòs (Buil Gutiérrez et al, 2002).

En las paradas 3 y 4 se explica con mayor detalle el hidrotermalismo de la Val.

GEOMORFOLOGIA DE LA VAL D'ARAN

La geomorfología de la Val d'Aran está marcada por su compleja historia geológica y climática. Las formas del relieve actuales son el resultado de la interacción entre procesos tectónicos, climáticos y erosivos.

El actual relieve de los Pirineos es el resultado de tres etapas morfogenéticas con formas y modelados bien diferenciados (Bordonau, 1992):

- Periodo Preglaciar. Se trata del modelado producto de la alteración y erosión del sustrato rocoso posterior al levantamiento de la cordillera Pirenaica de finales del Terciario y anterior a las épocas glaciares cuaternarias. Durante este periodo se desarrollaron extensas superficies de aplanamiento, también llamadas superficies de erosión, y se estructuró la red hidrográfica que, con importantes retoques perdura hasta la actualidad.
- Periodo Glaciar. Se trata del modelado producto de la acción erosiva y sedimentaria de los glaciares cuaternarios. Éste es el más evidente en las zonas más elevadas de los Pirineos, con circos glaciares en las cabeceras de los valles que recortan las antiguas superficies de erosión y valles en artesa que redibujan los perfiles de los antiguos valles fluviales. De la dinámica glaciar han quedado las formas características de valles en U, circos glaciares y morrenas.

  El glaciar del Garona, considerado el más extenso del sistema pirenaico durante el Cuaternario, se originaba en las cumbres superiores a los 3000 m, como Besiberri Nord, y se extendía hasta los 420 m de altitud en la cuenca de Loures-Barousse-Barbazan (LBBB), en el límite norte de los Pirineos. Durante su máxima expansión, este sistema glacial alcanzó una longitud aproximada de 80 km y un espesor de hasta 800 m en su valle principal (Figura 1.5). A diferencia de otras regiones europeas donde el Último Máximo Glaciar Global (GLGM, ca. 20 ka) representó el punto de máxima extensión de los hielos, en el Alto Garona dicho máximo local (MIE) ocurrió anteriormente, durante el estadio isotópico MIS-6 del penúltimo ciclo glacial. La datación de la morrena externa de la LBBB mediante técnicas de exposición superficial arrojó una edad de 128.5 ± 9.1 ka. En dicho periodo, la altitud de la línea de equilibrio glaciar (ELA) se situaba alrededor de los 1700 m, y las temperaturas estivales eran aproximadamente 9,3 ºC inferiores a las actuales (Fernandes, 2023).
- Finalmente, el periodo Postglaciar, donde dominan los procesos fluviales, periglaciares y de ladera que ha actuado desde el último periodo glaciar hasta nuestros días.

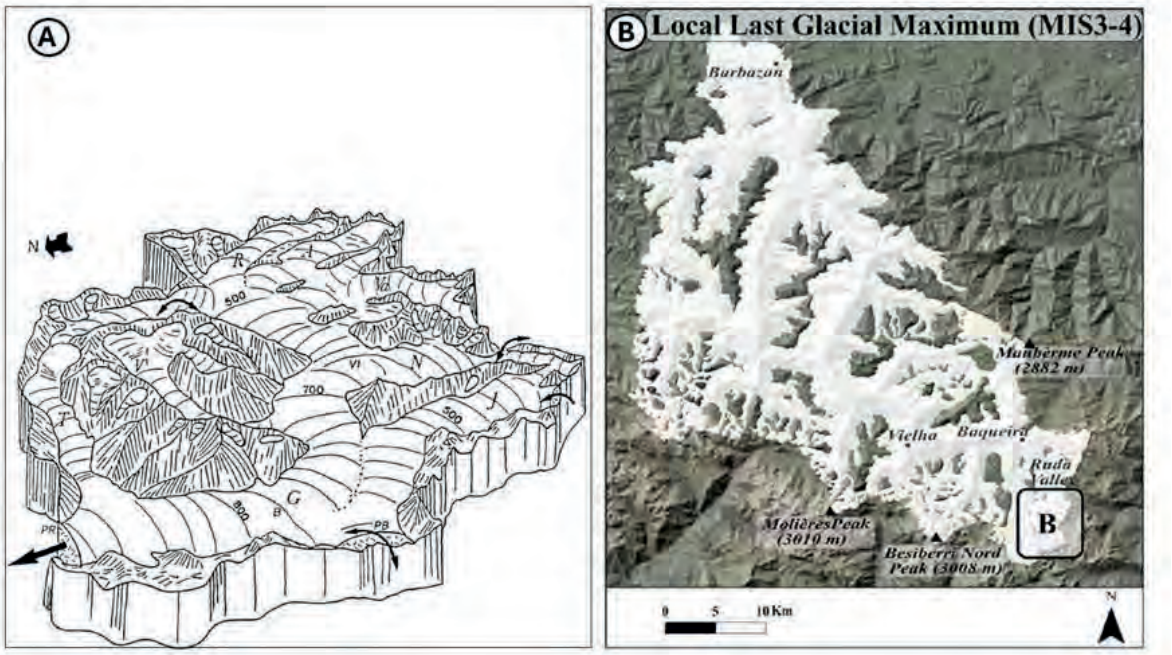


Figura 1.5. A: Reconstrucción de la extensión de los glaciares en la Val d'Aran (alta cuenca del Garona) durante el último máximo glaciar (Bordonau, 1992*). Los números indican el espesor del hielo en metros. G Garona, T Toran, V Varradòs, R Ruda, A Aiguamòg, Va Valarties, N Nere, J Joeu, VI Vielha, B Bossòst, PR Pònt de Rei, PB Portilhon de Bossòst.* B: Reconstrucción de la extensión glaciar en el valle del Garona durante el Último Máximo Glaciar (Fernandes et al. 2017).

Tras la desaparición de la mayor parte de la cobertera glaciar de los Pirineos, los procesos geomorfológicos, todavía funcionales, retocaron, y retocan, el relieve de origen glaciar dando lugar al paisaje actual. Los principales procesos son la dinámica periglaciar (gelifracción) que da lugar a canchales y conos de derrubios, la dinámica nival representada por los aludes, las dinámicas fluvial y torrencial que generan llanuras aluviales y conos de deyección y, por último, los movimientos de masa que afectan a las laderas pirenaicas. El conjunto de procesos actuales tiende a enmascarar gran parte de las formas del periodo glaciar.

El clima actual, húmedo y frío, hace posible la acumulación de nieve en las laderas de forma más o menos permanente por encima de los 1800-2000 m durante los meses de invierno. Esto se traduce en actividad de aludes frecuente que afecta tanto a infraestructuras como a practicantes de deportes de montaña. Como efemérides destacadas, en el libro de Casa Lobató se encuentra la primera cita de afectación de aludes a zonas habitadas de la Península. En 1444 una avalancha de nieve destruyó el antiguo pueblo de Gessa. También la avalancha de nieve con más víctimas mortales registrado en la Península Ibérica se encuentra en el valle de Toran cuando el 5 de abril de 1855 una avalancha provocó la muerte de 60 personas

(Garcia et al. 2005). Actualmente la gestión del riesgo de aludes está asumida por el Conselh Generau d'Aran a través del Centre de Lauegi d'Aran. Durante el periodo invernal se realiza la predicción de montaña para usuarios recreacionistas, predicción específica para las carreteras de Bonaigua y Beret y el seguimiento de las zonas vulnerables de aludes (carreteras y núcleos habitados) en episodios de alto peligro de aludes. La crisis de aludes más importante ocurrida en las últimas décadas es la que ocurrió entre el 26 y el 31 de enero de 2003. Durante este periodo se acumularon 165 cm de nieve a 1800m de altitud que corresponde a un periodo de retorno de 35 años. Se produjo una gran actividad de aludes de nieve seca. El que produjo más daños es el caído el dia 31 de enero de 2003 a las 12:30 que afectó a la urbanización de la pleta de Baqueira, destruyendo diversas edificaciones (Figures 1.6 y 1.7).

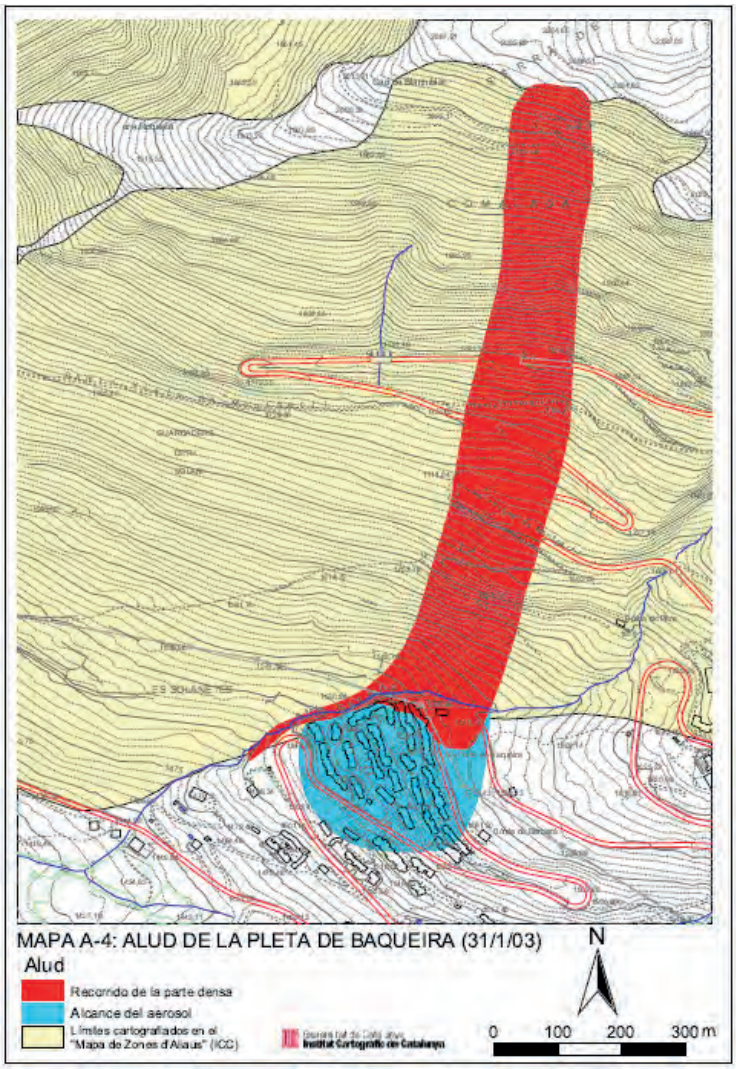


Figura 1.6. Cartografía de la avalancha caída el 31/01/2003 sobre la pleta de Baqueira



Figura 1.7. Detalle de afectación sobre los edificios de la avalancha caída el 31/01/2003 sobre la pleta de Baqueira (fotos Conselh Generau d'Aran).

PARADA 2. SISTEMA CÁRSTICO DE LA FONT DE L'AIGÜÈIRA (Antoni Freixes)

EL CARST DE LA VAL D'ARAN

Entre los ejemplos del carst aranés cabe destacar por su mayor interés e importancia los sistemas de Uelhs deth Joeu, Lastoar, Tèrme-Pila y Aigüèira.

En el contexto de la tectónica de placas y del perfil Ecors-Pirineos los sistemas de Joeu y Lastoar se sitúan en la unidad Cadí (Orri) y los sistemas de Tèrme-Pila y Aigüèira en la unidad Pallaresa (Nogueres).

El mayor desarrollo de la karstificación se observa en el karst de Uelhs deth Joeu y el menor en el sistema de Aigüèira.

El sistema de Tèrme-Pila ocupa una posición intermedia, entre los sistemas de Joeu y Aigüèira y permite analizar la evolución de los procesos que determinan la karstificación y su situación en el espacio: en la parte de aguas abajo, de limitada karstificación, está la resurgencia de Tèrme y en la parte de aguas arriba, con mayor carstificación está la resurgencia de La Pila. El sistema de Lastoar, el de menor entidad física, también ocupa una posición intermedia, y observa interesantes analogías con el sistema de Joeu.

Los sistemas de esquema binario son Uelhs deth Joeu, Lastoar y Tèrme-Pila, mientras que el de Aigüèira es asimilable a un karst de esquema monario (Freixes, 2014, 2020; Cervelló et al. 2023, Monterde et al., 2023).

HIDROLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

GEOLOGÍA

Esta unidad hidrogeológica se sitúa en la vertiente derecha del Garona de Ruda y abarca los relieves que van del Port de la Bonaigua hasta el núcleo urbano de Baqueira. La parte occidental está en la Val d'Aran, pero la oriental se encuentra en el Pallars Sobirà.

La Fuente de Aigüèira es el punto de descarga natural más importante del sistema y alimenta el Garona de Ruda poco antes de la confluencia con el río Malo.

El sistema de Aigüèira se sitúa en la parte meridional de macizo de Marimanha y ocupa los relieves de la Muntanya de Vaquèira, Arcoïls, Teso dera Mina y Tuc dera Cigalera.

Desde el punto de vista geológico, el sistema de Aigüèira se localiza al SW del plutón de Marimanha. Los materiales del sistema son las distintas unidades que forman la aureola metamórfica y los granitoides del plutón (Sitter de, 1954; Rijckborst, 1967; Zwart, 1979; Palau, 1995). La litología que constituye el acuífero de Aigüèira corresponde a la Unidad de Moredo-Salau (Palau y Sanz, 1989; Palau, 1995) concretamente a las subunidades: Calizas de Campaus y de Marxant. La potencia de la sucesión carbonática metamórfica es de 250 a 300 m y va del Siluriano superior al Emsiense (Devoniano inferior).

Los límites del sistema quedan definidos por las rocas impermeables siguientes: las metapelitas y metapsammitas de Beret (Devónico medio) y de Isil (Cambroor-

dovicico), las metapelitas de la Solana de Ares (Ordovícico superior, indiferenciado) y los granitoides del plutón de Marimanha.

La estructura tectónica es polifásica, esencialmente hercínica, pero también alpina.

Las calizas de Campaus que constituyen el acuífero de Aigüèira presentan una estructura sinclinorial con el eje buzando al W (o al WNW); se trata de una megaestructura de pliegues anticlinales y sinclinales de plano axial vertical orientados WNW-ESE (Figuras 1 y 3).

La figura 2 incluye dos cortes hidrogeológicos uno de detalle de la situación de la zona de descarga y las surgencias del sistema de Aigüèira: Aigüèira y Ruda y otro general del sistema, que va del Tuc dera Lança (2658 m), máxima altitud, a la surgencia de Aigüèira (1470 m).

La falla o fallas que determinan la situación de la surgencia de Aigüèira han de corresponder a una estructura importante que seguramente es la falla o cabalgamiento de Gavarnia o a una fractura o fracturas asociadas (Figura 3).El cabalgamiento alpino de Gavarnia limita al S la Unidad estructural de Marimanha y lo más probable es que las distintas fallas (Ruda, Bonaigua y Arcoïls) formen parte de la estructura de cabalgamiento de Gavarnia y que la elevada densidad de diaclasas que se observa en el sistema de Aigüèira tenga relación con el referido cabalgamiento (Figura 2).Las importantes estructuras de plegamiento que afectan las unidades carbonáticas determinan un grosor que puede ser superior a los 1500 m. Así los carbonatos tendrían un desarrollo notable incluso por debajo del nivel de descarga de la fuente de Aigüèira (Figuras 2 y 3).

LÍMITES DEL ACUÍFERO Y DEL SISTEMA

La delimitación del acuífero se corresponde aproximadamente con la del sistema, ya que se considera que la implicación de los materiales impermeables (metapelitas, metapsammitas y granitoides es poco importante (Figuras 1, 2 y 3). En consecuencia, el sistema se puede definir como monario, y, por tanto, con una alimentación autóctona.

El acuífero corresponde básicamente al afloramiento meridional de la Subunidad Estructural de Roca Blanca al S del plutón (Palau, 1995; Freixes et al., 1996, Freixes 2014, 2020; Monterde et al., 2023).

La situación de la Fuente de Aigüèira la determina una falla que pone en contacto las Calizas de Campaus con la metapelitas de la Unidad de Beret (Figura 2).

La cuenca tiene una extensión entre 10,5 y 13,5 km^2.

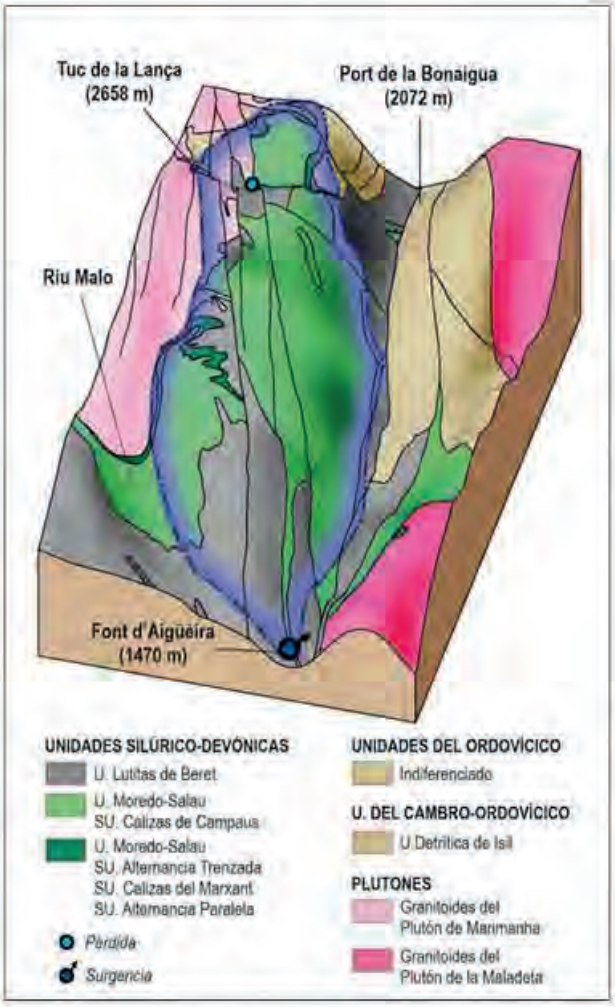


Figura 1. Bloque diagrama de la geología del sistema kárstico de Aigüèira (Val d'Aran).

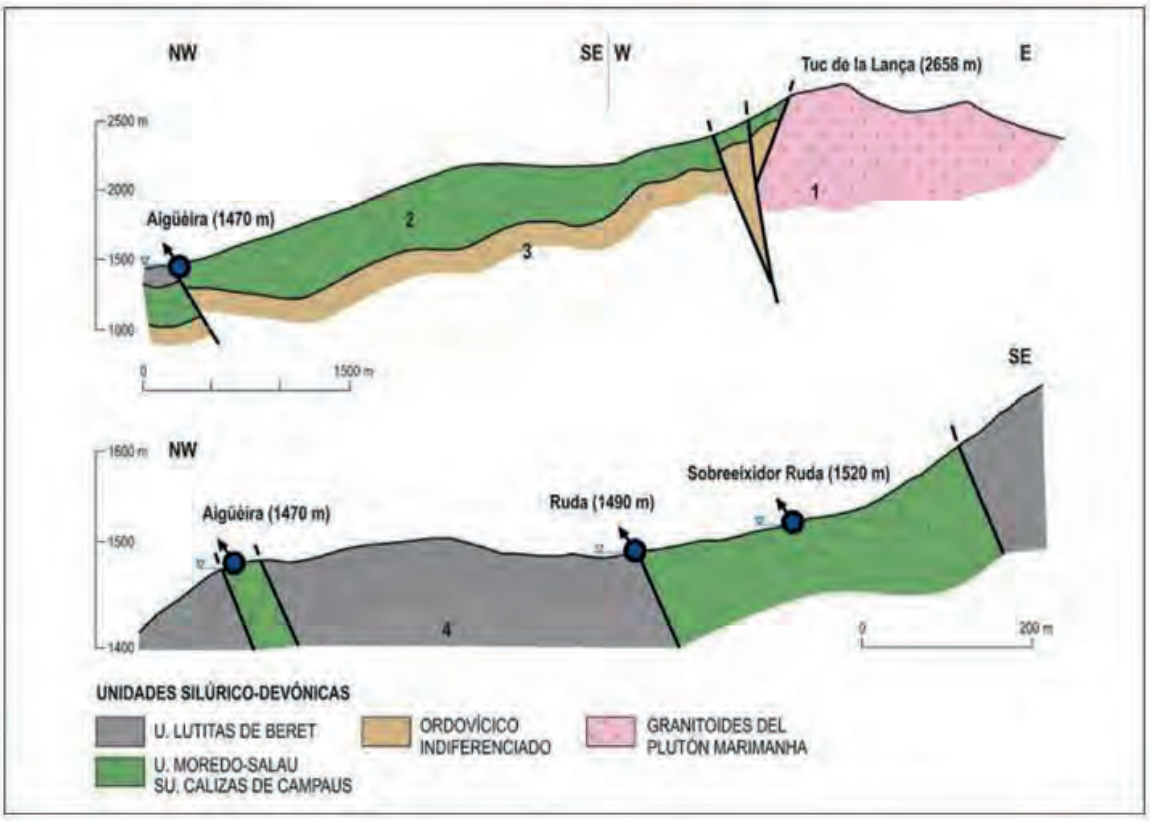


Figura 2. Cortes hidrogeológicos del sistema kárstico de Aigüèira.

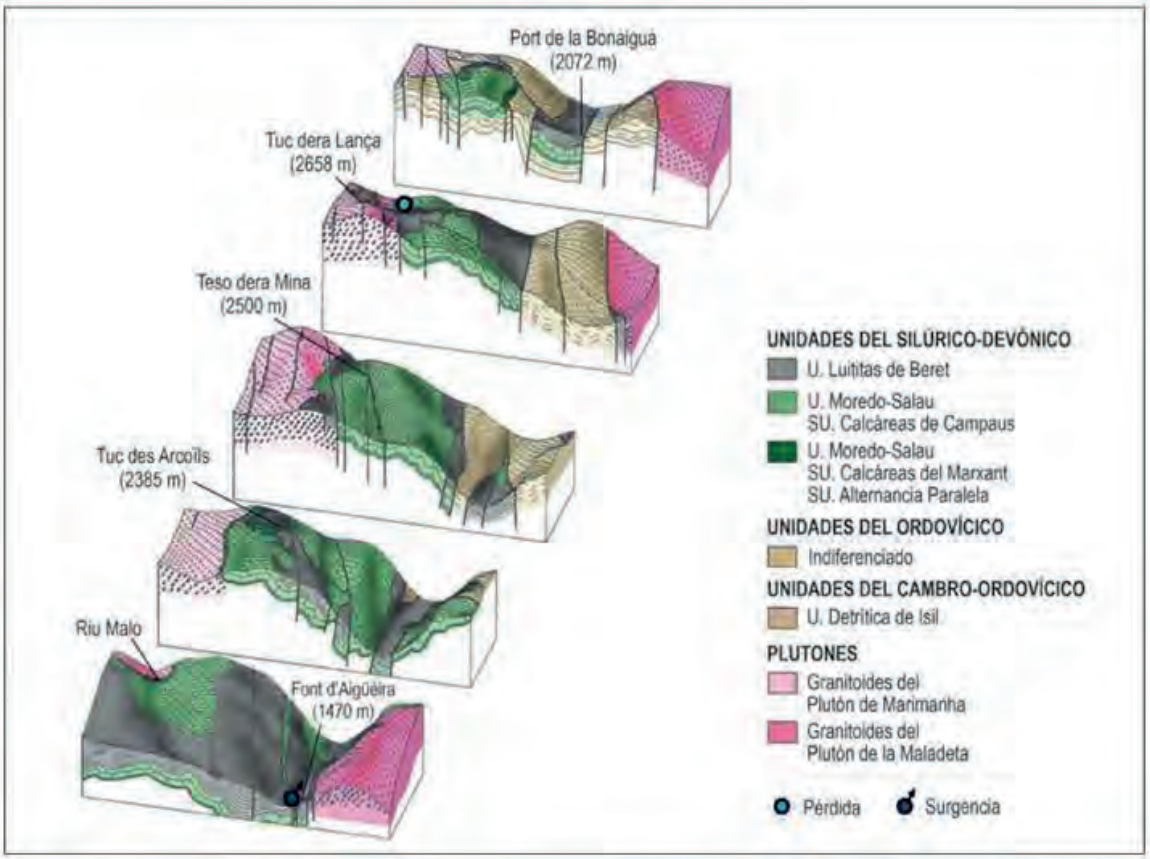


Figura 3. Estructura geológica interna del bloque diagrama. Las Calizas de Campaus se situan por debajo del nivel de descarga de la surgencia de Aigüèira.

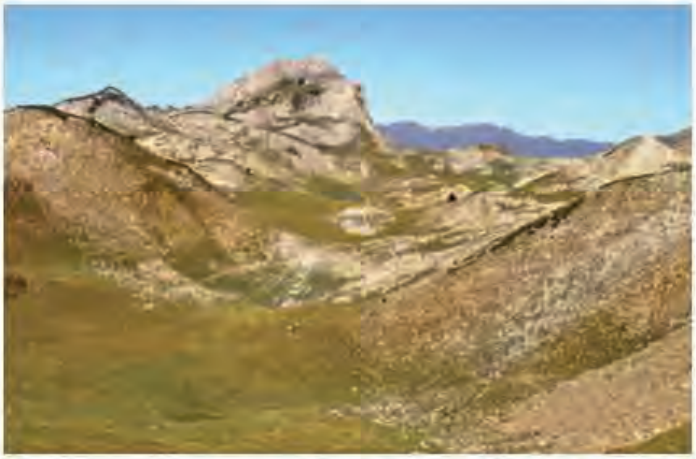


Figura 4. Gran depresión kárstica dels Arcoïls: dolinas y lapiaz.



Figura 5. Depresión kárstica dels Arcoïls. En primer plano: importante desarrollo del lapiaz.

El análisis del relieve, permite constatar que existe un desnivel marcado y abrupto que va de la surgencia de Aigüèira a la depresión de los Arcoïls (2000 m). La altitud media del sistema es de 2049 m

MORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN

La depresión de Arcoïls, a 2000 m de altitud, observa una notable morfología de disolución con lapiaz bien desarrollado y dolinas en forma de embudo, a veces de fondo plano (Figuras 4 y 5). No se conocen cavidades subterráneas importantes en el marco del sistema.

En la surgencia de Aigüèira se observan un conjunto de conductos de dimensiones decimétricas; estas cavidades son una expresión más de las características de la estructura profunda escasamente cárstica del sistema (Figura 6).

Además, en la cuenca prácticamente no hi hay circulación superficial organizada.

La cuenca del sistema de Aigüèira está escasamente forestada, pero en las cuestas de Ruda y en el barranco de Arcoïls existe un cierto predominio de pino negro. En el resto de la cuenca dominan las landas y matorrales (arbustos...) en las partes bajas y prados rasos y herbáceos en las partes altas.



Figura 6. Surgencia de Aigüèira: micromorfología de conductos kársticos.

HIDRODINÁMICA

Los hidrogramas de la surgencia de Aigüèira (Figuras 7 y 8) analizados son de morfología más bien alargada y aplanada, con recesiones muy lentas y unas puntas relativamente poco marcadas determinadas sistemáticamente en todos los ciclos por el periodo de máxima fusión de nieve en la primavera (invierno-primavera). En el periodo de 1994 a 1995 el caudal de la surgencia de Aigüèira ha variado entre 0.133 m^3/s y 0.850 m^3/s.



Figura 7. Captación de la surgencia de Aigüèira.

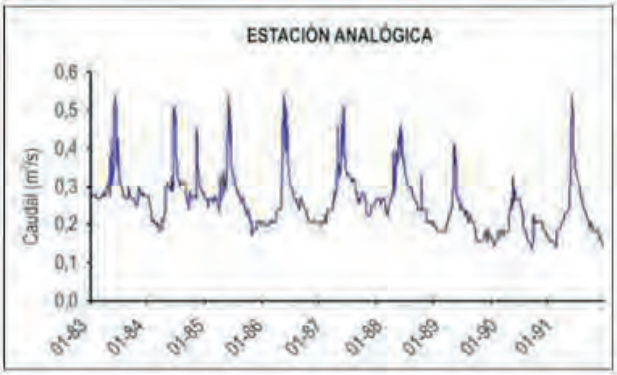


Figura 8. Hidrograma de la surgencia de Aigüèira.

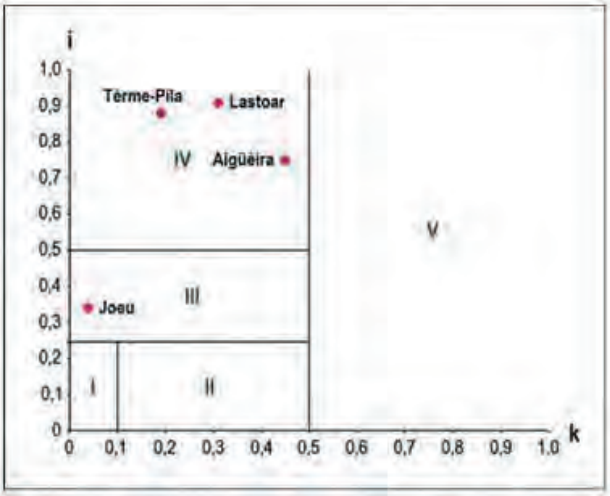


Figura 9. Clasificación de los sistemas kársticos araneses basada en los parámetros "i" y "k" de Mangin (1975).

Son frecuentes los ciclos en que los caudales mínimos estan per encima de 0.2 m^3/s. Una característica importante de su funcionamiento es la reducida variabilitat de su caudal (C.V. = 8.3%). El caudal medio es de 0.264 m^3/s .

El análisis matemático de la curva de recesión permite distinguir entre decrecida y agotamiento. A partir del análisis de la recesión se calcula el volumen de tránsito medio o aportación anual media para un determinado periodo, que es de 8.33 hm^3. Del análisis de las decrecidas que son la expresión de la infiltración en la zona no saturada, se constata la marcada lentitud con que se produce la infiltración. La infiltración lenta es característica y definitoria de la circulación hídrica en la zona no saturada del sistema de Aigüèira, aunque también existe infiltración rápida.

El estudio de los agotamientos indica la existencia de volúmenes dinámicos importantes en todos los ciclos estudiados: de 3.22 hm^3 a 4 hm^3. Además, considerando las condiciones geológicas favorables a que existan reservas profundas, las reservas hídricas totales podrían ser muy importantes.

Los valores de "i" y "k" (Mangin, 1975; Freixes 1986; Freixes 2014, 2020) son respectivamente 0.75 y 0.48, sitúan el sistema de Aigüèira en el dominio de los sistemas kársticos complejos y muy cerca del límite entre los sistema kársticos y los no kársticos (Figura 9); el valor de "i"= 0.75 es un valor muy elevado que indica la importancia de la infiltración lenta en el funcionamiento del sistema y el valor de "k" = 0.48 (relación entre el Vd y el Vt), cerca de 0.5, en el límite de los sistemas no kársticos, que indica que el flujo del sistema es difuso y la considerable importancia de las reservas.

El tratamiento de las series temporales de los distintos ciclos -función de autocorrelación y espectro- indica que el sistema tiene un efecto de memoria considerable de 50 a 75 días y un tiempo de regulación también elevado de 40 a 75 días (Figura 10).

Los correlogramas observan todos un morfología parecida, aunque no están muy bien agrupados.

Los resultados obtenidos indican que se trata de un sistema muy inercial, de elevada memoria y una gran capacidad de regulación.

El sistema, particularmente su zona saturada, tendría una estructura homogénea y fisurada de karstificación incipiente.

Así, el acuífero de Aigüèira, no observa prácticamente karstificación en profundidad, en todo caso observaría un karstificación incipiente o inicial que no introduciría una heterogeneidad de naturaleza propiamente kárstica en el interior del acuífero, al menos en su zona saturada. Es decir, no existirían como sí sucede en el Karst Experimental de Baget (Francia) (Mangin, 1975): a) una primera estructura de drenaje o dren altamente transmisiva y poco capacitiva y, b) una segunda estructura formada por los sistemas anexos (al drenaje), de carácter capacitivo y poco transmisivo; estas estructuras son propias de un acuífero kárstico con cierto grado de evolución e identifican unas estructuras de función transmisiva (Dren o Drenes) y otras, propiamente con una función capacitiva o de almacenaje que definen el reservorio kárstico (Sistemas Anexos al Drenaje, SAD).



Figura 11. Correlograma cruzado (precipitación / caudal) del sistema de Aigüèira (hidrograma unitario).

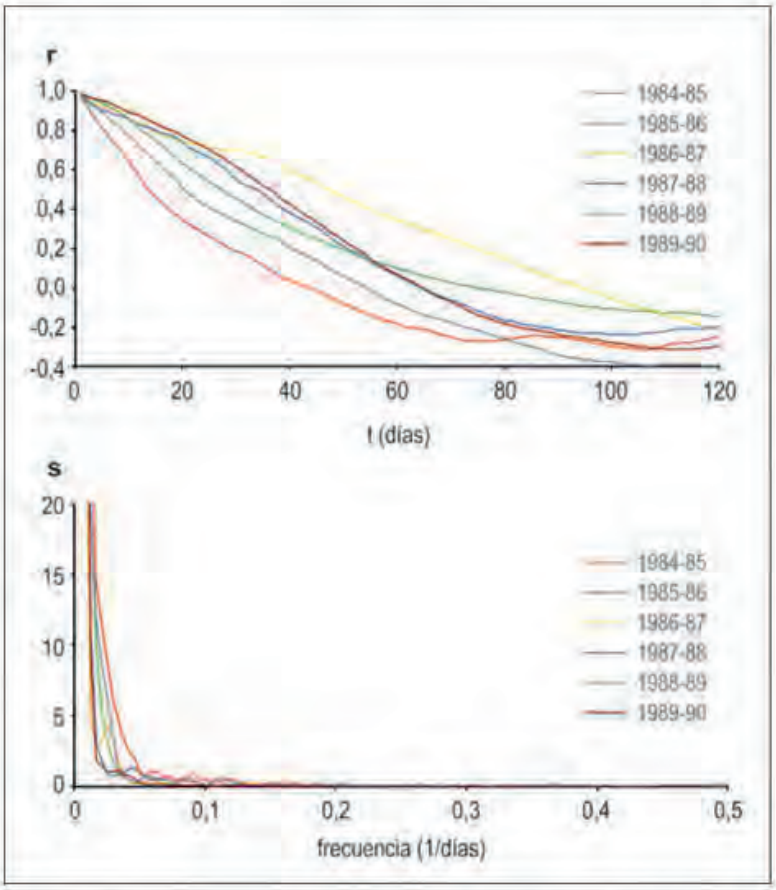


Figura 10. Correlogramas y espectros de sistema de Aigüèira (efecto de memoria y tiempo de regulación).

Los correlogramas y espectros, aportan una interesante información complementaria al análisis de hidrogramas, confirmando la existencia de reservas en un medio de estructura homogénea y sin estructura de drenaje (memoria y regulación) (Figura 10).

El correlograma cruzado o hidrograma unitario (precipitación / caudal) es característico de un sistema con notables reservas (elevada memoria y regulación) y de estructura fisurada i/o de karstificación incipiente de baja permeabilidad y sin estructura de drenaje (Figura 11 y 12)

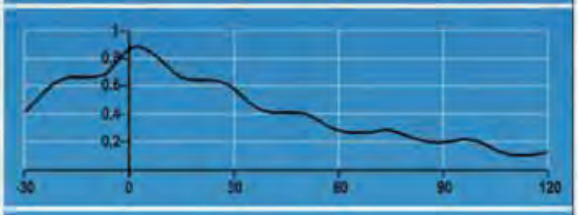
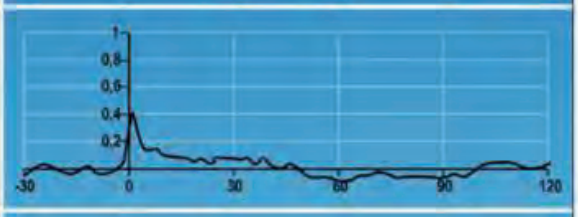
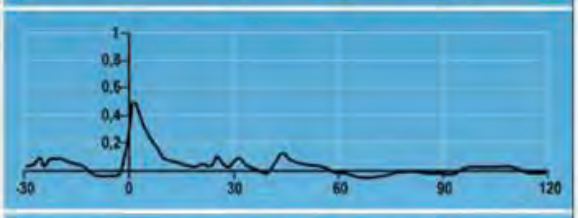
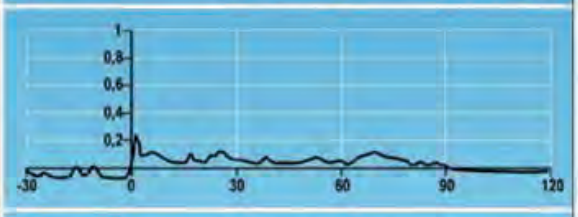
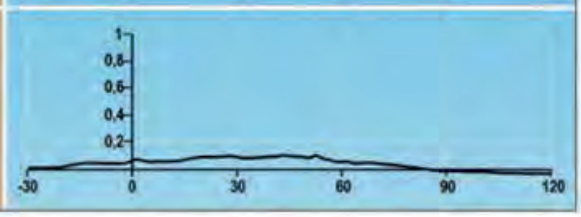
SISTEMA	EFECTO DE MEMORIA (días)	BANDA ESPECTRAL (f de funcionamiento)	TIEMPO DE REGULACIÓN (días)	RESPUESTA IMPULSIONAL (r max)	HIDROGRAMA UNITARIO
UELHS DETH JOEU	57	0,15	50	0,43	
				0,98	
FUENTES DEL BASTARENY	32	0,19	32	0,47	
FUENTES DEL LLOBREGAT	30	0,22	22	0,50	
MOIXERÓ (TUNEL DEL CADI)	47	0,09	40	0,23	
FUENTE DE AIGÜERA	75	0,10	75	0,10	

Figura 12. Correlogramas, espectros e hidrogramas unitarios de los sistemas kársticos araneses y del alto Llobregat.

HIDROGEOTÉRMIA

El estudio de la temperatura de la surgencia de Aigüèira se ha realizado en varios trabajos anteriores (Freixes et al., 1998a; Freixes, 2014, 2020; Monterde et al., 2023).

La temperatura media del periodo 1989-1991 es de 6.82 °C, la máxima es de 6.9 °C y la mínima de 6.3 °C. En el ciclo de 1990 la amplitud absoluta tiene un valor remarcablemente bajo de solamente 0.2 °C.

La evolución de la temperatura en este sistema se caracteriza por una muy baja variabilidad. No obstante, se observa

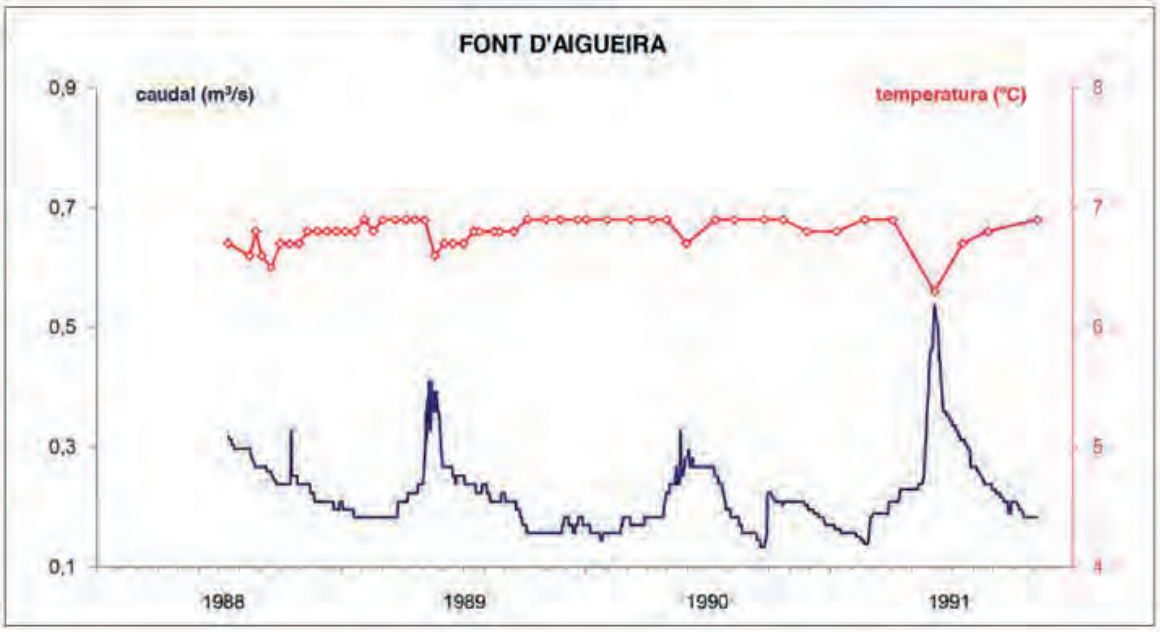


Figura 13. Evolución de la temperatura de la surgencia de Aigüèira en los ciclos hidrológicos de 1991 a 1995.

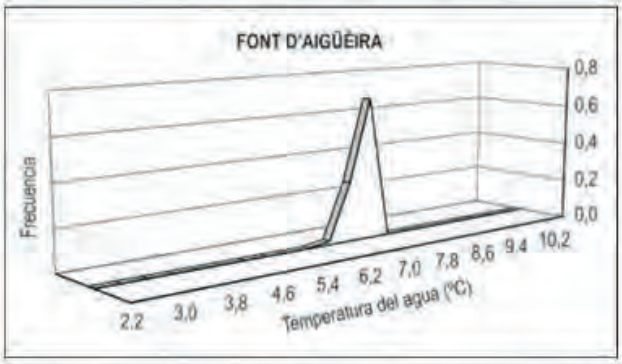


Figura 14. Distribución de las frecuencias de la temperatura de tipo unimodal del sistema de Aigüèira.

bien la influencia del periodo de aguas altas relacionado con la fusión de nieve (crecida estacional) que es comparable al que se observa en los otros sistemas araneses (Freixes, 2014, 2020; Freixes et al., 2015; Cervelló et al., 2023; Monterde et al., 2023) (Figura 13).

La curva de distribución de frecuencias de la temperatura del agua es unimodal y estrecha. Este tipo de distribución identifica un medio hidrogeológico de naturaleza fisurada y de escasa o incipiente karstificación (Bakalowicz, 1979a; Bakalowicz y Mangin, 1980; Freixes, 1986, 2014, 2020; Freixes et al., 1991, 1993, 1996, 1998a, 1998b, 1998c, 2000, 2002; Monterde et al., 2023). (Figura 14).

La alimentación del acuífero tiene un carácter principalmente difuso en el conjunto de la cuenca.

HIDROGEOUÍMICA

La aproximación hidrogeoquimica se ha basado principalmente en los datos de la surgencia de Aigüèira.

La conductividad de la surgencia de Aigüèira presenta un valor medio de 112.6 µS/cm. El máximo es 125 µS/cm y el mínimo de 101 µS/cm. La mineralización tiene un valor medio de 95.8 mg/l. En la surgencia de Aigüèira la correlación entre la conductividad y la mineralización

es relativamente baja: 0.635, y lo mismo sucede entre la conductividad y los bicarbonatos: 0.603. Mientras que la correlación entre la mineralización y el bicarbonato es elevada: 0,974. Por este motivo se utiliza la mineralización como variable regionalizada.

La distribución de frecuencias de la mineralización es unimodal y estrecha (Figura 15). La figura 16 compara las distribuciones de la frecuencia de la mineralización de los distintos sistemas kársticos araneses.

De forma sistemática y ciclo tras ciclo, la conductividad en la surgencia de Aigüèira y también los iones bicarbonato y calcio, augmentan en el periodo de aguas altas que se origina con la fusión de la nieve en la primavera.

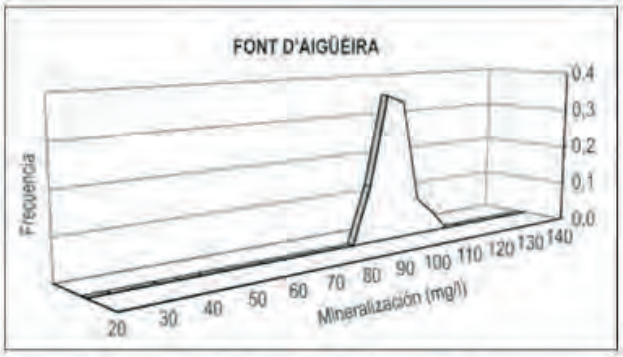


Figura 15. Distribución de las frecuencias de la mineralización de tipo unimodal del sistema kárstico de Aigüèira.

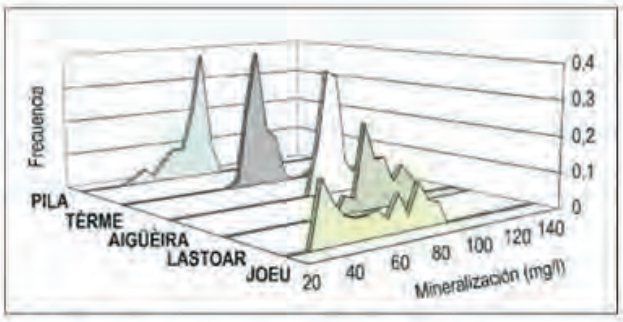


Figura 16. Distribución de las frecuencias de la mineralización de los sistemas kársticos de la val d'Aran: Joeu, Lastoar, Tèrme-Pila y Aigüèira.

Esta evolución de la conductividad (mineralización) es suficientemente explícita como para que sea definida como estacional, sin embargo, la tendencia es completamente opuesta a la observada en los sistemas de Joeu, Lastoar y Tèrme-Pila. Es decir, en la surgencia de Aigüèira les tendencias evolucionan según lo hace el caudal: en la parte ascendente del hidrograma se produce un aumento de la conductividad, alcanzándose la máxima concentración con el máximo de caudal y, en la decrecida, de manera paralela a la disminución del caudal, se observa una disminución de la conductividad (Figura 17).

Las variaciones observadas en los bicarbonatos son también entre límites muy estrechos. El valor medio es 71.39 mg/l, el máximo de 82.4 mg/l y el mínimo de 61 mg/l. La amplitud es de 21.4 mg/l.

En general, las máximas concentraciones están relacionadas con los caudales máximos de les crecidas estacionales (período de aguas altas que caracteriza el ciclo hidrológico) (Figura 17). La correlación entre el caudal y los bicarbonatos (0.596) aunque no es importante, no deja de ser significativa.

La interpretación de la evolución de los bicarbonatos es la misma que se ha realizado para la conductividad y la mineralización.

El calcio, juntamente con el bicarbonato, es el que se presenta en concentraciones más elevadas. La mineralización la determinan estos dos iones.

El valor medio del calcio es 21.71 mg/l, el máximo 25.6 mg/l y el mínimo 20 mg/l. En definitiva, les variaciones del calcio son muy poco importantes, con una amplitud absoluta muy baja, de solamente 5.6 mg/l. Estos datos se refieren al período estudiado de 1988 a 1991.

Las concentraciones de CO_2 en el sistema d'Aigüèira son muy bajas, análogamente a las observadas en los sistemas de Lastoar y Tèrme-Pila, y, como también ocu-

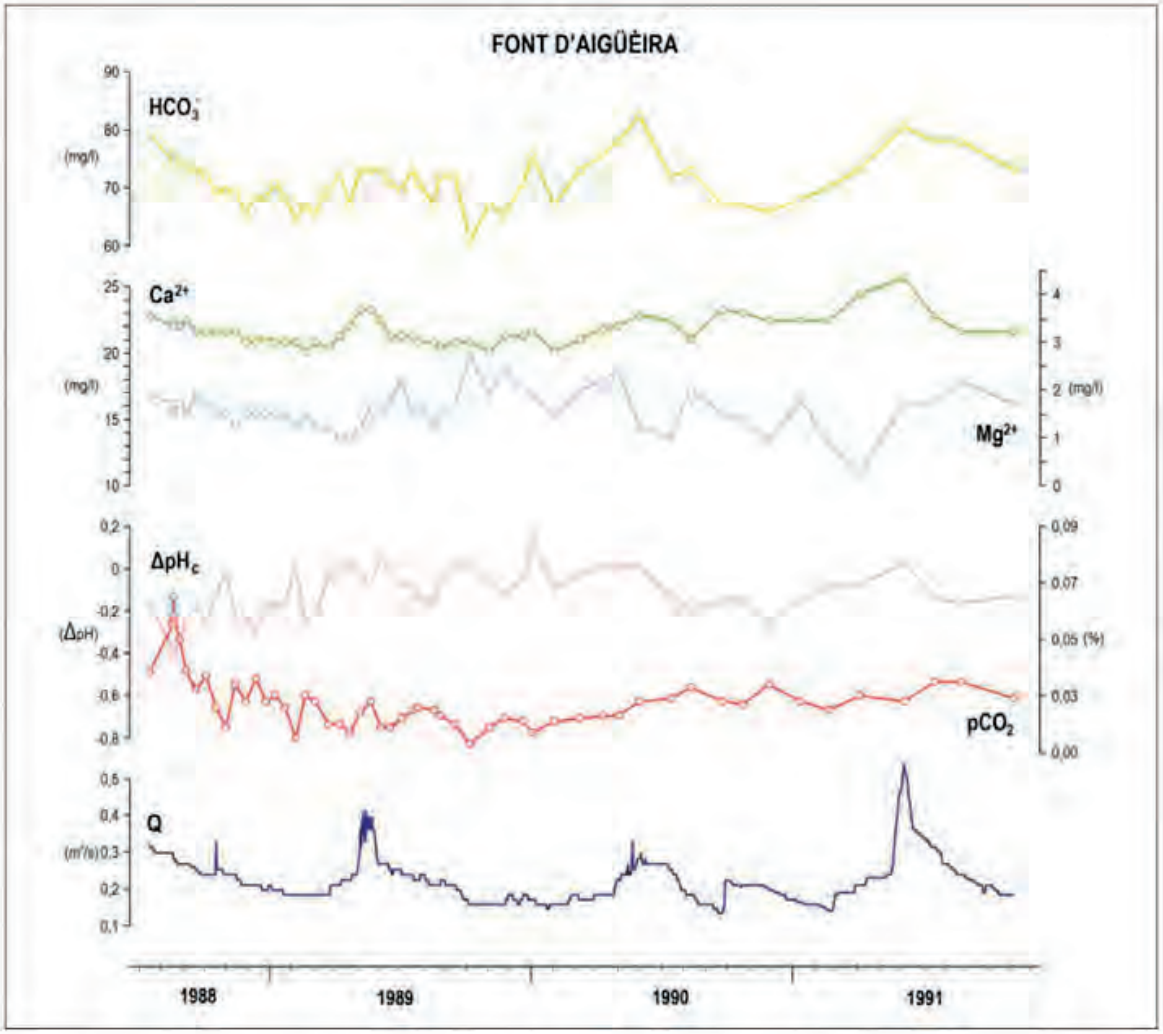


Figura 17. Evolución de las variables del sistema calcocarbónico en el sistema de Aigüèira: caudal (Q), HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, pCO_2 eq y ΔpH.

rre en estos sistemas, son ligeramente superiores a las de Joeu.

El valor medio de la pCO_2 en la surgencia de Aigüèira es 0.029%, el máximo 0.065% y el mínimo 0.013%. La amplitud es 0.052%.

Los valores de la pCO_2 en el período estudiado (de 1988 a 1991) no indican evolución alguna o tendencia definida (Figura 17). La variabilidad es muy estrecha y en concentraciones situadas siempre por debajo de 0.04%, si se exceptúan los valores de verano de 1988 que son un poco más elevados. No se observa en ningún ciclo la evolución estacional (propia del periodo de aguas altas) de los otros sistemas araneses.

El ΔpH presenta unas características y una evolución distinta de los otros sistemas araneses. En efectos, los límites de variación son muy estrechos y no se observa en ningún ciclo la evolución estacional (período de aguas altas) que caracteriza a los Uehs deth Joeu, Lastoar, Tèrme y la Pila.

El valor medio es -0.13, el máximo 0.13 y el mínimo -0.42. La amplitud es 0.55.

La evolución del ΔpH es en general, entre -0.3 y valores situados prácticamente

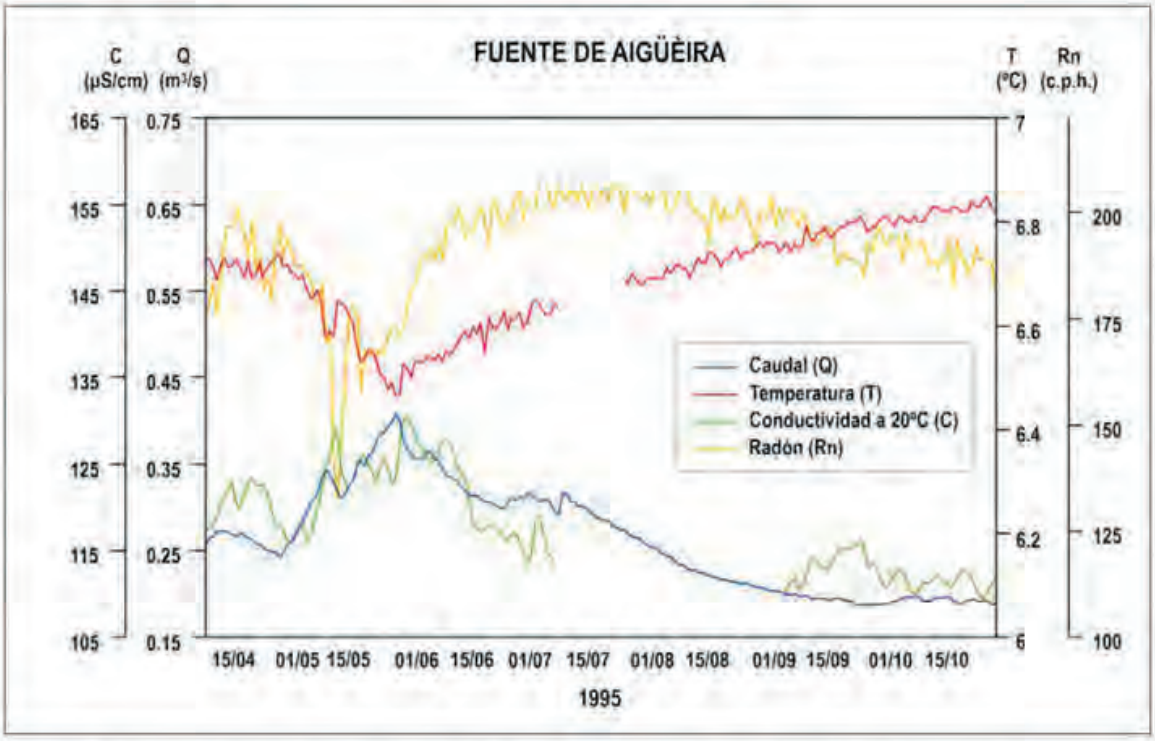


Figura 18. Episodio de crecida en la surgencia de Aigüèira originada por la fusión del manto nival. Evolución de las variables caudal, conductividad, temperatura y radón (ciclo hidrológico de 1995).

en el equilibrio (alrededor de -0.1) (Figura 17). En el caso de Aigüèira los valores están claramente en equilibrio, situación que no ocurría de forma explícita en ninguno de los otros sistemas araneses. Excepcionalmente aparece un valor ligeramente sobresaturado (0.13); este valor también es excepcional en el contexto de los valores de ΔpH medidos en los distintos sistemas araneses.

En relación con el ΔpH es interesante señalar que, en situación de aguas altas, en la crecida estacional o, incluso, en crecidas originadas por episodios de precipitación líquida, las aguas están siempre poco infrasaturadas o en equilibrio químico.

En el sistema kárstico de Aigüèira, ciclo tras ciclo, se origina una crecida de tipo estacional que caracteriza el hidrograma del sistema (Freixes, 2014 y 2020). En este sistema las crecidas originadas por episodios de lluvia líquida son excepcionales. A continuación, se analizan les respuestas del caudal (Q), conductivitat (C), temperatura (T) y radón (Rn) de la crecida del período de primavera-verano (ciclo hidrológico de 1995) (Figura 18). La fusión de la nieve determina una crecida que se desarrolla del mes de mayo a los meses de julio-agosto. El caudal aumenta de 0.25 m^3/s a 0.4 m^3/s. El aumento del caudal también implica un aumento de la conductividad que pasa de 115 µS/cm a 130 µS/cm. En la rama ascendente del hidrograma hay una primera punta de caudal (que coincide, con una diferencia de pocos días, con el mínimo de radón -muy bien definido- más marcado de todo el episodio y una punta bien marcada de conductividad), la siguiente ya corresponde al caudal máximo del episodio con 0,4 m^3/s. La temperatura experimenta una disminución de 0.28 °C y el mínimo de temperatura coincide con el caudal máximo de la crecida. La concentración de radón (Rn) disminuye a lo largo de la crecida (de 200 c.p.h. a 135

c.p.h.) y observa un mínimo muy marcado en la misma rama ascendente de la crecida y aproximadamente unos 15 días antes del máximo de caudal. El radón a partir de este mínimo tan marcado presenta un segundo mínimo y a partir de la concentración aumenta rápidamente hasta alcanzar los valores anteriores a la crecida. Tiene particular interés remarcar que el augmento de caudal siempre supone un aumento de la conductividad (mineralización) que además experimenta variaciones significativas durante la crecida. En Aigüèira que la conductividad aumente al aumentar el caudal es característico de todos los ciclos hidrológicos (Figura 18), de hecho es la expresión hidrogeoquímica (aumentos de HCO_3^- y Ca^{2+}) de les crecidas estacionales de este sistema. Todo parece indicar que la fusión de nieve origina en la zona no saturada predominantemente aguas de infiltración lenta que aportan CO_2 y en un grado cuantitativamente muy inferior aguas de infiltración rápida que se incorporan definitivamente a la zona saturada y son las responsables del aumento de la mineralización por disolución. Este proceso se origina a partir de la fusión del manto nival, que tiene un desarrollo muy importante en la Muntanya de Vaquèira: de la surgencia de Aigüèira situada a 1440 m al Tuc dera Lança, situado a 2658 m el manto nival es un continuo con espesores que pueden ser superiores a los 5 m. Las aguas de infiltración más frías en tránsito por la zona no saturada y después por la saturada explican la disminución de la temperatura de la surgencia en 0.28 °C. Les aguas de infiltración determinan per dilución la disminución del radón: las concentraciones iniciales de radón son más elevadas que las medidas durante la crecida y se explican por los largos tiempos de contacto con las rocas que constituyen el encajante (mineralizaciones de Uranio...) que transfiere el radón a las aguas de la zona saturada y, finalmente, a la surgencia de Aigüèira (Morin, 1992, 1995; Freixes et al., 1996; Freixes 2014, 2020; Monterde et al., 2023).

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LA SURGÉNCIA DE AIGÜÈIRA (ACP)

El ACP de la surgencia de Aigüèira se ha realizado con 71 muestras que corresponden al período que va de julio de 1988 a diciembre de 1993. Se trata de los datos de casi seis ciclos hidrológicos que se han analizado para la variables siguientes: caudal (Q), temperatura (T), bicarbonato (TAC), $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (TH), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), cloruro (Cl^-), sodio (Na^+), potasio (K^+), pCO_2, pH y ΔpH (Figuras 19 y 20).

Espacio de las variables (Figura 19):

En la Font d'Aigüèira el factor I explica el 32% de la varianza total y sitúa en un extremo el caudal, el TAC, el TH y el calcio. El factor II, con un 22% de la variabilidad explicada opone el pH y el ΔpH a la pCO_2. En el factor III, con un 11% de contribución a la varianza total, no hay ninguna variable que este bien definida. El factor IV, que contribuye en un 9% a la variabilidad, está definido por el magnesio.

De hecho, los resultados más claros los expresan los dos primeros ejes principales, así la discusión se centra en el plano factorial I-II.

La asociación entre mineralización y caudal parece indicar que en aguas altas se ha de incorporar una cantidad importante de CO_2 almacenado en el suelo (o bien, en otras partes del epikarst...), que facilitaría la disolución de les carbonatos y originaría un augmento de la mineralización; en situación de crecida y de caudales elevados –crecida estacional– el tiempo de tránsito al sistema de Aigüèira disminuye y la incorporación de aguas más frías determina la disminución de la temperatura en la surgencia. Así el factor I es el factor mineralización, es decir, el que indica el tiempo que tarda el agua en adquirir una mineralización determinada. En este caso, sin embargo, hay una

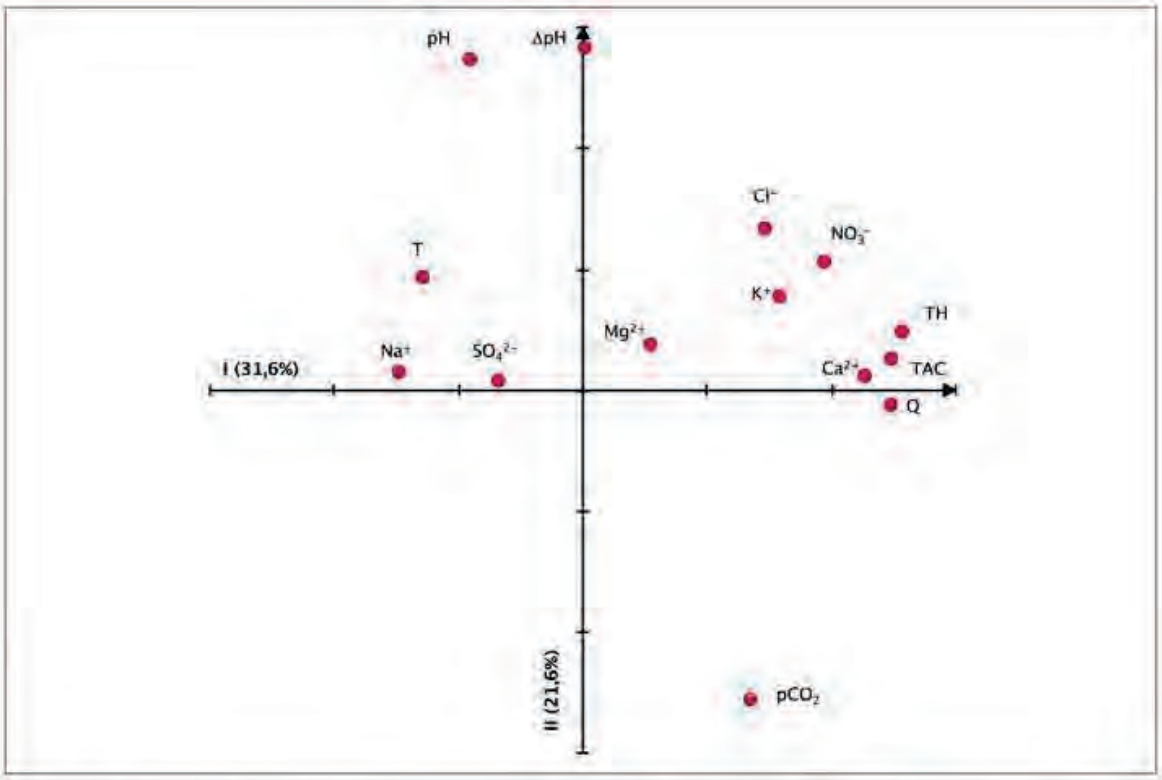


Figura 19. Análisis de Componentes Principales de la surgencia de Aigüèira (ACP). Espacio de las variables.

elevada correlación entre el caudal y los iones bicarbonato y calcio, que constituyen la parte más importante de la mineralización: esta situación se ha de interpretar a partir de una implicación progresiva y, más o menos simultánea del CO_2 en el conjunto de la cuenca. Esta situación, que refleja muy bien el ACP de Aigüèira (realizado con una importante cantidad de datos, casi seis cicles hidrológicos) y los gráficos de evolución del caudal y la mineralización (bicarbonato, calcio y magnesio) (Figura 19) es única en los sistemas hidrogeológicos carbonáticos o kársticos de la Val de Aran. En este sentido es interesante recordar el esquema del sistema de Aigüèira, que es básicamente monario: las rocas carbonáticas presentan afloramientos sin solución de continuidad desde les partes más bajas (fuentes de Aigüèira y de Ruda) a les más elevadas (tuc dera Lança, 2658 m). Asimismo, el manto nival, que adquiere un desarrollo muy importante en el tiempo: otoño, invierno y primavera, y en el espacio: recubre los afloramientos carbonáticos que van de la parte más baja a la más alta del sistema. Estas consideraciones dan aún más significación y sentido a les explicaciones que se han aportado sobre el factor I.

La elevada correlación negativa entre la pCO_2 y ΔpH (factor II) indica la existencia de unas condiciones favorables al intercambio entre les fases gaseosa y líquida. Estas condiciones están en relación con el funcionamiento del sistema, sobre todo si se considera que hay un predominio de la circulación lenta en el acuífero y, particularmente, un papel muy importante de la infiltración lenta (y la difusión) cómo característica general del sistema.

La evolución ciclo a ciclo (del 1988 al 1991) de la pCO_2 y de ΔpH (Figura 19) en el que todo augmento de cabal, determina un aumento del CO_2 en disolución (pCO_2) y que los valores del ΔpH, sean menos infrasaturados, es decir, más cerca del equilibrio indica la marcada

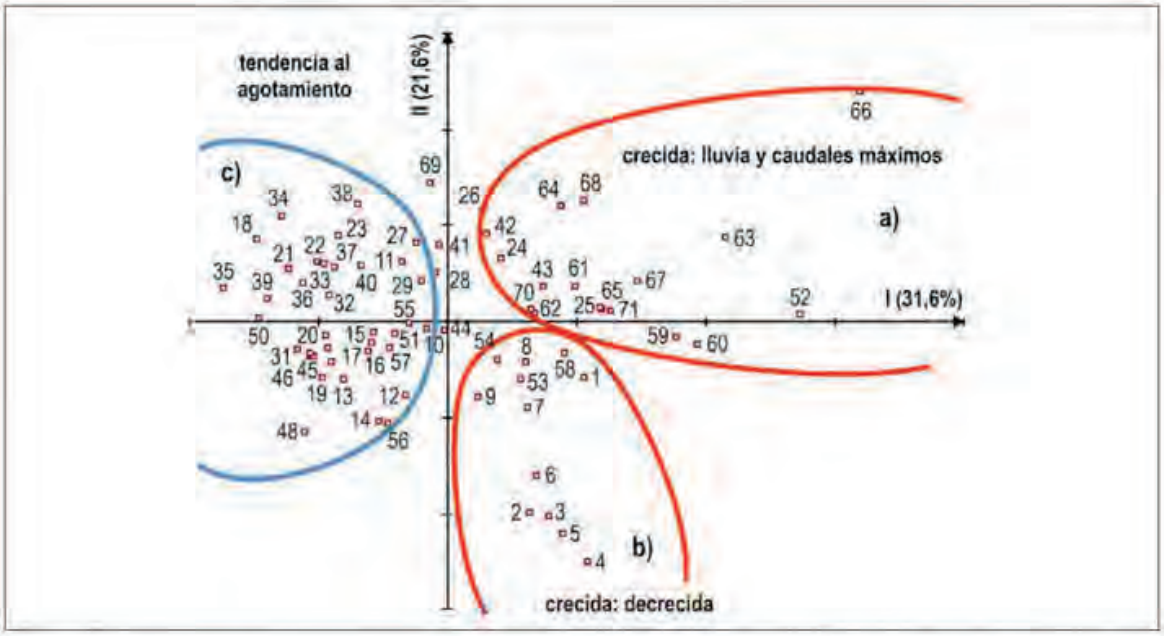


Figura 20. Análisis de Componentes Principales de la surgencia de Aigüèira (ACP). Espacio de las unidades estadísticas.

influencia de la infiltración lenta en los procesos que caracterizan la circulación hídrica del sistema.

Espacio de les unidades estadísticas (Figura 20):

El ACP caracteriza tres tipos o familias de agua: rama ascendente (y máximo de crecida), decrecida y agotamiento (tendencia al agotamiento) que no aparecen demasiado bien definidas; no obstante, el análisis discriminante realizado, que no explicaremos, si que establece bien los tres tipos o grupos de agua.

Las aguas de la rama ascendente de la crecida (y máximo de crecida):

- augmento del caudal como consecuencia de las aportaciones provenientes de la fusión del manto nival.
- augmento de la mineralización, augmento de la pCO_2 y disminución del ΔpH. El agua proviene de la fusión de la nieve y, por tanto, originariamente tiene escaso CO_2 y poca mineralización. No obstante, el augmento de la pCO_2 hace suponer que el agua, al infiltrarse, incorpora CO_2 a partir de un sistema de producción y de almacenaje como pueda ser el suelo (o el epikarst, en general). Se observa una infrasaturación del agua más marcada y, por tanto, augmenta su capacidad de disolución y de incrementar su mineralización. Además, en el agotamiento, en situación de vaciado de las reservas de la zona saturada, las concentraciones de CO_2 son más bajas; esto también indica que el origen del augmento de CO_2 se encuentra en la parte superficial del karst (suelos del epikarst).
- disminución de la temperatura por incorporación de aguas más frias que provienen de la fusión del manto nival.

Este también es un argumento favorable para situar el origen del CO_2 en la parte superficial del karst.

- augmento de nitrato que se incorpora en les aguas de infiltración, que realizan una efectiva lixiviación del situado en el epikarst.

Las aguas de la decrecida:

- disminución del ΔpH y augmento de la CO_2: las aguas de la decrecida también provienen de la fusión del manto nival. A medida que avanza la fusión de la nieve en la primavera también aumenta la productividad del CO_2 en el suelo. Así las aguas de infiltración pueden incorporar concentraciones más elevadas de CO_2.
- disminución de los iones cloruro y nitrato: el lixiviado de los suelos de la rama ascendente del hidrograma y punta o puntas de crecida, experimenta, en decrecida, un descenso de estos iones.

Las aguas de agotamiento (tendencia al agotamiento):

- evolución hacia las aguas menos mineralizadas del ciclo hidrológico: esto se observa bien en todos los ciclos estudiados y en las variables de la mineralización: HCO_3^-, Ca^{2+} y Mg^{2+}.
- concentraciones bajas en CO_2.
- en la transición hacia el período de crecida estacional se produce la evolución hacia las aguas más frías del ciclo hidrológico. Mínimos de temperatura coinciden con los caudales más elevados (inicio de la fusión del manto nival y de la recarga del acuífero).

MODELO CONCEPTUAL

En el enfoque metodológico aplicado a la investigación del karst aranés, la perspectiva sistémica, hidrológica y experimental ha sido fundamental (Walliser, 1977; Humbert, 1979). En efecto, la aproximación hidrológica e interdisciplinaria ha contribuido a conocer y profundizar en las características del funcionamiento y la estructura de los sistemas (Kline, 1995). La hidrodinámica, la hidrogeotèrmia y la hidrogeoquímica han llevado a establecer modelos conceptuales y esquemas realistas de interés para cada sistema (Andrieux, 1978; Bakalowicz, 1979a, 1979b, 1994 y 1995; Bakalowicz y Mangin, 1980; Rouch, 1978; Mangin, 1975, 1977, 1978, 1982, 1994). El estudio de los distintos sistemas: Joeu, Lastoar, Tèrme-Pila y Aigüèira ha puesto de relieve que se trata de sistemas de funcionamiento y estructura contrastadas en un contexto común como es la val d'Aran. Las características propias de cada sistema se hacen más evidentes cuando se analiza el potencial de karstificación y se elabora su modelo conceptual (Freixes, 2014, 2020) (Figura 12).

En el sistema de Aigüèira, las variables: caudal (Q), temperatura (T), conductividad (C) y/o mineralización (M); HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, pCO_2 y ΔpH utilizadas desde las distintas aproximaciones hidrológicas: hidrodinámica, hidrogeotèrmia e hidrogeoquímica observan una muy baja variabilidad (Figuras 18).Aigüèira es el único ejemplo entre los sistemas kársticos araneses estudiados que observa esta baja variabilidad en las variables de las distintas aproximaciones o disciplinas. La variabilidad en los sistemas de Uelhs deth Joeu, Lastoar y Tèrme-Pila es significativamente superior y, en general, se relaciona con una mayor karstificación.

La única descarga comparable con la surgencia de Aigüèira es la resurgencia de Tèrme, y aun así la variabilidad de Tèrme es superior a la de Aigüèira. La resurgencia de Tèrme forma parte del sistema Tèrme-Pila, y constituye la descarga situada más aguas abajo del sistema y la que expresa una karstificación menor en relación a la más desarrollada que existe en la parte de aguas arriba, cómo explicita muy bien la información aportada por la resurgencia de La Pila (Mangin, 1975; Freixes et al.,1991, 1993, 1996, 1998a, 1998b, 1998c, 1999, 2015; Freixes, 2014, 2020; Cervelló y Freixes, 1992; Cervelló, et al. 2023; Monterde et al., 2023).

El sistema de Aigüèira además de la limitada variabilidad observada en el caudal, la temperatura, la conductividad o mineralización y las variables del equilibrio calcocarbónico, tiene la clasificación hidrodinámica "i" y "k" en el limite de los sistemas kársticos y no kársticos, presenta las distribuciones de frecuencia de la temperatura y mineralización de tipo unimodal, correlogramas y espectros propios de un sistema de elevada memoria y tiempo de regulación, y, un correlograma cruzado que indica la importancia de las reservas dinámicas (4 hm^3), el efecto de memoria y la importancia de la infiltración lenta y de la circulación lenta (flujo predominantemente difuso) permiten afirmar que se tracta de un karst de limitada karstificación en su zona saturada y un flujo propio de un medio homogéneo de tipo difuso y ausencia de drenaje. Así, se resume el conocimiento experimental de la hidrologia del sistema de Aigüèira (Figura 21) (Mangin, 1975, Bakalowicz, 1979, Bayó, 1992, Freixes, 2014, 2020).

La explicación de por qué existe karstificación en la parte superficial del carst y no en la profunda, es relativamente simple. Aigüèira es el único sistema de los investigados de forma intensiva en Aran que presenta un esquema de tipo monario. Este esquema limita la entrada masiva de agua al sistema: zona no saturada y saturada, y en consecuencia apenas existe infiltración rápida en pérdidas y escorrentia subterránea, mientras que el predominio de la infiltración lenta caracteriza el funcionamiento del sistema (ACP Aigüèira).

En Aigüèira, aunque existen algunas pérdidas estas tienen escasa entidad; los caudales no son importantes como sí sucede en las pérdidas de los sistemas de Joeu, Lastoar y Tèrme-Pila. Aigüèira es un sistema monario y no existen condiciones hidrodinámicas para que los procesos de disolución del epikarst se desplacen y desarrollen en profundidad.

En el karst aranés los sistemas que presentan karstificación en profundidad (zona no saturada y saturada) y un endocarst importante en sus zonas no saturada y saturada son binarios (Joeu, Lastoar y Tèrme-Pila), mientras que el único ejemplo que no presenta karstificación en profundidad es el de Aigüèira que es monario (Freixes, 2104, 2020; Monterde et al. 2023).



Figura 21. Modelo conceptual del sistema kárstico de Aigüèira.

CONSIDERACIONES FINALES

La surgencia de Aigüèira observa una excelente calidad de agua y desde hace varias dècadas facilita agua aTredòs (35.390 m3/año), al conjunto de las poblaciones de Salardú y Unha (101.000 m³/año), y también a la población de Gessa (23.550 m³/año). Más recientemente, el año 2007, la captación se ha utilizado también en el abastecimiento de emergencia del núcleo urbanizado de Baquèira, cuando el nivel de turbidez o el caudal de sus captaciones superficiales, no garantiza la correcta calidad del abastecimiento. No obstante, hay que introducir algunas consideraciones relativas a la calidad del agua del sistema de Aigüèira ya que temporalmente la surgencia presenta puntas de arsénico con valores superiores a las 10 ppb, es decir, por encima de la norma sanitaria. Estas concentraciones no normativas se diluyen con aguas que no presentan arsénico en su composición.

La captación de los recursos hídricos de la zona inundada de estructura fisurada y karstificación incipiente, pero homogénea, de baja permeabilidad y flujo difuso del sistema de Aigüèira se debe concretar con galerías o bien con captaciones verticales; no obstante, en este sistema, aunque su estructura homogénea facilita la explotación, previamente a la realización de captaciones es necesario un estudio geológico e hidrogeológico en profundidad que contribuya a controlar la complejidad de la estructura geológica y a disponer de las características hidráulicas del reservorio.

La gestión sostenible de los recursos hídricos también exige iniciativas para su protección de posibles episodios de contaminación. Los trabajos de cartografía hidrogeológica y de cartografía de riesgos realizados por Monterde (1998a y 1998b), han tenido esta orientación. También se refieren determinados episodios de contaminación y la necesitad de protección de las aguas subterráneas, particularmente en el ejemplo de Aigüèira por sus características hidrodinámicas y la importancia de sus reservas dinámicas en los trabajos de Freixes et al., (1996) y Freixes (2014, 2020); en la gestión sostenible de las aguas subterráneas se debe citar a Marsily (1996); Bakalowicz y Plagnes (1998) y Bakalowicz (2005); y en los estudios de contaminación tienen interés las aportaciones de Milanovic (2004) y Kresic (2013).

Finalmente, el seguimiento hidrológico del sistema es importante con el objetivo de conocer la incidencia de los nuevos escenarios que introduce el cambio climático (Freixes, 2014, 2020; Cervelló et al., 2023).

PARADA 3. SISTEMA HIDROTERMAL D'ARTIES (Josep Maria Màsich)

Las aguas termales es un recurso geológico natural cuya investigación y aprovechamiento se encuentra regulado por la vigente legislación de minas, Ley de Minas (1973) y el Reglamento de la ley de Minas (1978). El Estado es el titular del recurso aguas termales y su aprovechamiento puede realizar directamente el Estado o bien ceder su explotación en las condiciones establecidas en la legislación.

Las aguas termales son un recurso geológico de la sección B, según la clasificación de los recursos minero – geológicos de la ley de Minas. Son aguas termales, las aguas cuya temperatura, en el punto de surgencia supera los 4ºC a la temperatura media atmosférica anual, siempre que, en casos de usos industriales, la producción de energía calorífica sea inferior a las quinientas termias por hora. El origen de las aguas termales es debido al calentamiento, a diferentes profundidades, de las aguas de infiltración de las precipitaciones (lluvia y nieve). El calor necesario para su calentamiento es subministrado por el flujo calorífico normal emitido desde el interior del Planeta. No obstante, existen algunos puntos del interior del Planeta, donde el flujo calorífico es superior al flujo normal, debido su estructura, que aporta mayor energía, elevando la temperatura de las aguas subterráneas circulantes a valores muy superiores a los valores del flujo calorífico normal.

El origen y la generación de un sistema termal se basa en la infiltración de las aguas de precipitación (lluvia y nieve) en cotas elevadas con un substrato constituido por materiales permeables que por gravedad circula lentamente hacia el interior de un macizo geológico constituido, mayoritariamente, por rocas ígneas (granitos, granodioritas) **(*)** o metamórficas (gneis) A medida que el agua desciende, va aumentado su temperatura y mineralización (por aumento de la energía calorífica y de la presión), alcanzando los valores máximos en el emplazamiento de donde se genera el yacimiento geotérmico. La profundidad donde se sitúa el yacimiento geotérmico es función de la presión y la temperatura reinantes en el subsuelo.

Las surgencias termales de los Pirineos se hallan directamente relacionadas con los macizos graníticos y granodioríticos y los macizos de gneis. El sistema de fracturación que presentan dichos macizos permite la infiltración, por gravedad, de las aguas precipitadas (lluvia y nieve) a lo largo de toda su superficie aflorante que, al infiltrarse, aunque muy lentamente, pueden alcanzar grandes profundidades debido a las profundas raíces de las masas de granito y granodiorita (macizos de La Maladeta, Andorra-MontLouis, Cauterets,…y gneis (macizo del Ganigó). A grandes profundidades de dichos macizos, se genera el yacimiento geotérmico, con una temperatura y mineralización de sus aguas característica de cada emplazamiento, debido al flujo calorífico y a la presión de la zona.

(*) *al final de la guía pueden consultarse los principios básicos de estos tipos de rocas y de su formación.*

El agua termal generada en el yacimiento geotermal asciende hacia la superficie por procesos hidrodinámicos, aprovechando las fracturas de la zona limítrofe de dichos macizos de rocas ígneas y metamórficas con las rocas encajantes o bien a través de algún sistema de fracturación que afecta a dichos macizos. (Dorres en Francia, Les Escaldes en Andorra, Panticosa en Huesca).

La mayoría de las surgencias termales de los Pirineos presentan un modelo de funcionamiento hidrogeológico de "fondo de valle", generadas a favor de líneas de fractura importantes, sobre las que se desarrolla el sistema termal principal, y ramificándose en las proximidades de la superficie a favor de la red de fracturas secundarias que da lugar a diversas surgencias que pueden presentar gran diversidad de temperatura.

Las manifestaciones termales de Arties se hallan directamente relacionadas con el batolito granítico de Arties, macizo satélite del extenso batolito granodiorítico de La Maladeta, cuya edad es post-hercínica y que se estima se emplazó hace unos 277 millones de años. El macizo de Arties se extiende al norte de dicho batolito mediante una franja de materiales muy fracturados del Silúrico, Devónico y Carbonífero, en el sector de l'estanho d'Escunhau y arriu Valarties; mientras que el valle de l'arriu d'Aiguamòg, el contacto con las granodioritas del macizo de La Maladeta es directo (figura 3.1, 3.2 y 3.3).

El batolito de Arties se encuentra afectado por un sistema de fracturación

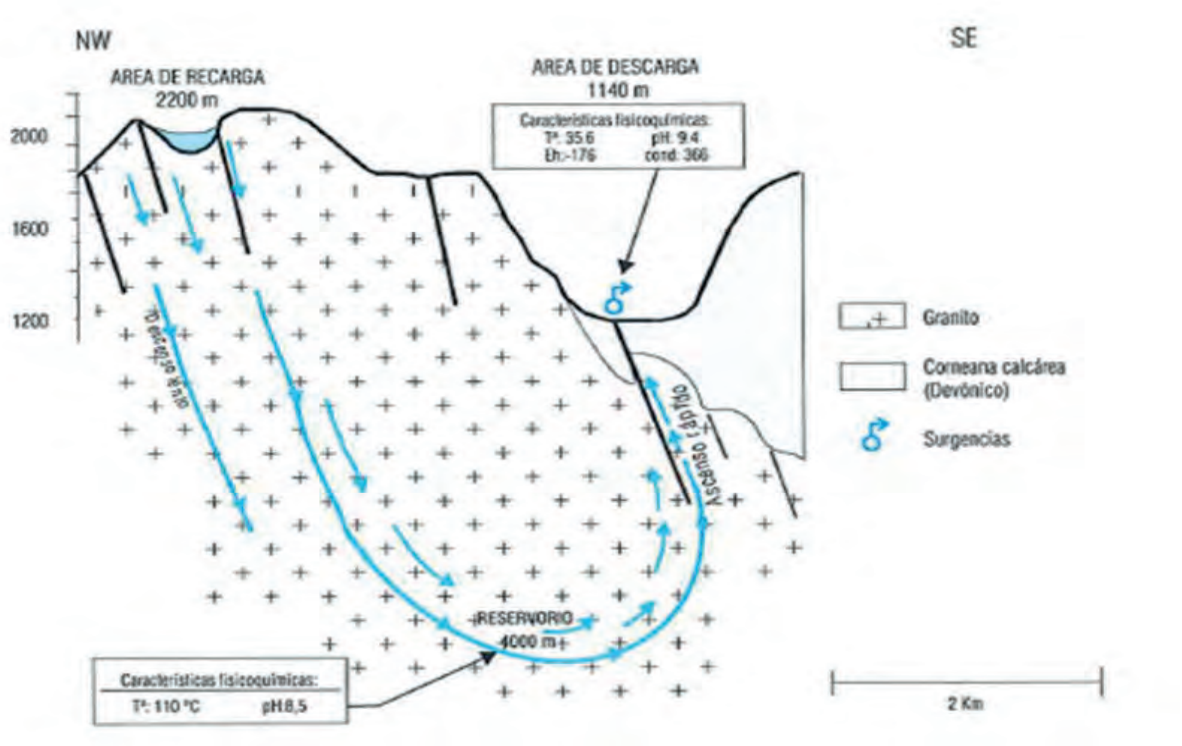


Figura 3.1. Esquema de funcionamiento del sistema hidrotermal de Arties (de Buil-Gutierrez et al., 2002)

Alpina formada por dos familias de fracturas, una de dirección NE-SW y la otra de dirección NW-SE; siendo la fractura más extensa la falla de Valarties que se extiende hasta la zona surgencia de las aguas termales, afectando también a los materiales encanjantes del macizo formados por pizarras y mármoles del Devónico. Dichos mármoles que se extienden hacia al norte, constituyendo la base de l'arriu Garona. A más a más, podemos observar un segundo sistema de fracturación que presenta una dirección E-W y N100E.

Los mármoles del Devónico se han originado por metamorfismo de contacto debido a la intrusión del batolito de Arties.

Las surgencias de aguas termales de Arties se localizan unos 500 metros al oeste del núcleo de Arties, justo en la base del macizo de Arties. Facilita la surgencia de las aguas termales la intersección de la falla del Garona de dirección E-W que transcurre paralela al al río Garona con la falla N-S que afecta al granito de Arties, afectando también a las pizarras y mármoles del Devónico.
Los datos bibliográficos sobre concentraciones de isótopos estables ^{18}O y ^{2}H (IGME, 1983; SGC-GC, 1990; P.I. GEOVAL-III, 2007) y basándonos en estudios realizados en los Pirineos Centrales Franceses por Chevalier-Lemire et al. (1990), Criaud y Vuataz (1984), Vuataz et al. (1985) y Iundt y Soulé (1986), nos indican que la zona de recarga del sistema termal de Arties se localizaría en el entorno del área comprendida entre el pico Malh des Vivèrs (2.154 m.s.n.m.) y el pico Roquetes Altes (2.205 m.s.n.m.), dentro del macizo batolítico de Arties, facilitando la infiltración del agua la red de fracturación existente. La falla más extensa que afecta a las pizarras y mármoles de Devónico que afloran en el límite norte del macizo con una dirección N-S y que transcurre paralela a arriu Valarties sería la responsable desarrollar el sistema termal en profundidad.

Las concentraciones de tritio (^{3}H) determinadas en las aguas del manantial termal presentan unos valores que nos indican que son aguas anteriores a las pruebas nucleares (anteriores a 1953), con nulas o bien con muy pequeñas mezclas con aguas frías de procedencia más superficial. Los valores de referencia son: 2,1 +/- 3,8 UT (IGME, 1983).

Buil-Gutierrez et al. (2002) determinó el tiempo de residencia de las aguas en diversos sistemas geotermales de los Pirineos, a partir del isótopo inestable ^{14}C. Los resultados obtenidos nos indican que las aguas termales del sistema geotermal de Arties presentan un tiempo de residencia del entorno de los 11.000 años.

La temperatura de las aguas termales disminuye durante su ascenso hacia la superficie desde el yacimiento geotermal donde se han generado, debido a su mezcla con aguas superficiales frías y/o al contacto con rocas a menor profundidad. La solubilidad de las substancias varía con la temperatura, de tal forma que los equilibrios existentes entre el agua y la roca son muy diferentes en aguas frías y en aguas de elevada temperatura, aún que se hallen en contacto con el mismo

tipo de roca. En las aguas termales existen compuestos o relaciones entre compuestos que presentan variaciones lineales de su concentración para un rango de temperaturas, siempre que se haya establecido el equilibrio, cuyas concentraciones son utilizadas como geotermómetros que nos pueden indicar, de forma aproximada, la temperatura máxima que alcanzó el agua en el yacimiento termal donde se generó. Así, conociendo el gradiente geotérmico regional de la zona es posible determinar la profundidad que alcanzó el agua termal en su recorrido. Los geotermómetros utilizados son: el SiO_2 para temperaturas menores a 200ºC., mientras que la relación rNa/rK para temperaturas comprendidas entre los 160ºC. y los 300ºC., siempre y cuando el valor de dicha relación se mantenga entre 20 y 8. Los tres elementos provienen de la meteorización de los granitos – granodiorita. Buil-Gutierrez et al. (2002) basándose en los geotermómetros equilibrio SiO_2-cuarzo y la relación Na/K , a partir de los datos termodinámicos para la albita y el feldespato potásico (Michard, 1983) determinó que la temperatura del agua en el yacimiento geotermal alcanzó los 110ºC.

Las aguas de es banhs de Arties son de naturaleza bicarbonatadas – cloruradas/sulfatadas sódicas, de baja mineralización, con conductividades que oscilan entre los 300 – 350 uS/cm. a 20ºC. La concentración de SiO_2 es elevada, entre 67-72 ppm, como en todos los manantiales termales que emergen a lo largo de los Pirineos y que se hallan asociados a los macizos de rocas ígneas (granitos y/o granodioritas y gneis). Las aguas son básicas con pH de 9,5 y elevadas concentraciones de $CO_3^=$ que pueden alcanzar concentraciones de 9,3 ppm. El sodio es el catión predominante, con valores que pueden oscilar entre 59 y 68 ppm, concentraciones superiores a la concentración total del sumatorio del resto de cationes: calcio, magnesio y potasio. Las concentraciones de F^- pueden oscilar entre 6 y 7 ppm, siendo las aguas termales de los Pirineos donde presentan los mayores valores.

La composición química de los manantiales termales de Arties, como en el resto de las aguas termales de los Pirineos, nos indica que presentan una circulación i equilibrio con los materiales graníticos, sin prácticamente influencia de los materiales paleozoicos encajantes (esquistos, calizas...) de los batolitos graníticos.

Una de las características de las aguas termales de los Pirineos es que presentan un fuerte olor, en el punto de surgencia, a materia orgánica (huevos podridos), debido a la presencia de ácido sulfhídrico disuelto (H_2S), producto de los procesos de alteración por la acción microbiológica en ambientes reductores de las piritas (FeS_2) presentes en el granito-granodiorita o bien en sus rocas encajantes, las calizas o esquistos.

Las aguas termales de Arties, como la mayoría de las aguas termales sulfurosas de los Pirineos presentan, en los puntos de surgencia, unas masas filamentosas y gelatinosas de color blanquecino formadas por las sulfobacterias y algas cianofíceas capaces de vivir en medios sulfurosos, que se denominan barégine. La barégina

fue descrita por primera vez en las fuentes termales de BARÈGES (Pirineos franceses) y presentan unas propiedades antibióticas, anti-inflamatorias y cicatrizantes, siendo utilizadas en ciertas patologías reumáticas, patologías de las articulaciones, patologías musculares y patologías de la piel (lepra contagiada por los soldados en las cruzadas, psoriasis...) (figura 3.4). Durante la colonización del Imperio Romano, los romanos, explotadores de todos manantiales termales de las tierras del Imperio, fueron los primeros en utilizar la barégina con fines curativos de las heridas de guerra. En Francia se construyeron hospitales militares en las ciudades donde existían manantiales termales, aprovechando las aguas termales sulfurosas con barégine para curación de heridas de guerra. En Ax-les thermes, centro curativo mediante la aplicación de las técnicas de hidroterapia, existe una piscina de aguas termales cuya profundidad no supera las rodillas, situada frente al antiguo hospital militar, que era utilizada para procesos curativos de las piernas, paseándose los enfermos en la piscina.

Las aguas termales de Arties fueron explotadas por los romanos. El balneario de Arties de hallaba situado en los dos edificios existentes en el emplazamiento, hoy en día en ruinas, fue inaugurado en 1817 y dejó de funcionar como balneario en 1960 debido a un incendio que destruyó todas las instalaciones. Aprovechaba las aguas procedentes de tres manantiales: la Gran font (40ºC.), Font Rafel (29ºC.) y la Font de Sant Roc (28ºC.) que suministraban aguas sulfurosas sódicas utilizadas para acciones curativas dermatológicas (psoriasis, dermatitis y el acné) y contribuía a mitigar dolencias relacionadas con las vías respiratorias, los procesos óseos, musculares y de las articulaciones como el reumatismo. Actualmente, se han construido dos piscinas municipales para la explotación de las aguas termales con fines lucrativos

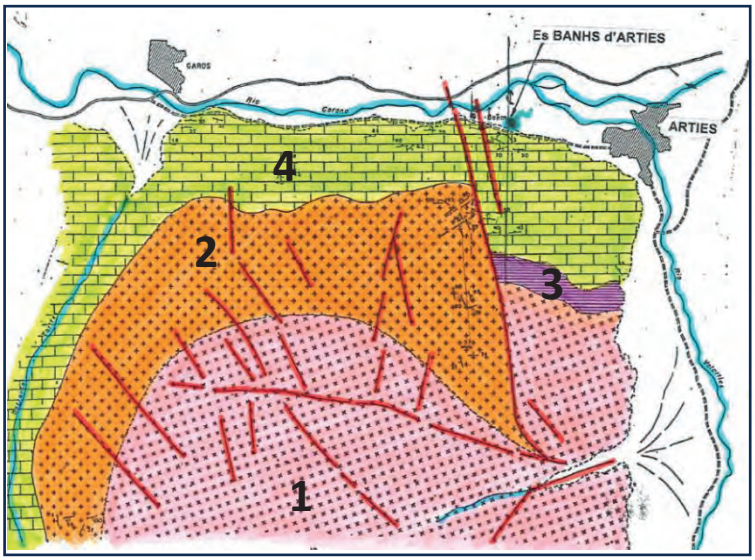


Figura 3.2. Mapa geológico del manantial geotermal de Arties (Escala 1:10.000). Leyenda: 1-2) Granodiorita y granitos de grano grueso con biotitas y granodioritas. 3) Devónico inferior: pizarras negras y calizas. 4) Devónico medio: calizas y mármoles.

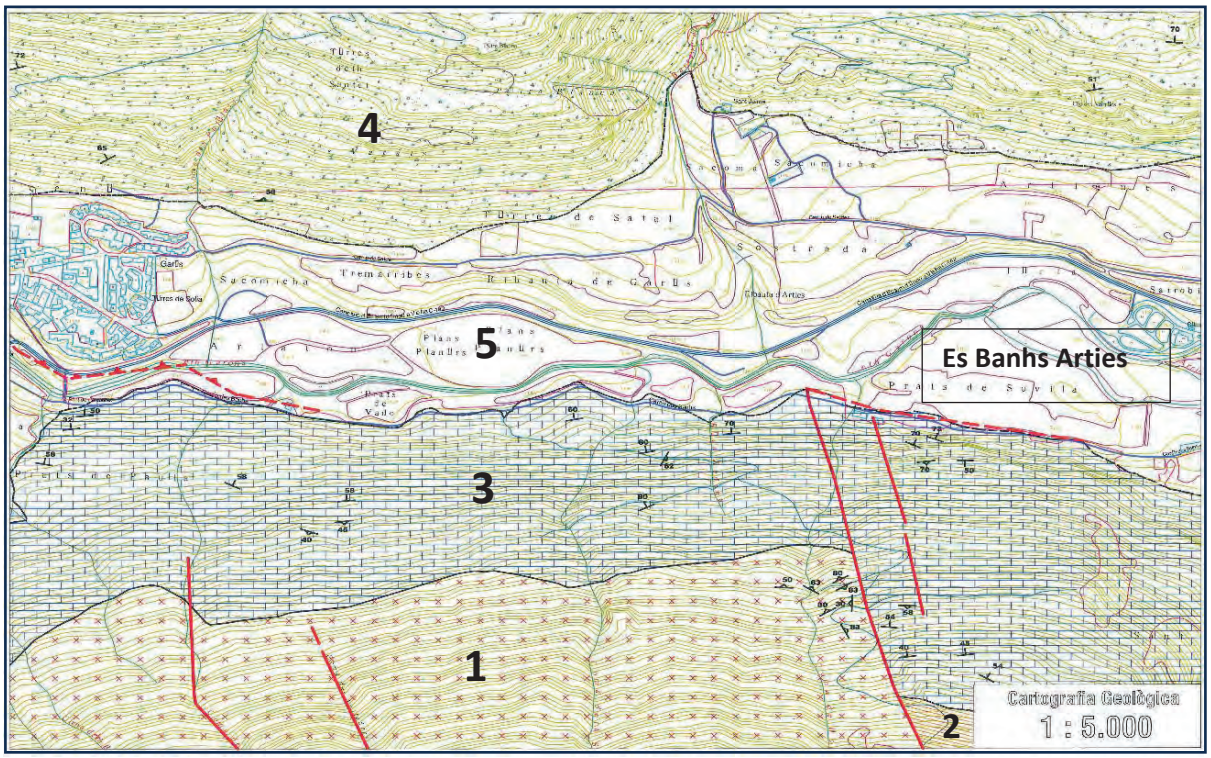


Figura 3.3. Mapa geológico del manantial geotermal de Arties. Escala 1:5.000. Leyenda: 1) Granodiorita y granitos de grano grueso con biotitas y granodioritas. 2) Devónico inferior: pizarras negras y calizas. 3) Devónico medio: calizas y mármoles. 4) Devónico superior: areniscas y calizas. 5) Cuaternario: depósitos aluviales y glaciales.



Figura 3.4. Aspecto de la "barigina" (filamentos blancos) en el manantial de Arties.

PARADA 4. EL SISTEMA HIDROTERMAL DE LES (Manel Pascual)

EL MARCO GEOLÓGICO DEL SISTEMA HIDROTERMAL DE LES

El sistema hidrotermal de Les se sitúa en la cuenca del rio Garona entre las poblaciones de Bossost al Sur y de Les, al Norte. Las surgencias se sitúan en el casco urbano de la población de Les y en sus alrededores, en el margen derecho del rio, donde se ubica el balneario antiguo y las actuales termas, en el contacto mecánico entre los leocogranitos que constituyen el Domo (plutón) de Bossost y su encajante esquistoso Cambro–Ordovícico. La figura 4.1 es un corte de toda la corteza terrestre obtenido del perfil ECORS (ICGC, 2010) correspondiente al sector donde se encuentra el sistema hidrotermal de Les. En el corte se observa la zona de subducción originada debajo de los Pirineos por la colisión entre la placa Ibérica y la europea. También se indica el Domo de Bossost responsable del sistema hidrotermal de Les. Los materiales geológicos implicados son los granitos del Domo, intruidos en las formaciones cambro-ordodovícicas de la zona axial pirenaica. Las surgencias se producen en una zona de intersección de las zonas milonitizadas de una falla paralela por el Norte a la falla de Bossost y una falla de dirección NE-SW ocultada por el aluvial del rio Garona (figura 4.2).

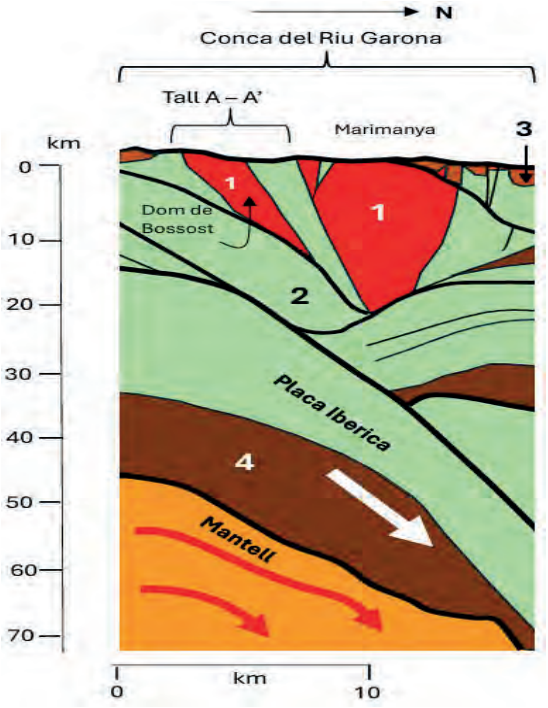


Figura 4.1. Corte geológico cortical del sector del sistema hidrotermal del Les. Leyenda: 1- Leucogranitos. 2- Esquistos, pelitas... (Cámbrico – Ordovícico). 3- Calizas y turbiditas (Silúrico – Devónico). 4- Corteza inferior. La flecha blanca indica la dirección de la subducción. También se sitúa el corte A-A' y su continuación de las figuras 4.2 y 4.3.

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL SISTEMA HIDROTERMAL DE LES

El sistema hidrotermal de Les, igual que los sistemas cercanos de Boi, Arties i Tredós, han estado estudiados en detalle por el excelente trabajo de Buil-Gutierrez et al. (2002), en el cual se basa la mayor parte del texto de la parada.

La circulación en el circuito termal se produce por el interior de los granitos del Domo (figura 4.3). El funcionamiento hidrogeológico del sistema supone un descenso del agua desde un área de recarga extensa, hacia zonas profundas (reservorio) a velocidades muy bajas. La zona de descenso se caracteriza por fracturas de pequeño tamaño que incluyen contactos intergranulares, obteniéndose relaciones entre volumen de agua y volumen de roca muy bajas. En esta parte del circuito y en el reservorio el tiempo de permanencia del agua es grande y suficiente para que

se produzca la mayor parte de las reacciones químicas entre la fase sólida y el agua hasta el equilibrio químico, así como el incremento de temperatura en función del gradiente geotérmico que

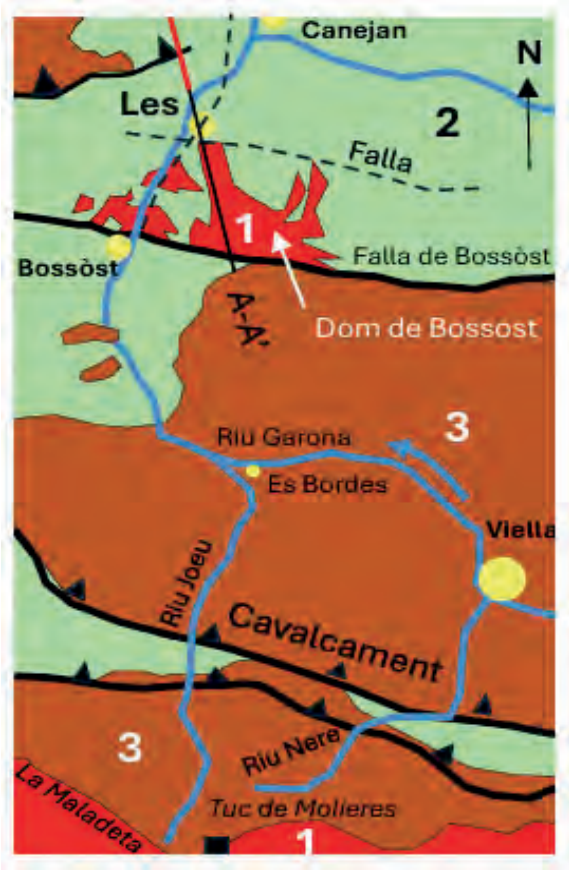


Figura 4.2. Mapa geológico esquemático de los alrededores del sistema hidrotermal del Les. Legenda: 1- Leucogranitos. 2- Esquistos, pelitas, etc. (Cámbrico – Ordovícico). 3- Calizas y turbiditas (Silúrico – Devónico).

exista. La permeabilidad es muy baja y los volúmenes totales de agua implicados son también muy reducidos si se compara con la productividad de los acuíferos convencionales de aguas frías de mayor permeabilidad.

El ascenso del agua calentada en el reservorio es más rápido y se produce a través de pocas fracturas de mayor tamaño que actúan como vías preferentes de circulación. Las surgencias del sistema acostumbran a concentrarse en zonas concretas de reducida superficie si se compara con las áreas de recarga. Los caudales observados corresponden al alumbramiento concentrado de aguas infiltradas en superficies mucho más extensas. La temperatura, aunque caliente, es inferior a la obtenida en el reservorio. No obstante, en las cercanías de las surgencias, los gradientes geotérmicos se incrementan debido al ascenso de las aguas termales calentadas en profundidad (figura 5.3).

La distancia entre área de recarga (Serra des Neres, zona del Pas de Salóda) y la zona de surgencia (Les) es corta, lo que infiere al sistema una forma de U.

HIDROGEOQUÍMICA DEL SISTEMA HIDROTERMAL DE LES

Como se ha dicho, la geoquímica del sistema hidrotermal de Les ha estado estudiada en detalle por los trabajos de Buil-Gutierrez et al. (2002). Es pues interesante resaltar aquellos aspectos más notables de dicho estudio por su interés científico.

El conocimiento del modelo de funcionamiento del sistema hidrotermal descrito precisa de conocer:

1/ Las relaciones hidrogeoquímicas entre el material sólido encajante y las aguas circulantes.

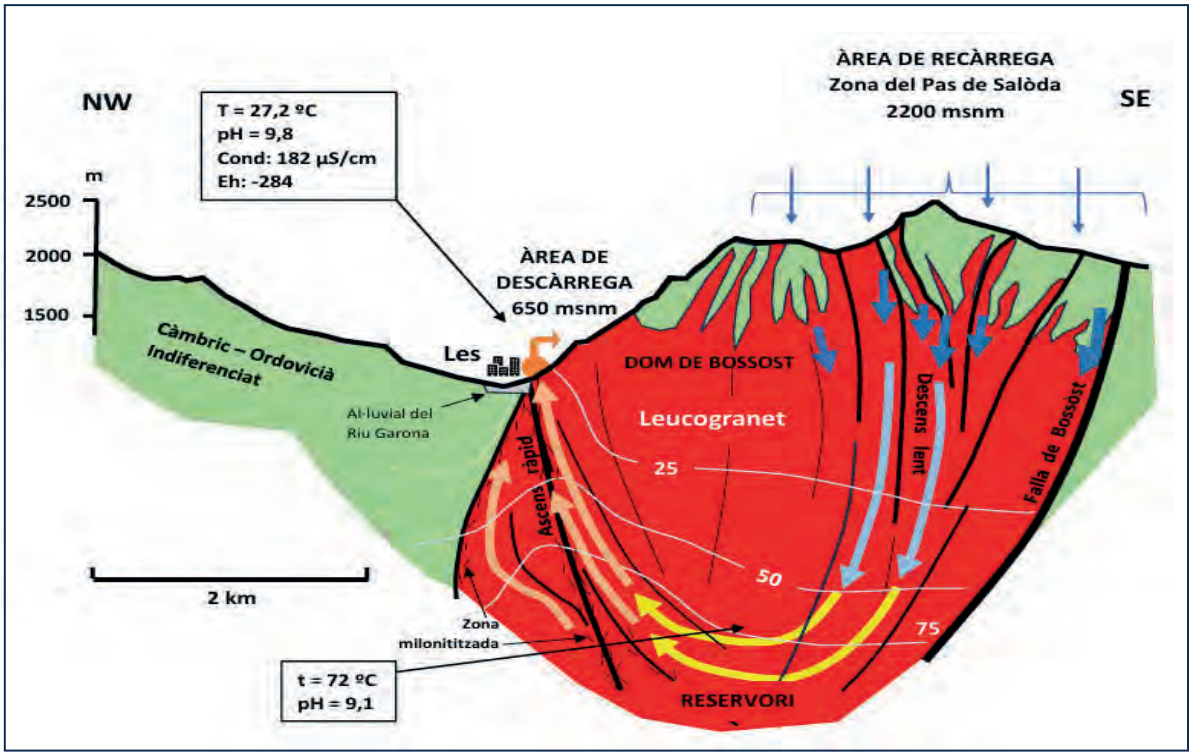


Figura 4.3. Corte esquemático A-A' de la figura 4.2, ilustrando la circulación del agua subterránea termal en el seno del sistema del Domo de Bossost. Se indica todo el ciclo hidrotermal desde la zona de recarga hasta las surgencias, pasando por el reservorio donde adquieren la temperatura máxima. Nótense los altos pH que indican un ambiente reductor. Con el único objetivo didáctico también se indican las isotermas tentativas del gradiente geotérmico. Explicación a lo largo del texto (modificado de Buil-Gutierrez et al., 2002).

2/ La localización del área de recarga y su altitud.
3/ La profundidad hasta dónde llega el agua infiltrada (profundidad del reservorio).
4/ La temperatura del reservorio.
5/ El tiempo de permanencia o de tránsito del agua dentro del acuífero des de que se infiltra hasta que surge por los manantiales

CARACTERISTICAS HIDROQUÍMICAS DE LAS AGUAS TERMALES

Según su nivel de presencia en el agua son tres los grupos de componentes disueltos en las aguas termales de Les:

1/ los *elementos mayoritarios*,

2/ los *elementos traza* y

3/ las denominadas *tierras raras (REE)*.

Los ***elementos mayoritarios*** en las aguas de Les son los indicados en el diagrama de la figura 4.4 (diagrama de Stiff). Las aguas son bicarbonatadas sódicas de mineralización baja con conductividad de 182 µS/cm y pH alto de 9,1. Se caracterizan por muy bajo contenido en los cationes magnesio y calcio, y también bajo en los aniones sulfato y cloruro.

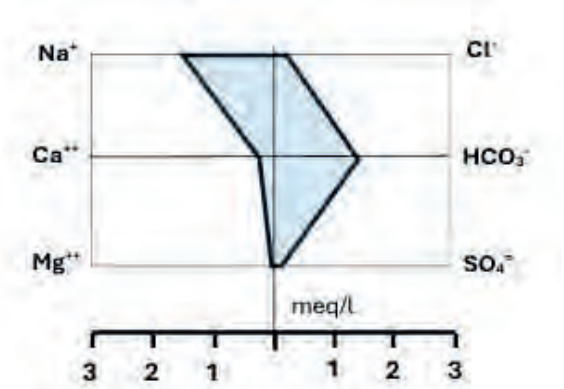


Figura 4.4. Diagrama de Stiff representativo de los **componentes mayoritarios** del agua termal de Les (de Buil-Gutierrez et al., 2002).

La concentración total de los ***elementos traza*** analizados en la surgencia de Les son los mostrados en la figura 4.5 y representan el 21% del total. Al final del texto se adjunta la tabla periódica de los elementos (figura 4.11) como recordatorio de su localización y características de cada uno de ellos. La figura 4.5 muestra cierto paralelismo de las características químicas del agua termal con los contenidos de los elementos traza analizados en el medio encajante. El análisis de las diferencias químicas entre las que serían teóricas y las reales que se presentan en ambos medios quedan fuera de los objetivos de esta guía, no obstante, en Buil-Gutierrez et al. (2002) se realiza un exhaustivo análisis de las razones de tales diferencias.

Las ***tierras raras*** analizadas (de ahora en adelante REE) son las mostradas en la Figura 4.6. Las REE consideradas en los estudios de Buil-Gutierrez son los lantánidos (figura 4.11) dado que estos son característicos en sistemas geotermales como el de Les, además de su posible interés como indicadores de indicios de estos, en las rocas encajantes.

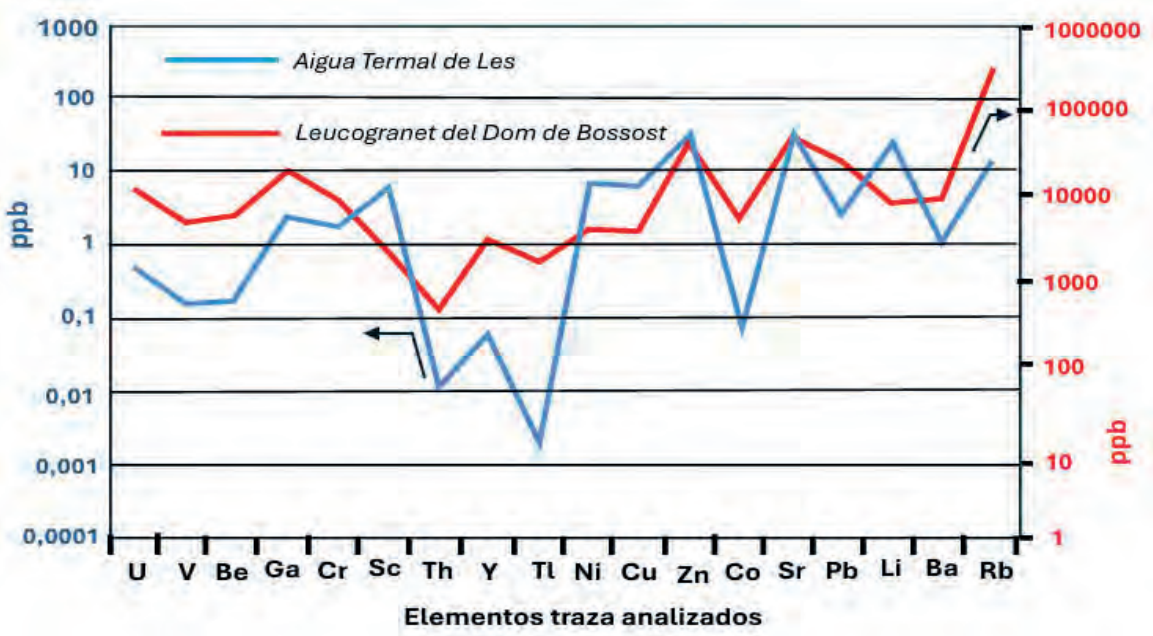


Figura 4.5. Gráfico mostrando las concentraciones de los **elementos traza** en el agua termal i en los materiales encajantes granitoides del sistema hidrotermal de Les.

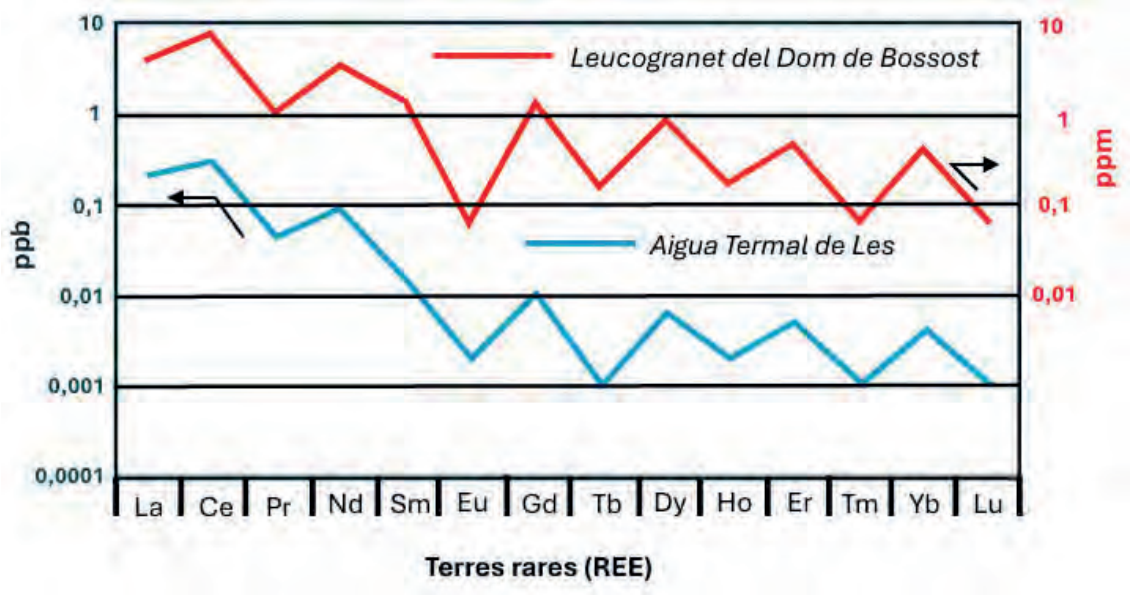


Figura 4.6. Representación de las concentraciones de los elementos de las **tierras raras (REE)** en el agua termal de Les y en las rocas encajantes del Domo de Bossost.

Entre otros, un factor importante que potencialmente puede ejercer el *control de la concentración final de las REE en las aguas, son la abundancia de REE en los minerales que constituyen la roca encajante*.

Como puede observarse en la figura 4.6 la forma de los gráficos (del agua y del encajante) son muy similares, con las lógicas diferencias en los órdenes de magnitud de las concentraciones. Las de REE en el agua están expresadas en ppb (µg/l) y las de los litotipos, en ppm (mg/l).

En el agua termal se observa la huella hidroquímica de las REE del encajante, sin que aparentemente haya reacciones modificadoras importantes que desvíen los contenidos de los que corresponderían únicamente a una disolución simple.

No obstante, los resultados del sistema de Les, comparados con los de los sistemas hidrotermales próximos, tienen una diferencia significativa de difícil explicación: *el Domo de Bossost (litotipo encajante de Les) es el que tiene menos concentración de REE de los sistemas vecinos (Boí, Tredós i Artíes), mientras que la concentración de REE en las aguas termales de Les es la mayor de todas las aguas de dichos sistemas.*

CARACTERISTICAS PETROLÓGICAS DE LOS MATERALES ENCAJANTES

Las características químicas de las aguas surgentes en los manantiales dependerán de las composiciones mineralógicas de las rocas encajantes. La formación geológica en la que se desarrolla el sistema hidrotermal de Les és el Domo de Bossost, formado por leucogranitos (granito de colores claros

por escasez relativa de minerales oscuros).

A partir de los muestreos y análisis mineralógicos, Buil-Gutierrez et al. (2002) determinan que los minerales primarios que forman los leucogranitos del Domo de Bossost forman la siguiente paragénesis mineral:

-cuarzo (SiO_2),
-microclina (feldespato de formula $KAlSi_3O_8$),
-caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$),
-calcita (CO_3Ca) y
-aluminosilicato calcico tipo zoisita ($Ca_2Al_3(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$).

CALCULOS HIDROGEOQUIMICOS MEDIANTE MODELACIÓN

Para los cálculos, Biel-Gutierrez et al. (2002) utilizaron el modelo PHREEQE (Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., y Plumer, L.N., 1990) que precisa de la siguiente información para su uso:

1/ Fase sòlida: paragénesis mineral del encajante granítico (Domo de Bossost) descrita en el apartado anterior.

2/ Fase líquida:

- análisis químicos del agua termal de Les descritos en los apartados anteriores,
- análisis químicos del agua de infiltración en la zona de recarga de la Serra dels Neres (figura 4.7), considerando como validos los de las aguas de lluvia de las zonas más próximas a dicha zona.

El modelo calcula:

1/ los "índices de saturación" (IS) respecto a todos los minerales de la paragénesis,

2/ grado de evolución geoquímica de las aguas termales,

3/ influencias de la cinética química en el nivel de evolución de estas durante el transito desde la zona de recarga a zona de descarga,

4/ temperatura del reservorio,

5/ profundidad del reservorio,

6/ tiempo de tránsito del agua des de que se infiltra hasta que brota en los manantiales, etc.

Para la modelación es importante cerciorarse que las aguas termales no están mezcladas con aguas superficiales frías. Buil-Gutierrez et al. (2002) utilizaron estudios de tritio realizados por el IGME (1992) que indicaban que las aguas termales de Les tenían, en 1992, un contenido en tritio de 0,26±2,6 UT, por lo que no podían estar mezcladas con aguas modernas posteriores a 1952 ***(**)***.

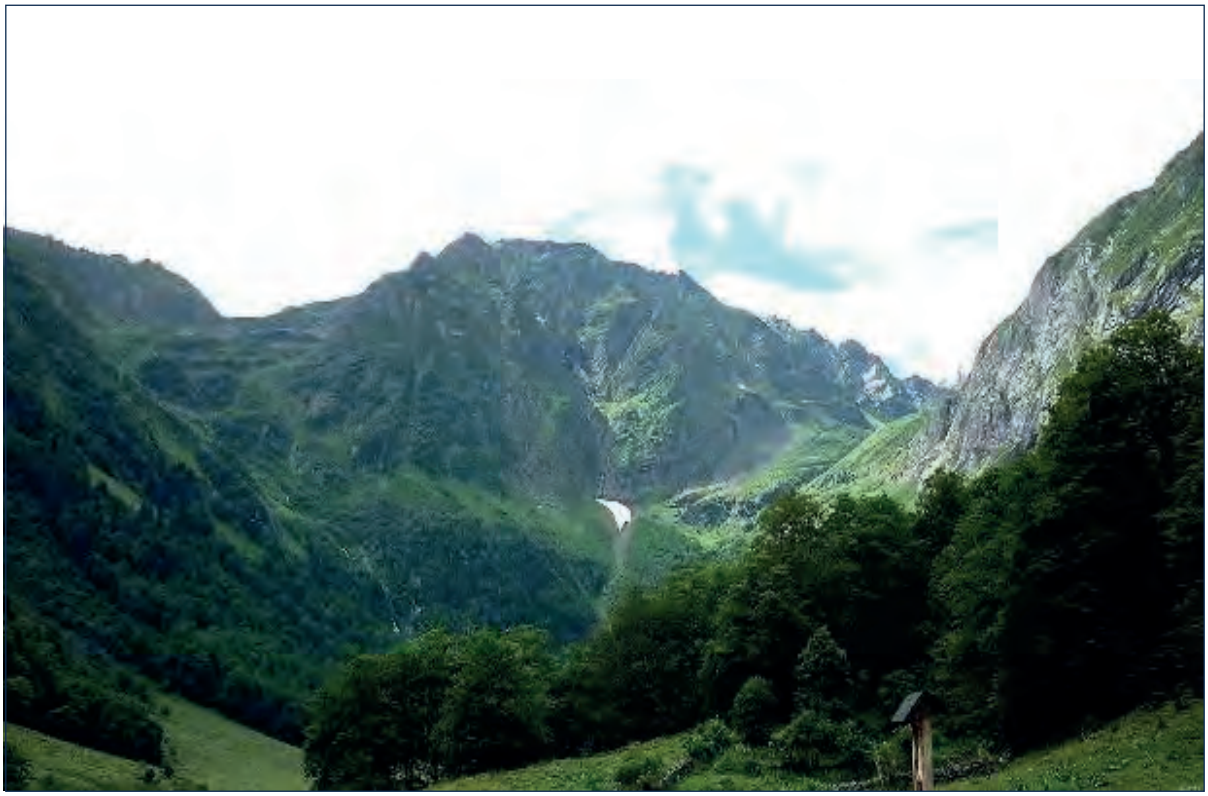


Figura 4.7. Tuc de Neres visto des del sur (Sèrra des Neres – Pas de Salòda). Es la zona de recarga del sistema hidrotermal de Les, constituida por leucogranitos (ver figura 4.3).

(**) *El tritio es el isotopo más pesado del hidrogeno y se caracteriza por poseer un periodo de semidesintegración de 12,16 años, por lo cual, este isotopo es idóneo para determinar los tiempos de residencia de fluidos recientes. Según el IGME (1992), antes de 1953, la concentración natural media de tritio en la latitud de la Vall d'Aran era de 2,75 UT (Unidades de Tritio).*

En 1953 tuvo lugar la primera explosión termonuclear que genero importantes aportaciones de tritio artificial a las aguas atmosféricas en todo el planeta. Por lo tanto, las aguas infiltradas posteriormente a este año tenían concentraciones de tritio mayores a 2,75 UT.

TEMPERATURA DEL RESERVORIO DEL SISTEMA HIDROTERMAL

La determinación de la temperatura en el *reservorio geotermal* se ha efectuado combinando los cálculos de los estados de equilibrio entre la fase liquida (agua termal surgente en Les) y la fase solida (encajante del Domo de Bossost) mediante el modelo geoquímico PHREEQE y las técnicas de geotermometría clásica.

Los cálculos de modelización han permitido verificar la existencia de equilibrio químico en profundidad entre la solución termal de Les y la asociación paragénica mineral expuesta en el aparatado anterior, determinada para el Domo de Bossost.

La figura 4.8 es el diagrama resultante de los cálculos más significativos de la modelación. Se relacionan los estados de saturación (IS) de los análisis de las aguas termales de Les, calculados por el modelo en función de la temperatura, en base a que las constantes de equilibrio de las reacciones entre agua termal y la paragénesis mineral, varían con la misma.

Del gráfico se deduce que *la temperatura de equilibrio* en el reservorio, definido por la convergencia de las curvas de las rectas del cuarzo, la microclina y la zoisita, *es de 72ºC*. Para la determinación de la temperatura se han utilizado estos minerales, dado que los restantes de la paragénesis no experimentan variaciones significativas de las constantes de equilibrio con la temperatura y se ha considerado que en el reservorio se ha alcanzado el equilibrio, al menos respecto a estos tres minerales.

Los métodos tradicionales (geotermometros basados en las relaciones SiO_2/cuarzo, Na/K, Na/K/Ca y K/Ca) indican temperaturas que oscilan, según el método, entre 46,8 y 101,6ºC. *La media de todos los métodos clásicos és de 79,4ºC,* similar al determinado por modelación.

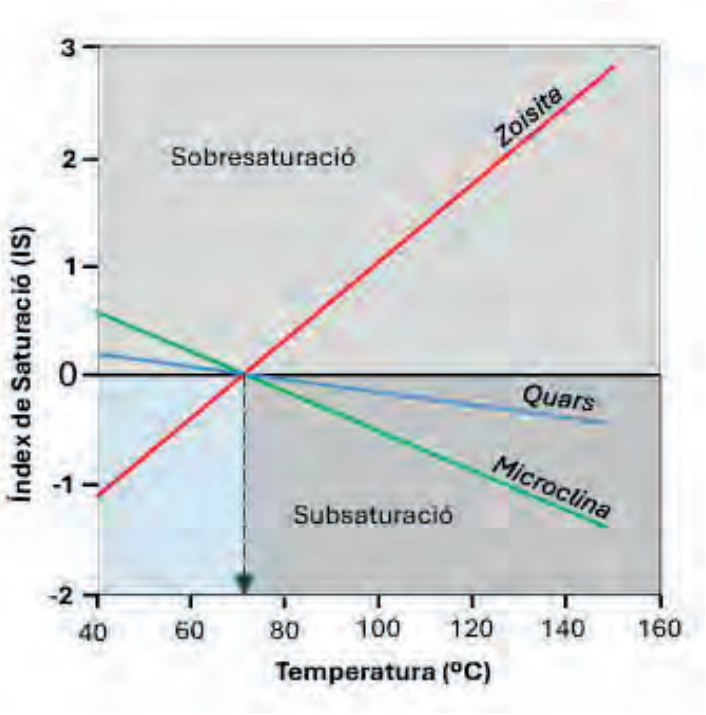


Figura 4.8. Gráfico que relaciona los índices de saturación respecto a los tres minerales indicados. Por encima de cero las aguas están sobresaturadas tendiendo a precipitar substancias que transportan en solución. Por debajo de cero las aguas están subsaturadas y tienen potencial de disolución de las rocas por donde circulan. Las variaciones de los estados de saturación con la temperatura se deben a las variaciones de los valores de las constantes de equilibrio en función de la temperatura. La flecha a trazos indica la temperatura máxima alcanzada por aguas durante su recorrido (modificado de Buil-Gutierrez et al., 2002)

PROFUNDIDAD DEL RESERVORIO DEL SISTEMA HIDROTERMAL

La determinación de la profundidad en el sistema hidrotermal precisa confirmar si el origen de las aguas es meteórico (es decir si procede de las precipitaciones en la zona de recarga). También se precisa conocer la temperatura de los reservorios, la temperatura atmosférica, y el gradiente geotérmico en la zona. La temperatura en el reservorio es la del apartado anterior, el origen meteórico se ha confirmado mediante los contenidos isotópicos del O-18 y del Deuterio (figura 4.9). Las cotas de infiltración se determinan mediante el contenido en O-18, valiéndose de su carácter conservativo y de su dependencia de la altitud de la zona de recarga. *La profundidad promedio determinada para el sistema hidrotermal de Les, es de 2500 m*.

TIEMPO DE RESIDENCIA DE LAS AGUAS DEL SISTEMA HIDROTERMAL

El tiempo de residencia de las aguas termales en el encajante acuífero se obtuvo de la determinación del Carbono 14 (^{14}C) y del Carbono 13 (^{13}C) (Buil-Gutierrez et al., 2002).

Los valores obtenidos para el sistema de Les es de *11.070 +/- 180 años*. Según los autores citados los resultados para todos los sistemas por ellos estudiados (Caldas de Boi, Arties, Tredós y Les), el tiempo de residencia no es un factor determinante de las diferencias existentes en el grado de evolución hidrogeoquímica de las aguas de estos sistemas, ni de las situaciones de equilibrio y desequilibrio en profundidad.

EL SONDEO EXPERIMENTAL PARA EL ABASTECIMIENTO DE LES

El año 1998, la antigua Junta d'Aigues de la Generalitat de Catalunya, actual Agencia Catalana de l'Aigua, construyó un sondeo experimental cuyo objetivo era disponer de una captación complementaria para las frecuentes situaciones en que las aguas del Barranc Arriu d'Antoni disminuían su calidad o eran insuficientes para el suministro público.

El sondeo realizado de 176 m de profundidad, 220 mm de diámetro de perforación y 180 mm del revestimiento de hierro, dio un caudal continuo de 1,5 m^3/h surgentes. El sondeo tiene el espacio anular (espacio entre tubo y pared) cimentado y con cierre hermético dado el artesianismo del mismo (figura 4.10). Mediante bombeo se llegó a obtener un caudal de 13 m^3/h. Los materiales atravesados fueron: 14 m primeros de coluvial limo-arcilloso con cantos dispersos y desde 14 m hasta los 176 finales se perforaron micaesquistos del Cambro-Ordovicico. Durante la perforación el primer caudal aflorado fue de 2 m^3/h a los 60 m y posteriormente el caudal ascendió a 8m^3/h a los 130 m.

Las aguas de este sondeo tenían una mineralización baja con conductividad de 152 µS/cm a 20ºC y pH en campo de 8,95. Los sulfatos eran de 9,0 mg/l, los cloruros de 8,0 mg/l y el contenido en flúor fue de 1240 µg/l. No había ni hierro, ni manganeso.

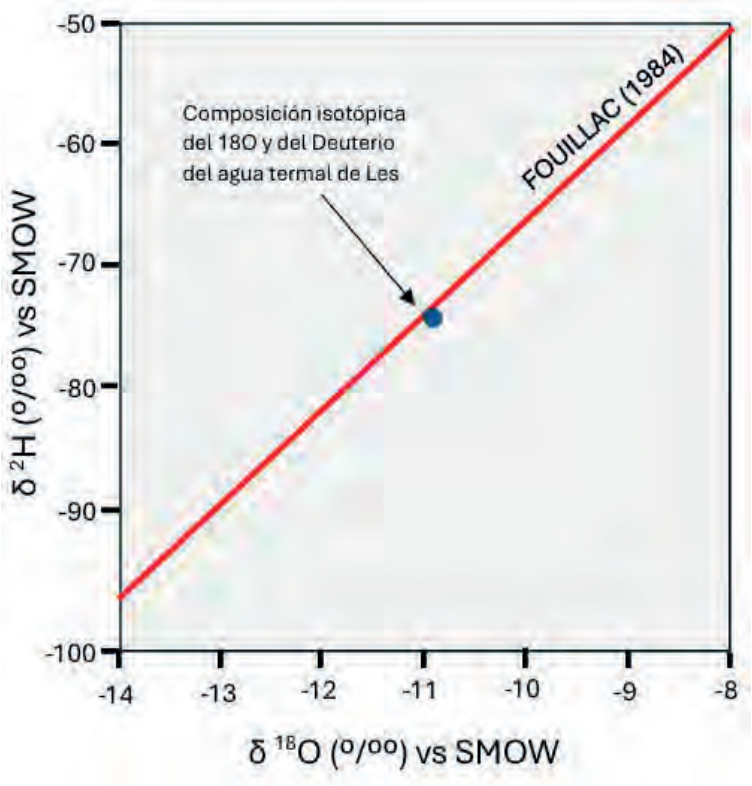


Figura 4.9. Recta del agua meteórica regional definida para el Pirineo Central Francés de la Relación ^{18}O – Deuterio (^{2}H) (Fouillac et al., 1984) y situación en la misma del agua termal de Les. La posición del punto representativo del agua de Les, encima de la línea, indica que el agua termal procede de la recarga de la precipitación del agua de lluvia o nieve y no de otra fuente.

El agua alumbrada fue agua termal a 22ºC, que, aunque caliente, era un poco más fría que la de las fuentes termales de Les. El recorrido periférico respecto al circuito del sistema geotermal 'sensu strictu', es la causa del pequeño enfriamiento.

Este sondeo vino a demostrar que las perforaciones que se realicen en las formaciones metamórficas del Cambro-Ordovicico pueden tener suficiente permeabilidad para suministrar caudales de aguas hidrotermales interesantes, siempre que se ubiquen cerca de la zona de surgencias del sistema geotermal de Les. Este és un factor interesante para el desarrollo de actividades relacionadas con el termalismo que se deseen implantar en Les o alrededores.



Figura 4.10. Sondeo para el abastecimiento de Les. La instantánea corresponde al final de la perforación en 1998 donde se puede ver el agua termal surgente.



Figura 4.11. Tabla periódica de los elementos químicos. Encuadrados en negro se indican los **elementos traza** y en rojo se indican las **tierras raras (REE)** del sistema hidrotermal de Les.

LAS TERMAS DE LES

Los manantiales termales de Les vienen siendo utilizados desde la época romana. Se cree que fueron visitados por Pompeyo, habiendo sido encontradas inscripciones dedicadas a las ninfas y a la Diosa Lex. En la Edad Media, Les y sus alrededores pertenecieron al Baron de Les, en el castillo del cual descansó Jaume I en 1265. Los antiguos baños (figura 4.12) terminaron convirtiéndose con el paso de los siglos en un centro termal conocido por sus aguas con un fuerte olor a ácido sulfhídrico que es perceptible, aunque las concentraciones en el agua sean muy bajas.



Figura 4.12. Balneario antiguo de Les.

Este hedor procede de la reacción $SO_4^{=}+10H^{+}+e=H_2S+4H_2O$ en condiciones reductoras.



Figura 4.13. Balneario actual de Les.

En la segunda mitad del siglo XX las fuentes termales fueron cegadas por la construcción de una pequeña central hidroeléctrica. Consecuentemente el balneario antiguo ceso sus actividades, pero en 2003 se volvió a abrir en su nueva ubicación (figura 4.13). Actualmente las aguas captadas para los usos del balneario proceden de un pozo de 300 m de profundidad, que suministra un caudal de 16 m^3/h.

(*) ANEJO DE FUNDAMENTOS SOBRE LAS ROCAS MAGMÀTICAS INTRUSIVAS

Dado que los sistemas hidrotermales que se explican durante el hidrogeodia están relacionados con formaciones de origen magmático, se exponen las bases teóricas de las mismas.

Las rocas magmáticas o ígneas son aquellas que se han formado por la solidificación de un magma fundido a altas temperaturas. El proceso de cristalización se produce por el enfriamiento de los minerales. Según el lugar de enfriamiento y cristalización las rocas resultantes pueden ser plutónicas o volcánicas. Las volcánicas proceden de la cristalización del magma una vez en el exterior de litosfera, a temperatura ambiente. La cristalización de la lava és rápida una vez ha sido expulsada des del cráter de un volcán y consecuentemente su granulado es fino (figura *2).

Las plutónicas, que son las que interesan en este hidrogeodía, resultan del enfriamiento lento en el interior de la litosfera sin tener ningún contacto con la atmosfera. El resultado es un granulado grueso en el que los principales minerales que las forman se evidencian a simple vista.

Una vez el magma subterráneo se ha solidificado y transformado en roca el cuerpo formado se denomina plutón o batolito (figura *1). Si la acción continua de los agentes meteóricos durante millones de años erosiona los materiales encajantes, el plutón puede aflorar en superficie, tal como se verá durante la excursión.

Los tipos de rocas magmáticas se representan en la figura *2.

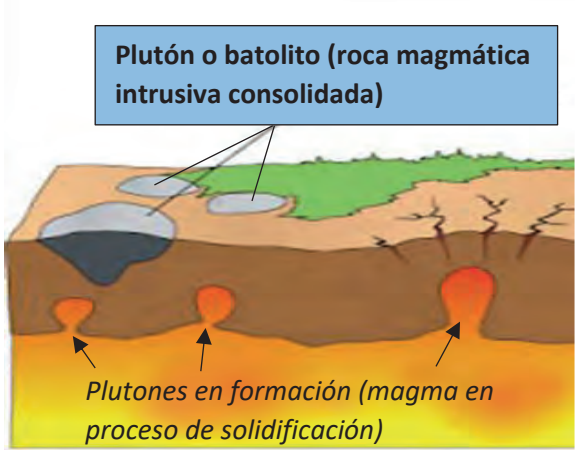


Figura *1. Esquema simplificado de plutones en formación y consolidados aflorantes por la denudación de las rocas encajantes.

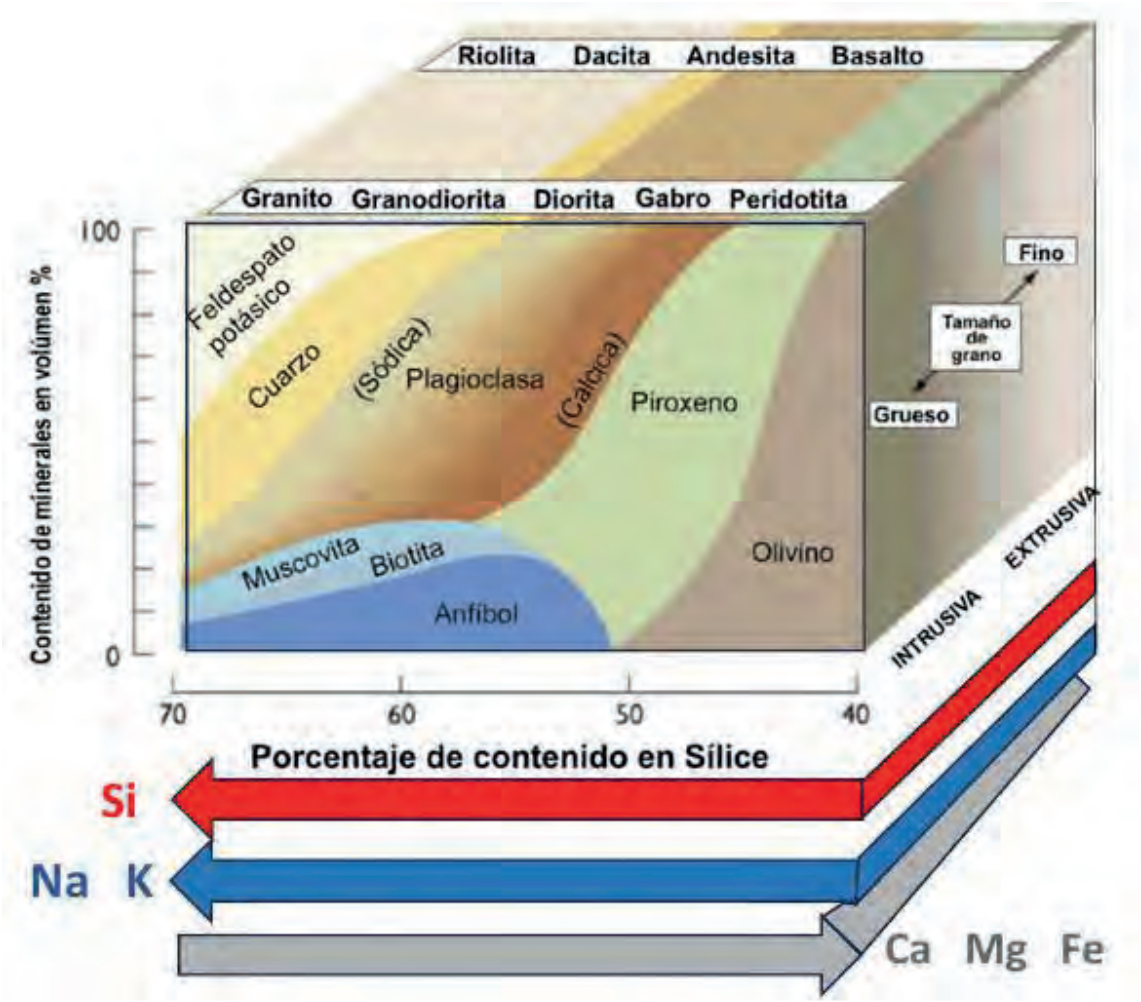


Figura *2. Diagrama mostrando los tipos de rocas magmáticas con su composición mineralógica porcentual (eje X) en función del contenido porcentual en sílice (eje Y) y de la granulometría (eje Z). Las rocas graníticas y granodioríticas que abundan en los Pirineos tienen altos contenidos de sílice y por lo tanto están formadas principalmente por feldespatos potásicos, cuarzo, micas (moscovita y biotita) y anfibol. Geoquímicamente tienen altos contenidos en sodio y potasio, y bajos en calcio, magnesio y hierro. Sus equivalentes volcánicos son la riolita y la dacita.

PARADA OPCIONAL: EL SISTEMA CÁRSTICO DE UELHS DETH JOEU. (ANTONI FREIXES)

Las explicaciones se realizarán fuera de la zona prevista por problemas de acceso debido a condiciones meteorológicas adversas en fechas anteriores. El texto también se adjunta aparte.

AGRADECIMIENTOS

Los organizadores 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 Fisica, Química, Medi Ambient i Sòls"* i a la "*Biblioteca"* de la "*Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms, de Forest i Veterinaria"* también de la Universitat de Lleida, por su cobertura organizativa.

REFERENCIAS

SOBRE ASPECTOS GENERALES

Berastegui, X., Losantos, M., Muñoz, J.A. y Puigdefàbregas, C. (1993). *Tall Geològic del Pirineo Central 'ECORS'*. Servei Geològic de Catalunya. DPTOP. Generalitat de Catalunya.

Custodio, E. y Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea*. Vol. I y II. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 2359 pp.

ICGC (2010). *Atles Geològic de Catalunya*. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 463 pp.

Muñoz, J.A. (1992). Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. In: McClay, K.R. (Ed.), *Thrust Tectonics. Chapman and Hall*, London, pp. 235–246.

SOBRE ASPECTOS GENERALES I GEOMORFOLOGIA DE LA VAL D'ARAN

Bordonau, J. (1992). *Els complexos glàcio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*. (PhD thesis). University of Barcelona, Spain.

Fernandes, M., Oliva, M., Palma, P., Ruiz-Fernández, J. y Lopes, L. (2017). Glacial stages and postglacial environmental evolution in the Upper Garonne valley, Central Pyrenees. *Sci.Total Environ*. 584–585, 1282–1299.

Fernandes,M. (2023). *Deglaciation chronology and post-glacial environmental evolution of the Upper Garonne valley (Central Pyrenees)*. Doctoral Thesis. Lisboa University.

Freixes, A. (2014). *Els aquífers càrstics dels Pirineus de Catalunya*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

García, C., Martí, G., Barriendos M., Gavaldà, J. y Rodés, P. (2005). La reconstrucción de riesgos naturales en el contexto climático de la miniglaciación. El caso del alud catastrófico de abril de 1855 en el valle de Toran. *Boletín glaciológico aragonés*, 6.

García-Sansegundo, J. (1992). Estratigrafía y Estructura de la Zona Axial Pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça, edited by: *Publicaciones especiales del Boletín Geológico y Minero*, 102-103, Madrid, 167 pp., ISBN: 84-7840-133-4.

García-Sansegundo, J. y González-Santano, B. (2023). La estructura del Paleozoico en la transición entre el Domo del Garona y el Sinclinorio del Valle de Arán y su relación con el metamorfismo (Zona Axial pirenaica), *Trabajos de Geología*, 37, 53-77, doi: 10.17811/tdg.37.2023.55-79.

Ortuño, M., Perea, H., Masana, E. y Santanach, P. (2004). La falla del norte de la Maladeta, ¿fuente sísmica del terremoto de Vielha (19 de noviembre de 1923)? *Geotemas-VI* Congreso Geológico de España, Zaragoza, 12–15 julio 2004, vol. 6(3), pp. 171–174.

Ortuño, M., Queralt, P., Marti, A., Ledo, J., Masana, E., Perea, H. y Santanach, P. (2008). The North Maladeta Fault (Spanish Central Pyrenees) as the Vielha 1923 earthquake seismic source: Recent activity revealed by geomorphological and geophysical research, *Tectonophysics*, 453(1-4), 246-262.

SOBRE SISTEMAS HIDROTERMALES

Buil.Gutierrez, B., Garcia-Sanz, S., Lago, M., Arranz, E. y Auqué, L. (2002). *Estudio geoquímico de los procesos de interacción agua-roca sobre sistemas geotermales de aguas alcalinas en granitoides*. Dirección de Ciéncia y Tecnología. ENRESA. 247 pp. Madrid.

Fouillac, Ch., Fouillac, A.M., y Vuataz, E.D. (1984): Les sources thermales de la region du Sancy; nouvelles données et synthése géothermométrique. In: Volca nisme recent du Massif central (Mont-Dore). *Documents - B.R.G.M*. 81-9: 53-63.

IGME (1992). *Estudio de las manifestaciones termales de Extremadura, Salamanca, Aragón y Rioja, orientados a su posible explotación como recursos geotérmicos*. Instituto Geológico y Minero de España. Memoria. Tomo II. Madrid.

Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., y Plumer, L.N. (1990): PHREEQE, a computer program for geochemical calculations. Revised by J.V. Tisarani y P.D. Glynn. U.S. Geoi. Surv. *Waters Res. Inv.*, 80-96: 193 pp.

Pascual, J.M. (1997). *Projecte de pou experimental per a la recerca d'aigües subterrànies per a l'abastament de Les (Val d'Aràn)*. Junta d'Aigües de Catalunya. DPTOP. Generalitat de Catalunya.

Pascual, J.M. (1998). *Informe de resultats del pou experimental per a l'abastament de Les (Val d'Aran)*. Junta d'Aigües de Catalunya. DPTOP. Generalitat de Catalunya.

Andrieux, C. (1978) "Les enseignements apportés par la thermique dans le karst". Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO - Colloque de Tarbes.

Bakalowicz, M. (1979a) "Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et la karstification". Tesis doctoral. Paris: Université Pierre et Marie Curie.

Bakalowicz, M. (1979b) "L'anhydride carbonique dans la karstogènese". Symposium International sur l'Érosion Karstique U.I.S., Aix en Provence-Marseille-Nîmes.

Bakalowicz, M. (1980). Un précieux informateur hydrogéologique: le système chimique CO2 - H2O - Carbonate. Cristallisation-Déformation-Dissolution des Carbonates, Réunion Organisée par le Groupe Étude des Systèmes Carbonatés, Bordeaux.

Bakalowicz, M. y Mangin A. (1980) "L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification". Mém. H. Ser. Soc. Géol. France 11: 71-91.

Bakalowicz, M. (1994) "Water Geochemistry: Water Quality and Dynamics". In Groundwater Ecology, J. Gibert, D.L. Danielopol y J.A. Stanford (ed.). London: Academic Press: 97-127.

Bakalowicz, M. (1995) "La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement". Hydrogéologie, nº 4, pp. 3-21.

Bakalowicz, M. (2005) "Karst groundwater: a challenge for new resources". Hydrogeology Journal (The future of Hydrogeology) 13 (1): 148-160.

Bakalowicz, M. y Plagnes, V. (1998) "La protection des ressources en eau souterraine en région karstique. **Éléments** de réflexions pour une politique d'aménagement raisonné". Hydrogéologie 4: 23-27.

Bayó, A. (1982) "La exploración hidrogeológica de acuíferos en rocas carbonatadas desde la óptica de la explotación de recursos y utilización del almacenamiento". Reunión Monográfica sobre el Karst-Larra 82, Isaba-Navarra, 4-11 octubre 1982. Publicaciones del Servicio Geológico de la Dirección de Obras Públicas de la Diputación Foral de Navarra.

Bourges, F., Mangin, A. y d'Hults, D. (2001) "Le gaz carbonique dans la dynamique de l'atmosphère des cavités karstiques: l'exemple de l'Aven d'Orgnac (Ardèche)". C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes. Earth and Planetary Sciences 333: 685-692

Cervelló, J.M. y Freixes, A. (1992) "El domini càrstic". In Història Natural dels Països Catalans 2. Geologia II (Geomorfologia). Barcelona: Enciclopèdia Catalana: 461-508.

Cervelló, J.M., Freixes, A y Monterde, M. (1982) "Elementos de la hidrogeología del carst de alta montaña pirenaica (macizos de Tendeñera y Alto Ésera)". Atti Convegno Internacionale sul Carso di Alta Montagna: 107-120. Imperia.

Freixes, A. (2014) "Els aqüífers càrstics dels Pirineus de Catalunya. Interès estratègic i sostenibilitat". Tesi doctoral. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona

Freixes, A. (2020) "Els aqüífers càrstics dels Pirineus de Catalunya. Interès estratègic i sostenibilitat". Tesi doctoral. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. Reedició de la tesi doctoral. Kras, hidrologia experimental.

Freixes, A., Monterde, M. y Ramoneda, J. (1991) "Respuestas hidrogeoquímicas y funcionamiento de los sistemas acuíferos de Güells de Jueu y Alguaire (Valle de Aran): resultados preliminares". IV Congreso de Geoquímica de España, Soria, 8 al 13 de Septiembre de 1991, Colegio Oficial de Químicos-Anque. Consejo Su-

perior de Colegios de Ingenieros de Minas. Colegio Oficial de Geólogos.

Freixes, A., Monterde, M. y Ramoneda, J. (1993) "Hidrología de los sistemas kársticos del Valle de Arán (Pirineos, Catalunya)". I Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas (Cuba). 6-11 de Abril, 1992, Publicaciones de la Universitat Jaume I de Castelló: 131-140.

Freixes, A., Monterde, M., Morin, J.P. y Ramoneda, J. (1996) "Recursos hídricos e implicaciones ambientales del sistema de Aigüèira (Val d'Aran)". Recursos Hídricos en Regiones Kársticas: exploración, explotación, gestión y medio ambiente, (Vitoria-Gasteiz, 14-17 Octubre, 1996).

Freixes, A., Ramoneda, J., Monterde, M. y Morin, J.P. (1998a) "Sistemes càrstics experimentals de Catalunya: unitats de referència per a la recerca i la gestió hidrològica". Espais 44: 53-63.

Freixes, A., Monterde, M. y Ramoneda, J. (1998b) "Spring water temperature as a characteristic feature of karst aquifer behaviour". Examples from the Central Pyrenees (NE Spain). Hydrogéologie 1: 31-39.

Freixes, A., Monterde, M. y Ramoneda, J. (1998c) "The karstification potential of the aquifers in the Val d'Aran (Catalonia)". Acta Geologica Hungarica 41(1): 23-39.

Freixes, A., Ramoneda, J. y Monterde, M. (1999) "Les apports hydriques souterrains de la Garonne au Val d'Aran (Catalogne). Le système karstique de Joèu". Revue de Comminges et des Pyrénées centrales. Tome CXV. Conférence a l'Université d'Un Jour, organisée par l'Académie Julien Sacaze le 7 de julliet 1997 à Saint Bertrand-de-Comminges. Centenaire de la naissance et au dixième anniversaire de la mort de Norbert Casteret (1897-1987).

Freixes, A., Monterde, M., Ramoneda, J. Cervelló, J.M. (2015) "El sistema càrstic dels Uelhs deth Joeu (val d'Aran): origen de la Garona". Convenció Internacional d'Espeleologia. Barcelona.

Humbert, L. (editor) (1979) "La systémique dans les sciences de la Terre". A.T.P. Analyse de Système – 1977-1978. Bordeaux, C.N.R.S.: Université de Bordeaux: 237.

Kline, S.J. (1995) "Conceptual Foundations for Multidisciplinary Thinking". Stanford, California: Stanford University Press.

Kresic, N. (2013) "Water in Karst: Manegement, Vulnerabily, and Restoration". The McGraw H, Companies, Inc. Estats Units d'Amèrica.

Mangin (1970) "Contribution a l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et tarisment". Annales de Spéléologie, 25, 3 :581-610.

Mangin, A. (1975) "Contribution à l'étude de hydrodinamique des aquifères karstiques". Tesi doctoral. In Annales de Spéléologie 29(3): 283-332; 29(4): 495-601; 30(1): 21-124.

Mangin, A. (1977) "Le karst et son originalité définie à partir des résultats obtenus par l'hydrodinamique". Speleon 23: 59-65.

Mangin, A. (1978) "Le karst, entité physique, abordé par l'étude du système karstique". Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO - Colloque de Tarbes.

Mangin, A. (1982) "L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques". Reunión Monográfica sobre el Karst-Larra 82, Isaba-Navarra, 4-11 octubre 1982. Publicaciones del Servicio Geológico de la Dirección de Obras Públicas de la Diputación Foral de Navarra.

Mangin, A. (1994) "Karst Hydrogeology". In Groundwater Ecology. J. Gibert, D.L. Danielopol y J.A. Stanford (ed.). London, Academic Press: 43-67.

Marsily, G (1996) In "Rapport sur la Gestion durable des Eaux Souterraines". Paris: Conseil Général des Mines-Ministère

de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications.

Milanovic, P.T. (2004) "Water Ressources Engimeering in Karst". CRC Press LLC. Estados Unidos de América.

Monterde, M. (1998a) "Memòria del mapa hidrogeològic del sistema càrstic de Joeu". Barcelona: Generalitat de Catalunya. Junta d'Aigües.

Monterde, M. (1998b) "Cartografía de los riesgos, vulnerabilidad y protección de los sistemas kársticos de Uelhs deth Joeu y Aigüèira (Pirineos Centrales)". Bellaterra: Universitat Autónoma de Barcelona. Departament de Geografia.

Morin, J.P. (1992) "Le radon traceur de transport des fluides dans le sol: simulation, modélisation et applications géophysiques". Tesis doctoral. Clermont-Ferrand: Université Blaise Pascal- Clermont II, U.F.R. de Recherche Scientifique et Technique.

Morin, J.P. (1995) "Exchange of mater and fluids motion in karstic media. Final report". Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Institut Cartogràfic de Catalunya. Servei Geològic de Catalunya.

Palau, J. (1995) "El plutó de Marimanya i el seu encaixant". Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica.

Rijckborst, H. (1967) "Hydrology of the upper-Garonne basin (Valle de Aran, Spain)". Leidse Geologische Mededelingen 40: 1-74.

Rouch, R. (1978) "Le système karstique et son unité biologique". Le Karst. Son originalité physique. Son importance économique. Réunion AGSO - Colloque de Tarbes.

Sitter, L.U. de (1954) "Note préliminaire sur la géologie du val d'Aran". Leidse Geolol. Meded., 18: 272-280.

Walliser, B. (1977) "Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes". Paris: Editions du Seuil.

Zwart, H.J. (1979) "The geology of the central Pyrenees". Leidse Geologische Mededelingen 1-74 pp.


Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español
EXCURSIÓN:
LAS AGUAS TERMALES Y EL KARST DEL VAL D'ARAN
AIGÜES TERMAUS E KARST DERA VAL D'ARAN.
26 DE ABRIL 2025
PROFESORADO: CARLES BALASCH, TONI FREIXES, JORDI GAVALDÀ, JOSEP M. MÀSICH I MANEL PASCUAL
UELHS DETH JOEU
ARTIGA DE LIN
HIDROGEODÍA
2025
SEDPGYM
SIGMADOT
ETSEAFIV
Universitat de Lleida
Fluvial Dynamics Research Group
RIUS
Conselh Generau d'Aran
APADRINA UNA ROCA
CSIC
IGME 175
COLABORA
¿QUIERES COLABORAR?
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
Universitat de Lleida
Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl
Universitat de Lleida
Biblioteca i Documentació
Biblioteca del CAFIV
Universitat de Lleida
Vicerectorat de Cultura i Extensió Universitària



Logroño

HIDROGEODÍA 2025

LA RIOJA

23 DE MARZO

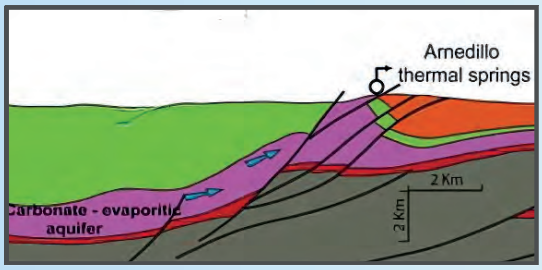
Excursión guiada gratuita

PLAZAS LIMITADAS

Un paseo hidrogeológico en los valles del Ebro y Cidacos. Descubriendo el hidrotermalismo en La Rioja, la evolución fluvial y la construcción de la presa de Enciso







- Itinerario: Logroño - Calahorra - Arnedillo - Enciso - Logroño
- Punto de encuentro: Logroño: Puente de Piedra, punto de información al peregrino. 08:30 h
  Calahorra: Aparcamiento público en Calle Goya. 09:45
  Regreso aproximado a las 15:30 a Calahorra y 16:00 a Logroño
- Inscripciones: enviar e-mail con nombre y apellidos: jon.jimenez@igme.es

Más información en: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA



Madrid

HIDROGEODÍA 2025

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC IGME

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGEODÍA MADRID

Sábado, 22 de marzo de 2025



El agua en San Lorenzo de El Escorial:
del origen renacentista del Real Monasterio a sus obras hidráulicas, un paseo desde el s. XVI al s. XX

EXCURSIÓN GRATUITA

- Plazas limitadas
- Se recomienda llevar: ropa y calzado cómodo, agua y comida

TRANSPORTE: ***Por cuenta del interesado***

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA
e-mail: a.delalosa@igme.es

HORARIO: 10:00-15:00 h

PUNTO DE ENCUENTRO: 9:45 en la entrada al Real Centro Universitario Escorial - María Cristina, en el Paseo de los Alamillos, 2. San Lorenzo de El Escorial

RECORRIDO A PIE (8-10 km)

Información detallada y folleto de la excursión: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/

M.I. Ayuntamiento San Lorenzo de El Escorial

APADRINA UNA ROCA

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?

CSIC IGME 175 AÑOS

HIDROGEODÍA 2025 MADRID

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas | IGME Instituto Geológico y Minero de España

iah aih Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español



El agua en San Lorenzo de El Escorial: del origen renacentista del Real Monasterio a sus obras hidráulicas, un paseo desde el s. XVI al s. XX





M.I. Ayuntamiento
San Lorenzo de El Escorial

22 de marzo de 2025

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 **octava edición** es entender el funcionamiento del agua en el entorno del Monasterio de **San Lorenzo de El Escorial** y como ésta ha condicionado su ubicación, así como dar a conocer el patrimonio e infraestructuras hidráulicas asociadas al Real Sitio. Se propone un recorrido circular a pie (Fig. 2) a lo largo del cual se podrá conocer:

- El contexto geológico e hidrogeológico del entorno del Monasterio de El Escorial.

- El aprovechamiento histórico de las aguas y obras hidráulicas vinculadas al Real Sitio.

- Los efectos de la Dana (año 2023) en la zona de San Lorenzo de El Escorial.



Figura 1. Hidrogeodía 2024 - Madrid. Humedal de la gravera de Tranzones (Ciempozuelos)



1) Estanque del monasterio. 2) Parque Conde de Aranda. 3) Arca del Romeral. 4) Presas del Romeral. 5) Efectos de la Dana 2023 en el arroyo del Romeral. 6) Fuentes de La Currutaca y La Teja. 7) Arca del Helechal. 8) Presa del Infante. 9) Jardines de la Casa del Infante.

Figura 2. Mapa de localización con las paradas del Hidrogeodía 2025 - Madrid

ENTORNO GEOLÓGICO

Encuadre geológico de la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid se encuentra situada en la zona central de la Península Ibérica, abarcando los relieves más destacados del Sistema Central (Sierras de Guadarrama y Somosierra) así como una parte del sector noroccidental de la Depresión o Cuenca del Tajo (Fig. 3).

Desde el punto de vista geológico, una parte del territorio abarca los relieves serranos de compleja historia geológica y otra se ubica sobre una cuenca intracratónica cenozoica de forma triangular y rellena de sedimentos continentales fluvio-lacustres, con edades de hasta 66 millones de años (66 M.a.), denominada Cuenca del Tajo. Estos sedimentos proceden en gran parte del desmantelamiento de los relieves circundantes y sobre los que se ubica la ciudad de Madrid, así como un gran número de poblaciones de la zona meridional de esta Comunidad.

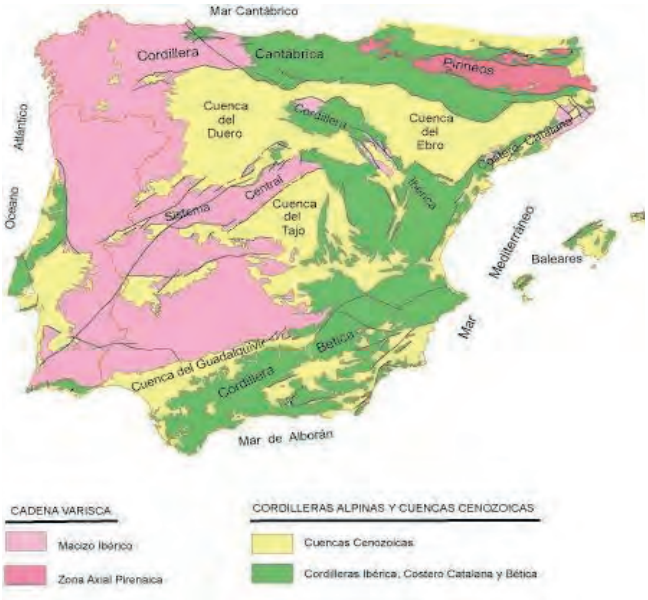


Figura 3. Esquema de las grandes unidades geológicas de la Península Ibérica (Vera, 2004)

Hacia el norte y noroeste dicha cuenca como queda delimitada por los relieves paleozoicos del Sistema Central, por los que discurre esta visita; al sur, por los de los Montes de Toledo y al este, por los relieves mesozoicos de la Sierra de Altomira y de la Cordillera Ibérica.

Las aguas superficiales que discurren por la Comunidad de Madrid forman parte de la cuenca hidrográfica del Tajo, destacando, entre otros, los ríos: Alberche, Guadarrama, Manzanares, Henares, Jarama y Tajuña, así como un sinfín de afluentes tributarios de estos, cuyas aguas se vierten todas al río Tajo, que transcurre por el sur de la provincia.

Los distintos tipos de roca que se observan, tanto en superficie como en el subsuelo, son un importante condicionante hidrogeológico, influyendo en la existencia y/o presencia de manantiales, así como en el discurrir de las aguas superficiales.

Aspectos geológicos de San Lorenzo de El Escorial y del área visitada

Una parte de la Comunidad de Madrid y en particular la zona de San Lorenzo de El Escorial y su entorno, se localiza en el Sistema Central (Fig. 4), concretamente en las estribaciones suroccidentales de la Sierra de Guadarrama. Los relieves de esta cadena montañosa, como ya se ha comentado, ponen límite al sector central de la Cuenca del Tajo.

El Sistema Central, del que forma parte la Sierra de Guadarrama, delimita en parte las cuencas cenozoicas del Duero y Tajo, conociéndose también a esta última y de forma local como Cuenca de Madrid. La cadena montañosa por donde discurre el Hidrogeodía Madrid 2025 está constituida principalmente por rocas metamórficas paleozoicas, deformadas por la Orogenia Varisca, así como por rocas graníticas.

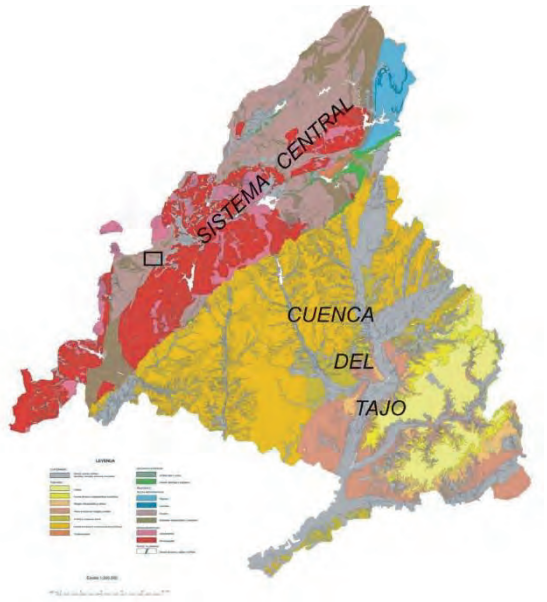


Figura 4. Esquema litológico de la Comunidad Autónoma de Madrid, con indicación del entorno de San Lorenzo de El Escorial (rectángulo negro)

Las rocas más antiguas que conforman esta cadena montañosa, y en particular el sector central y oriental de la Sierra de Guadarrama, son rocas metamórficas de origen sedimentario formadas en el fondo de un antiguo mar, y correspondiendo tras su metamorfismo a esquistos, metaareniscas, cuarcitas y mármoles, denominadas en conjunto como metasedimentos del Neo-proterozoico superior-Cámbrico inferior y cuya edad supera los 520 M.a.

Asociado a estos materiales aparece también un importante volumen de rocas ígneas prevariscas, originalmente rocas volcánicas y/o antiguos granitos fuertemente metamorfizados, que se transformaron en ortogneises glandulares como son, por ejemplo, los afloramientos de las estribaciones del Monte Abantos, paraje por donde transcurre la visita, y que se pueden atribuir al Cámbrico superior-Ordovícico inferior (500-475 M.a.).

Todo este conjunto de materiales rocosos (Fig. 5) se encuentra afectados por la Orogenia Varisca, antes denominada Hercínica. Durante esta orogenia todos esos materiales fueron sometidos a varias fases o etapas de deformación y de metamorfismo en condiciones de alta temperatura y baja presión, generándose grandes estructuras y pliegues apretados con una esquistosidad asociada bien desarrollada (Escuder Viruete *et al.,* 2004).

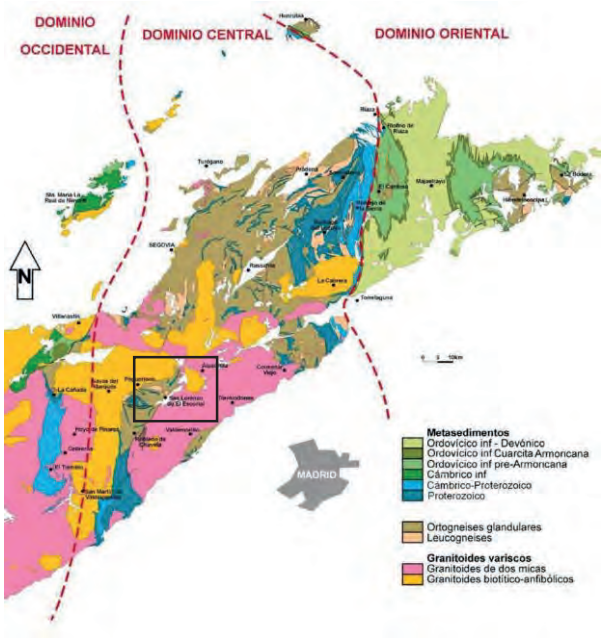


Figura 5. Esquema geológico del Paleozoico del Sistema Central (Rubio Pascual, 2012) con la localización del área a visitar (rectángulo negro)

A finales de esta orogenia, en el Carbonífero superior, entorno a los 290-300 M.a., intruyeron nuevamente diferentes cuerpos graníticos que conforman buena parte de la Sierra de Guadarrama y estribaciones surorientales (Galapagar, Hoyo de Manzanares o Colmenar Viejo).

En general son rocas que se pueden sintetizar en dos grandes grupos según su composición, texturas y tamaño de grano: Granitos de grano grueso, a veces porfídicos, que forman grandes masas y que suelen dar importantes relieves y paisajes característicos como, por ejemplo, los de La Pedriza o los de Siete Picos y Leucogranitos de grano fino a medio que dan lugar a relieves destacados por su resistencia a la erosión como los de La Cabrera.

Sobre esos materiales paleozoicos (gneises y granitos), en el sector central de la Sierra de Guadarrama se dispuso un conjunto relativamente potente de sedimentos mesozoicos y paleógenos, que se soterran bajo los rellenos neógenos de las cuencas del Duero y Tajo. La presencia de los primeros depósitos es debida a que las montañas formadas durante la Orogenia Varisca se fueron erosionando a lo largo del Mesozoico durante más de 200 millones de años, hasta que, en el Cretácico Superior, hace unos 95 M.a., la zona central de la Península Ibérica quedó más o menos peneplanizada y buena parte de ella volvió a quedar cubierta por el mar. De esta forma, durante el transcurso de varios millones de años y casi hasta finales de esos tiempos mesozoicos se sedimentaron arenas, margas, calizas y dolomías en las costas y mares tropicales que entonces existían.

Los sedimentos carbonatados que se depositaron en el fondo del mar cretácico y tras la retirada de este, ya en el Cenozoico, concretamente durante el Paleógeno, fueron plegados, fracturados y erosionados como consecuencia de la Orogenia Alpina al levantarse lo que actualmente es el Sistema Central, movimientos que finalizaron a principios del Mioceno, hace unos 20 M.a.

La consecuencia fue la creación de una serie de bloques levantados (Cuerda Larga y Montes Carpetanos) y otros hundidos (el valle del Lozoya) y de una serie de cuencas continentales como las del Duero y Tajo.

A comienzos del Cuaternario, aproximadamente hace unos 2 millones de años, tuvo lugar un progresivo drenaje de la red fluvial de la zona central de la Península Ibérica hacia el oeste, es decir hacia el Océano Atlántico. De tal forma que, las cuencas hasta entonces endorreicas del interior de la península como las del Duero o Tajo, comenzaron a 'vaciarse' hacia el oeste (cuencas exorreicas), estableciéndose así el inicio de las cuencas hidrográficas y de la red de drenaje actual, comenzándose a construir parte del paisaje que ahora contemplamos. (Fig. 6 y 7).

Figura 6. Panorámica de San Lorenzo de El Escorial, al pie del Monte Abantos. Fuente: https://www.sanlorenzoturismo.es/



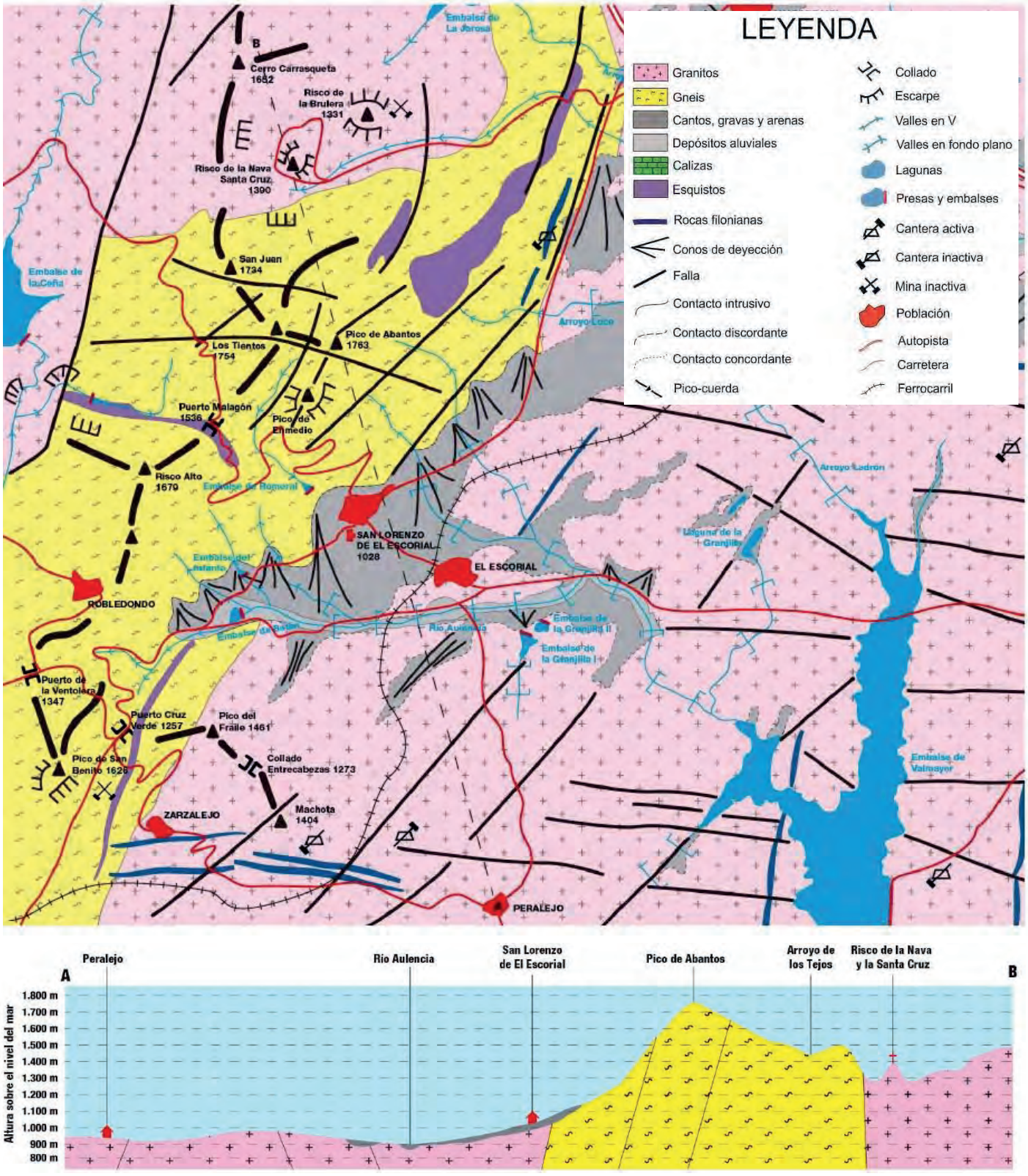


Figura 7. Mapa y perfil geológico simplificado del entorno de San Lorenzo de El Escorial (Agudo Garrido, 2021)

PARADA 1. EL ORIGEN DEL MONASTERIO DE EL ESCORIAL, EL ESTANQUE GRANDE Y LA FUENTE DE BLASCO SANCHO

Existen dos teorías sobre las que se puede rastrear el origen del lugar elegido, a finales del siglo XVI, para el emplazamiento del Monasterio de El Escorial (Remondo, 2022): la teoría hipocrática y la doctrina de Vitrubio. Según la primera, los cuatro humores de la medicina hipocrática (sanguíneo, colérico, flemático y melancólico) estaban relacionados con la cuaterna de elementos clásicos: agua, tierra, fuego y aire. Esa relación debía optimizarse en la búsqueda de los lugares idóneos para la ubicación de ciertas estructuras. La segunda, la vitrubiana, hacía gravitar la elección de los considerados como "lugares sanos" en la proximidad al agua, los terrenos aireados, templados y abiertos, con buena exposición solar.

En ambos casos, el factor agua era fundamental para garantizar el abastecimiento y el regadío. En palabras de Chías y Abad (2014), "*siguiendo la doctrina vitrubiana en la elección de la ubicación del monasterio, la existencia de fuentes que asegurasen el abastecimiento de agua en todas las estaciones del año resultó una cuestión prioritaria, así como la de arroyos con caudal suficiente para construir presas y molinos*".

Por otra parte, a la hora de buscar el lugar idóneo para construir el monasterio, Felipe II y sus colaboradores partieron de un planteamiento típicamente renacentista, la restauración de lo clásico y la aplicación de un cierto "método científico". El rey tenía relación con la comarca escurialense a través de sus cacerías y excursiones a caballo por la zona desde 1560. Envió posteriormente un séquito de "técnicos" a explorarla, con el objetivo de "*examinar la sanidad, abundancia de aguas y aires y las partes naturales del sitio conforme a la doctrina de Vitrubio*". De ese examen derivó la localización: en la Dehesa de la Herrería, surcada por algunos cursos fluviales que bajaban de las laderas del monte Abantos, y de algunas fuentes de aguas subterráneas (manantiales), que tenían un cierto caudal y, sobre todo, eran de carácter permanente, es decir no se secaban durante el estiaje.

Uno de los "técnicos" enviados por Felipe II fue Blas Hernández, afamado especialista en "aguas". Ya en 1561 se citan, en la correspondencia real, la fuente de Blasco Sancho y la fuente de Matalasfuentes, como dos de las más importantes y caudalosas del entorno. De la segunda de ellas, conocida posteriormente como Fuente de la Reina, se decía que contenía "*alguna más sal*" que la primera (Sigüenza, 1605), aludiendo, aunque fuera de manera muy simplista, a sus características hidroquímicas.

Finalmente, la elección del lugar concreto donde levantar el monasterio (que también debía ser palacio, casa real, templo, panteón funerario, biblioteca y colegio), se decantó por la presencia de la fuente de Blasco Sancho, los buenos vientos de Levante y la exposición solar adecuada. Justo donde nacía la fuente se situaría el denominado Estanque Grande (Fig. 8), que daría suministro hídrico seguro y de calidad a los campos de frutales y a otros cultivos diversos situados aguas abajo del mismo, en la Huerta de los frailes.

La fuente de Blasco Sancho se encuentra en la cabecera oeste del estanque Grande, pegada al paseo que existe por encima de la fachada porticada del mismo (el muro de los Nichos), y se accede a ella actualmente a través de una

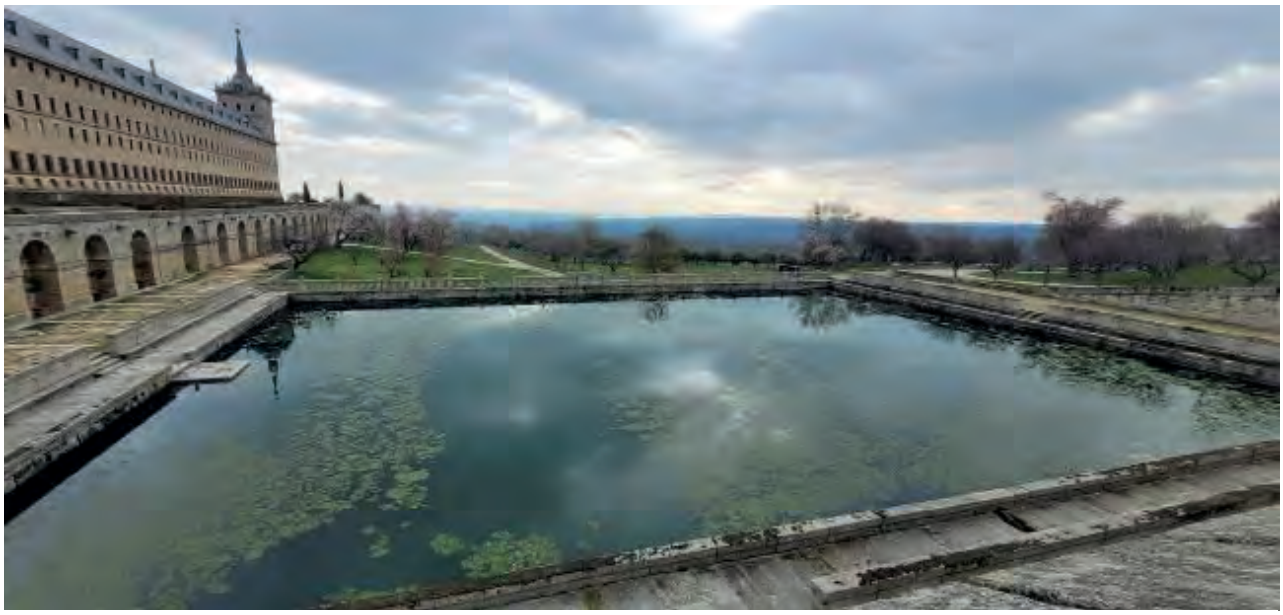


Figura 8. Estanque grande del Monasterio de El Escorial

corta escalera de piedra (Fig. 9). El manantial desagua directamente en el estanque, el cual es también alimentado por algunos cauces superficiales captados a tal efecto.

No se conocen datos históricos del caudal de la fuente, pero puede estimarse en un orden de magnitud de algunos litros por minuto a pocos litros por segundo. Como curiosidad, en fechas recientes, la temperatura de sus aguas parecía ser superior a la que teóricamente debería corresponder en función de su ubicación, cota y características climáticas del entorno.

La fuente y el estanque se canalizaron y construyeron, respectivamente, en 1586 y 1589 (Chías *et al.,* 2023). La huerta se regaba por gravedad, mediante una red de acequias o regueras, alimentadas convenientemente desde el estanque. Otro uso importante del estanque fue el de recreo: Felipe II hizo traer numerosos ejemplares de distintas especies piscícolas desde Flandes, entre ellas carpas y tencas, para su entretenimiento y aprovechamiento alimenticio.



Figura 9. Escalera de acceso a la fuente de Blasco Sancho

Recientemente, Clavero (2022) ha identificado este enclave como uno de los lugares donde se introdujo, desde Italia, el considerado hasta ahora cangrejo de río autóctono, y que parece no ser sino una especie foránea importada en el siglo XVI y adaptada finalmente al conjunto de ríos españoles, hasta su desplazamiento y práctica extinción reciente a causa de la introducción del denominado cangrejo americano.

En las cercanías del estanque se encuentra también el pozo de la nieve del monasterio (Fig. 10), que, aunque no se puede visitar, se observa por encima del vallado existente. Sirvió como almacén anexo al monasterio donde guardar la nieve y el hielo cosechados en los pozos situados en la parte alta de la sierra. El hielo y la nieve se utilizaban para fines medicinales, como refresco de bebidas y para la conservación de ciertos alimentos.



Figura 10. Pozo de nieve del Monasterio de El Escorial

PARADA 2. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LAS ARCAS Y A LOS VIAJES DE AGUA

En el siglo XVI, al tiempo que comenzaba a construirse el Monasterio de El Escorial, Felipe II encargó a los arquitectos de la corte, Juan Bautista de Toledo y Juan de Herrera, una traída de aguas para abastecer su nueva residencia.

La infraestructura hidráulica, diseñada con la probable colaboración de los expertos fontaneros Francisco de Montalbán, Benito de Morales y el ingeniero Pietre Jansen, recoge el agua desde dos ramales (Fig. 11), uno desde la zona de los arroyos del Tobar y Helechal y otro desde el arroyo del Romeral, contando ambas obras con dos elementos fundamentales:

- Canales o viajes de agua: su función era canalizar y transportar el agua captada desde los arroyos o manantiales de la ladera sur del Monte Abantos. Los viajes estaban formados por una zanja excavada directamente en el suelo o roca, en el primer caso revestida con piedra, sobre la que se aplica un lecho de arena y sobre este, una tubería cerámica de barro cocido vidriado (Fig. 12).

- Arcas: situadas a lo largo del viaje de agua, tienen la función de filtrar por decantación el caudal de agua que en ellas entra, y que permiten retirar, no solamente la arena (por ello también se denominan desarenadores o balsas de decantación), sino también elementos de mayor tamaño como ramas, hojarasca, e incluso peces que pudieran llegar a obturar o atascar las conducciones salientes (Fig. 12). Suelen disponer de balsas o pozas escalonadas, provistas de piedra menuda para favorecer la decantación. El agua accede a ellas por una canalización procedente desde otra arca situada a una mayor altitud, o en ocasiones directamente del arroyo donde se ubica, y en cuyo caso suele existir un muro o contención exterior al arca, que permite ralentizar la corriente del agua previamente a su entrada a la misma.

En la actualidad se conservan cuatro arcas del sistema de abastecimiento: San Juan, en la cabecera del sistema, Merinera, Helechal y Cascajal o del Romeral (Fig. 11).

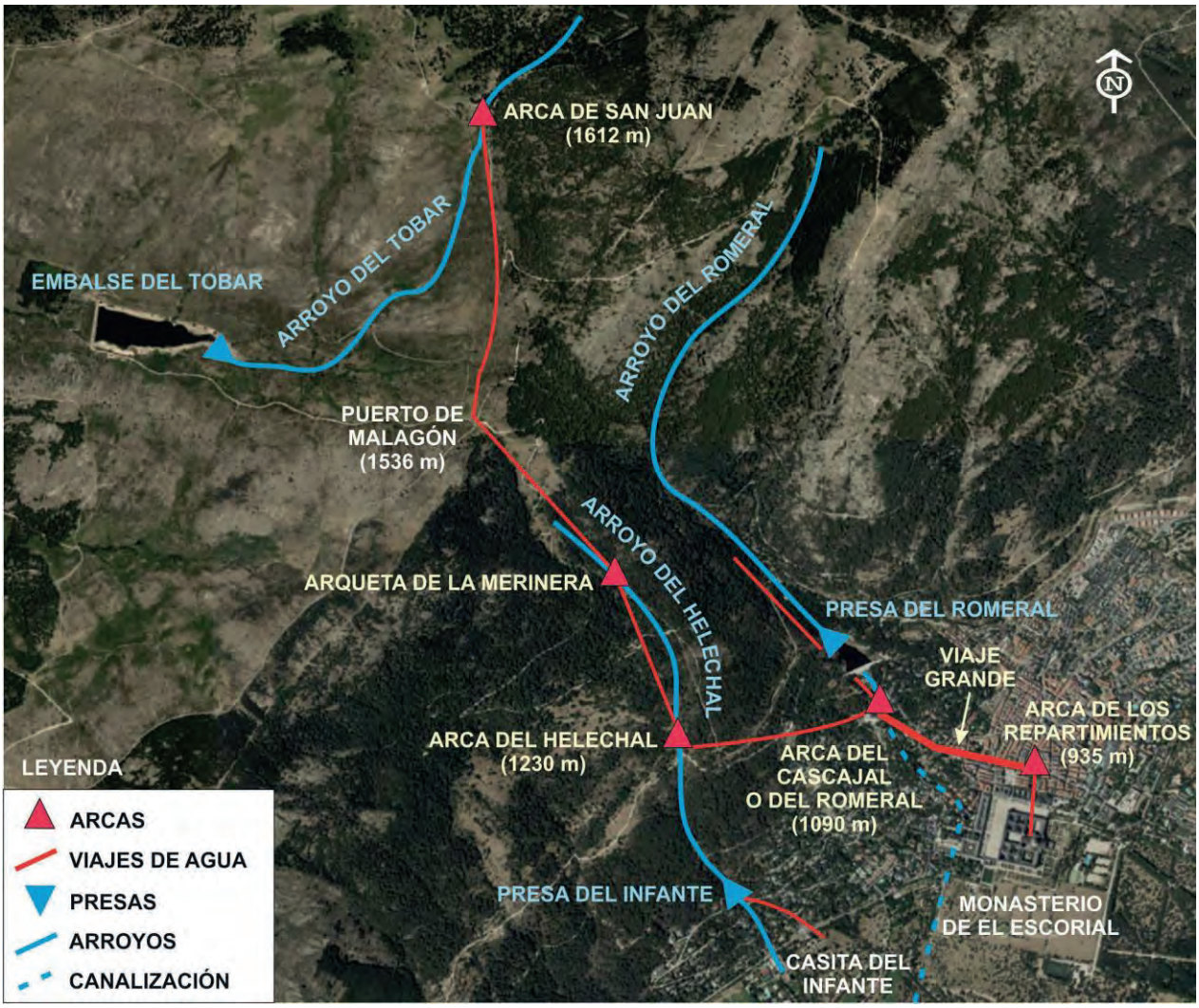


Figura 11. Los arquitectos denominan Canal de El Escorial a la obra hidráulica constituida por tres viajes de agua (Comunidad de Madrid-COAM, 1998): 1. Viaje de los Altos de Malagón o del arroyo del Tobar-Helechal; 2. Viaje del arroyo del Romeral; 3. Viaje Grande, desde el Arca del Romeral (o Cascajal) y que conducía los caudales de los dos viajes anteriores hasta el Arca de los Repartimientos, y desde aquí a las dependencias del monasterio. El sistema fue utilizado durante más de 300 años



Figura 12. elementos principales del Canal de El Escorial: Viajes de agua (A y B) y Arcas, en este caso se muestra el interior del arca del Helechal, en donde se observan sus balsas escalonadas de decantación (C)

Otros elementos que conforman esta infraestructura hidráulica son pequeños acueductos, diseñados para salvar los desniveles del terreno, y las arquillas de registro, que facilitaban la limpieza del canal.

La mayoría de las arcas se mantienen en pie hoy en día, gracias en parte a su sólida construcción en piedra granítica que ha aguantado el paso de los años. Sin embargo, otros elementos, como los viajes, los acueductos o las arquillas, están muy deteriorados o desgraciadamente han desaparecido por completo por diversas causas: el paso del tiempo y su abandono por desuso o falta de mantenimiento, por acometerse la construcción de nuevos caminos o carreteras, por desbroces y otras labores forestales y por fenómenos meteorológicos locales de gran envergadura que causan el desbordamiento de los principales arroyos y el arrastre de piedras y materiales.

Sirva de ejemplo los efectos devastadores sobre algunos elementos patrimoniales causados por la DANA acaecida el 3 de septiembre de 2023 (parada 5), y más recientemente tras las lluvias torrenciales que acompañaron a la borrasca Jana los días 5 y 7 de marzo de 2025.

Proyecto de restauración arqueológica de las arquillas de las calles Carlos Ruiz, 4 y de Cebadillas, 5

Como se observa en la figura 11, ambos viajes, el del Tobar-Helechal y el del Romeral, se juntaban en el Arca del Romeral, el cual visitaremos en la próxima parada. Desde allí seguían formando el "Viaje Grande", que terminaba en la desaparecida Arca de los Repartimientos (Maroto, 2024), situada entre las actuales plazas de Jacinto Benavente (los Jardincillos) y de San Lorenzo (Fig. 13).

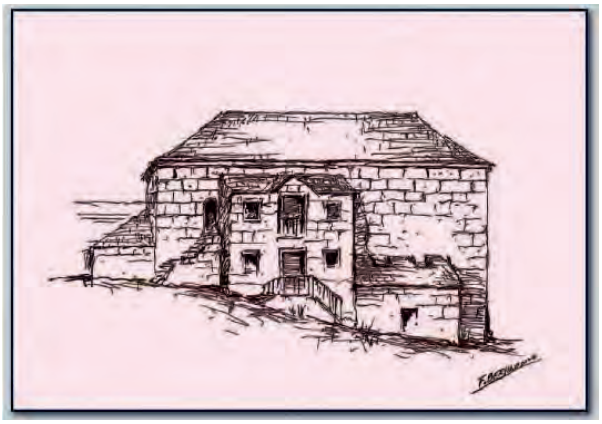


Figura 13. Arca de los Repartimientos, demolida el 27 de septiembre de 1911. Colección Félix Bernardino

En su camino, el Viaje Grande contaba con unas arquillas de registro, y algunas de ellas han sido las recuperadas en el Parque Conde de Aranda.

Las arquillas se situaban a poca distancia entre sí y tenían una doble función: servían como punto de acceso para poder realizar la limpieza del canal y funcionaban también como decantadores en los que se depositaban las impurezas arrastradas por el agua en su descenso, garantizando así que el agua que llegaba al monasterio fuera de gran calidad. El agua entraba en el registro, a un sencillo cajón de granito sin fisuras, reducía su velocidad para depositar las impurezas y salía, más limpia, por el extremo opuesto, en dirección al monasterio.

La primera de las arquillas restauradas (s. XVI) se conservaba en la calle Carlos Ruiz, 4, a menos de 100 m de su situación actual. Está formada por una pequeña construcción de sillería que cubre el registro del canal. En todo el Viaje Grande, el canal estaba formado por dos tubos cerámicos paralelos protegidos por una potente argamasa, de la que se ha recuperado una muestra junto a la arquilla reconstruida (Fig. 14).

Es decir, para facilitar la comprensión del funcionamiento de la arquilla, se ha optado por mostrar también las partes de la construcción que iban enterradas, los tubos cerámicos de salida, pero hay que entender que en su momento únicamente se veía la parte de sillería, que servía de señalización y protección de cada registro.



Figura 14. Arquilla de la C/ Carlos Ruiz, 4 tras su restauración

A partir de 1911, cuando se demolió el Arca de los Repartimientos, la arquilla de Carlos Ruiz, 4 se transformó en fuente pública, con el antiguo registro como depósito y un vaso nuevo de ladrillo adosado a un lateral, al que el agua llegaba tras pasar por un filtro (Fig. 15). Este uso como fuente salvó a la arquilla de desaparecer.



Figura 15. Estado de la arquilla de la C/ Carlos Ruiz, 4 antes de su restauración. Se aprecia en el lateral el vaso de ladrillo de la fuente

La otra arquilla, la de la calle Cebadillas 5 (Fig. 16), se parece externamente a la anterior, pero pertenece a una ampliación de la traída de aguas, promovida por el Ayuntamiento en 1866, cuando San Lorenzo contaba con 2000 habitantes. La nueva conducción recogía agua de los arroyos Machucho y Cebadillas y daba servicio a varias fuentes públicas.



Figura 16. Arquilla de la C/ Cebadillas, 5 tras su restauración

El arca tiene, en planta, unas dimensiones de 1,96 x 1,96 m y el aspecto constructivo más destacado es su cubierta, formada por 4 piezas graníticas de grandes dimensiones. Estuvo integrada en la red municipal hasta finales del siglo XX (Fig. 17), y ahora, perdida su función original, se ha trasladado al parque del Conde de Aranda.



Figura 17. Estado de la arquilla de la C/ Cebadillas, 5 antes de su restauración

PARADA 3. ARCA DEL ROMERAL

El arca del Romeral, o Cascajal, es la más antigua y la de mayor tamaño de todo el Canal del El Escorial. El arca presenta una cubierta a seis aguas y, al igual que el resto, está construida en sillería de granito. La planta es irregular y su altura variable para adaptarse al terreno donde se asienta (Fig. 18).



Figura 18. Arca del Romeral, o Cascajal

Esta arca recogía las aguas procedentes del arroyo del Romeral mediante tres pequeños azudes que conducían el agua a un canal de sección rectangular con mayor altura que anchura, cubierto con lajas de piedra. Este canal o viaje de agua, el cual visitaremos en las paradas 5 y 6, actualmente se encuentra interrumpido por la presa del Romeral.

Posteriormente, mediante un pequeño acueducto adosado en un lateral (Fig. 19), el arca recibiría el agua de los arroyos del Tobar y Helechal y una vez tratada, seguía a través del "Viaje Grande" hasta el núcleo urbano de San Lorenzo.

La arquitectura interior del arca es un prodigio constructivo, con dos espacios a diferente altura para filtrar y derivar el agua, separados por una escalinata de acceso. El más grande alberga una balsa rectangular con el soporte central de la cubierta abovedada, constituido por seis columnas con su respectiva arquería de unión a ambos lados (Fig. 20).



Figura 19. Acueducto del arca del Romeral



Figura 20. Interior del arca del Romeral

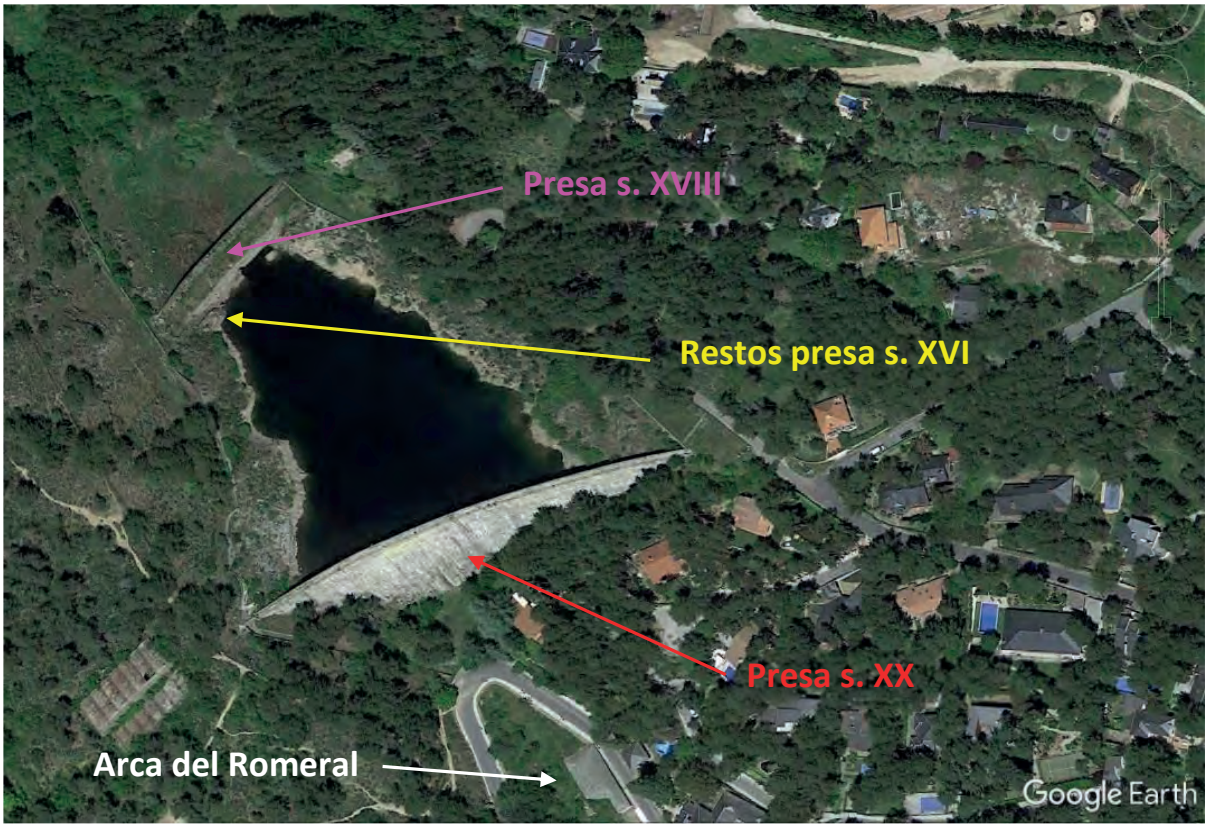
PARADA 4. LAS PRESAS DEL ROMERAL

Desde el inicio de la construcción del Monasterio de El Escorial se desarrolló una importante infraestructura hidráulica para atender su demanda del monasterio. Parte de la misma fueron dos presas erigidas en torno a 1570-1580 en la cabecera de la cuenca del río Aulencia. Una sobre el arroyo del Batán, ligado al funcionamiento de un batán en la parte baja de la dehesa de la Herrería. La otra que nos ocupa es la primitiva presa del Romeral, situada unos 220 m aguas arriba del arca del mismo nombre y que tendría como fin suavizar los efectos de la estacionalidad del régimen hídrico del arroyo sobre el suministro al monasterio.

Si bien algunos señalan que la presa del Romeral es obra de Juan de Herrera, no existen documentos que acrediten de forma fehaciente su autoría, siendo probable que dicha afirmación se deba a la contemporaneidad de la misma con la construcción del monasterio.

En 1767, Carlos III permitió construir viviendas particulares en los Reales sitios, y comenzó así el crecimiento de San Lorenzo de El Escorial (Chías *et al.,* 2023). Para atender la mayor demanda de agua, entre 1770 y 1780, se construye en el arroyo del Romeral una segunda presa inmediatamente aguas arriba de la primitiva (Fig. 21). La descripción siguiente tiene como referencia la realizada por Jiménez Hernández (2024): presa de gravedad de 20 m de altura, 10 m de ancho, 70 m de longitud de coronación y planta de 700 m^2. El embalse tiene una superficie de 0,47 ha y una capacidad de 0,04 hm^3.

Figura 21. Presas del Romeral. Fuente: Google Earth



Esta segunda presa (Fig. 22) interrumpió el canal o viaje de agua del arroyo del Romeral, el cual visitaremos en la próxima parada.



Figura 22. Un par de niños cargando leña junto al arroyo del Romeral. Al fondo se aprecia el arca del Romeral y detrás la presa del mismo nombre. Fotografía tomada en la primera década del siglo XX. Colección Félix Monteverde.

Si bien se desconoce la autoría del proyecto, éste se atribuye a Juan de Villanueva. Se construyó a base de cajones de mampostería rellenos de tierra y recubiertos con sillería en las dos caras, sin trabazón alguna con la obra de mampostería, salvo algunos sillares colocados a tizón a distancias de metro y medio. Esta modalidad constructiva propicia desperfectos, sobre todo en el espaldón de aguas arriba, por lo que la presa fue sometida a varias reparaciones en los años 1871 y 1931 debido a daños causados por lluvias torrenciales

La presa dispone de un desagüe de fondo central regulado por una compuerta deslizante (Fig. 23) y su aliviadero sería por vertido libre sobre su coronación.



Figura 23. El vaso vacío de la presa del Romeral. En primer plano se observa la presa atribuida Juan de Villanueva (s. XVIII). Se aprecia su desagüe de fondo y, a la izquierda, se observan los restos del grueso muro de mampostería del cuerpo de la presa del s. XVI (Chías et al., 2023)

Su régimen de explotación consistía en que la presa no embalsara en invierno, para tener plena capacidad de embalse en el deshielo y disponer de recurso almacenado en el estío, por ello se cerraba en primavera (Fernández Ordóñez, *et al.,* 1984). Debido a que las aguas superficiales eran susceptibles de contaminarse por el arrastre de materias orgánicas y minerales, fermentando y descomponiéndose durante el verano, el agua embalsada en la presa se utilizaba para riegos de jardines, limpieza viaria, de ropa y de las alcantarillas.

Nuevamente el crecimiento de la población de El Escorial fue el revulsivo para que, a principios del s. XX, se propusiera la construcción de una nueva presa sobre el arroyo del Romeral, que se elevó 125 m aguas abajo de la presa dieciochesca (Fig. 21). Así, quedó esta última y los restos de la primitiva, dentro del nuevo vaso de embalse.

La nueva presa puede considerarse de tipo arco-gravedad, pues su curvatura permite que sus estribos apoyen en las laderas de la cerrada contribuyendo, junto con su peso, a resistir el empuje del agua embalsada.

Fue diseñada por el ingeniero M. del Campo. La construcción se desarrolló entre 1928 a 1931 y fue recrecida en 1941. Su longitud de coronación es de 185,5 m, su altura es de 31 m (las cotas de coronación y cimentación son 1141 m s.n.m. y 1110 m s.n.m. respectivamente) y el volumen del cuerpo de presa es 34.000 m^3.

La cuenca aportante de la presa del arroyo del Romeral comprende unos 2,52 km^2 (Fig. 24), pudiendo almacenar una superficie de embalse de unas 2 ha y descargar el agua por un aliviadero con una capacidad de 9 m^3/s (SEPREM, 2025; iAGUA, 2025).

La entrada en funcionamiento de esta presa modificó el sistema de abastecimiento a El Escorial, pues desde ese momento comienza a funcionar una nueva traída de aguas desde la presa del Tobar, en Santa María de la Alameda, hasta la casa de Los Llanillos, y de allí a la esta nueva presa, quedando el arca del Romeral como depuradora de las aguas del embalse (Jiménez Hernández, 2024).



Figura 24. Cuenca de aporte de la presa nueva del Romeral

Esta presa tuvo problemas estructurales y se rompió en marzo del 1943, inundando parte de San Lorenzo. Desde ese evento tiene limitado el llenado de su embalse a niveles mínimos (Fig. 25).

Figura 25. Foto panorámica de las tres presas del Romeral



PARADA 5. EL PAISAJE DESPUÉS DE LA TORMENTA. EFECTOS DE LA DANA 2023 EN EL ARROYO DEL ROMERAL

El arroyo del Romeral (o del Cervunal) nace en los pastos de alta montaña del Monte Abantos, a unos 1.700 m. de altitud. Este arroyo pertenece a la demarcación del Tajo y vierte sus aguas a la cuenca del río Aulencia. El arroyo tiene una longitud de 3.604 metros y una superficie de cuenca total de unos 3 km^2. La cota máxima de la cuenca se sitúa en 1.761 metros y la mínima de 1.031 metros.

Este arroyo en su viaje descendente ejerce una función de erosión y transporte, depositando los materiales arrastrados formando abanicos o conos de deyección constituidos por rocas detríticas y sueltas sin cementar (Fig. 26).



Figura 26. Arroyo del Romeral (marzo de 2025)

Su valle fluvial da origen a un barranco que se encaja entre grandes peñascos de rocas duras (gneises) que contribuyen al mantenimiento de un microclima muy especial que favorece el desarrollo del bosque del Monte del Romeral constituido por Pinsapos y Hayas. Además, todavía se conservan pequeñas turberas junto al arroyo que dan prueba de la extraordinaria singularidad de este paraje.

La estación fluviométrica y de aforos del arroyo del Romeral

Miguel del Campo y Bartolomé, vecino de San Lorenzo de El Escorial e Ingeniero de Montes, fue el promotor del importante proyecto de plantación de pinos que tuvo lugar en 1892 en el arroyo del Romeral, en el paraje de la Fuente de la Teja, coincidiendo con el traslado de la Escuela de Montes al Real Sitio de San Lorenzo de El Escorial, donde permaneció hasta 1914. Este lugar se convirtió en su época en un ejemplo de repoblación forestal, recibiendo el nombre de Parque de Miguel del Campo en su honor.

Posteriormente, en 1914, la Dirección General de Agricultura, Minas y Montes autorizó un presupuesto extraordinario para la construcción de una estación fluviométrica (Fig. 27 y 28). La estación Fuente de la Teja se instaló unos metros aguas arriba de la presa del Romeral, en terreno del monte *La Jurisdicción*, y sirvió para evaluar de forma continua el caudal del arroyo del Romeral, determinando cómo variaba la hidrología de la cuenca al ejecutarse la reforestación de sus laderas.

Las estaciones fluviométricas o de aforo son de vital importancia tanto para la gestión de avenidas, eventos de estiaje, así como para el conocimiento de las reservas hídrica en cada momento en los embalses y posibilitan el mejor uso posible para el agua en sus aprovechamientos agrícolas, monitorizando el recurso que circula por los arroyos, ríos, etc.



Figura 27. Situación de la estación fluviométrica en la cola del embalse del Romeral. Del Campo, 1915 y 1920



Figura 28. Estación fluviométrica de la Fuente de la Teja en el Arroyo del Romeral. Del Campo, 1915 y 1920

La estación fluviométrica constaba de un canal recto de 13,5 m de longitud dividido en tres tramos. Los tramos extremos, inferior y superior, estaban abiertos en el terreno natural, mientras que el tramo intermedio era de obra, de mampostería, y dividido longitudinalmente en 3 canalillos iguales, de sección rectangular, estando uno de ellos abierto constantemente y los otros dos cerrados mediante compuertas metálicas, abriéndose una de ellas, o las dos, en función de la cantidad de agua que pasase en cada momento. El canalillo desprovisto de compuertas estaba comunicado con un pozo lateral al mismo, de ladrillo enlucido de cemento, en el que se ubicaba el flotador del limnigrafo. Los tres canalillos terminaban en su parte inferior en una pila común y provista de una escala que servía para los aforos en época de estiaje (Fig. 29).

El limnígrafo era la parte principal de la estación. Estaba formado por un flotador, cuyas oscilaciones se marcaban en un rodillo que era movido mediante un reloj, lo cual permitía anotar los registros horarios de caudales. Todo el conjunto se situaba bajo un cobertizo de madera y teja, rodeado de un cerramiento de alambre de espino para impedir el acceso.

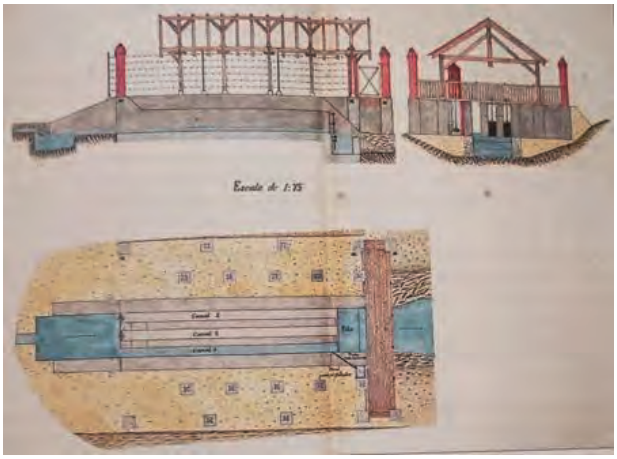


Figura 29. Esquema de la estación de fluviométrica Fuente de la Teja. Del Campo, 1915 y 1920

El 1915, Miguel del Campo publicó Observaciones Hidrológico-Forestales en el monte de la Jurisdicción, pero no fue hasta 1920, cuando publicó los primeros y únicos resultados que se conservan en esta campaña de observaciones, correspondientes a los años 1915-1916 y 1916-1917 (Del Campo, 1915 y 1920)

Además de la estación fluviométrica, se autorizó también la instalación de 10 pluviómetros distribuidos a lo largo del barranco a distintas altitudes y exposiciones, para que los datos reflejasen lo mejor posible la variabilidad de la cuenca del Romeral.

Efectos de la DANA 2023

Los efectos de la DANA (episodio meteorológico de precipitaciones intensas) ocasionadas durante los días 2 - 4 de septiembre de 2023 tuvo unas consecuencias catastróficas en el arroyo del Romeral (AEMET, 2023). La estación fluviométrica fue destruida, de la cual sólo queda alguno de sus restos (Fig. 30), así como el acueducto del Romeral, construido en 1924 en sillería de piedra con 3 arcos de medio punto y que fue derribado por el gran caudal.



Figura 30. Destrozos causados por la DANA de 2023

El principal impacto de este episodio fue la precipitación acumulada en zonas relativamente extensas en la Península. La precipitación media anual en la zona de San Lorenzo de El Escorial es de unos 800 mm, y la cantidad de lluvia registrada durante el año 2023 fue de 903, 5 mm con una distribución muy irregular, sobre todo durante los meses de septiembre y octubre (Fig. 31).

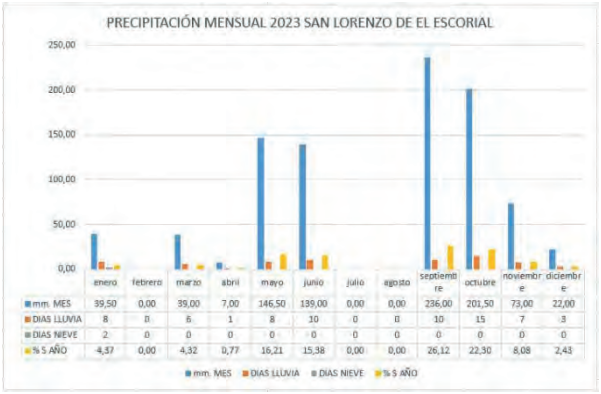


Figura 31. Datos de precipitación mensual durante el año 2023 en San Lorenzo de El Escorial. Fuente: Agudo Garrido, 2024

La DANA dejó precipitaciones excepcionales en las localidades de El Escorial, Robledo de Chavela o Zarzalejo. El acumulado alcanzó cifras de entre 150 y 220 mm, prácticamente un tercio de lo que había llovido en un año. En el caso concreto de San Lorenzo de El Escorial se registraron 170 mm o litros por metro cuadrado, dejando un récord histórico en el municipio desde que hay registros de AEMET desde 1946. Esto provocó que las carreteras y calles amanecieran cubiertas de lodo y piedras, garajes y bajos inundados y numerosos desperfectos en instalaciones municipales como polideportivos o colegios (Fig. 32).



Figura 32. Barro y piedras en la calle Pozas, junto al nuevo edificio de los Juzgados de San Lorenzo de El Escorial

PARADA 6. ACUÍFEROS EN ROCAS DURAS: LAS FUENTES DE LA CURRUTACA Y DE LA TEJA

Los acuíferos en rocas duras, conocidos también habitualmente por su nombre en inglés, acuíferos en *hard rocks*, se desarrollan en litologías compactas, cristalinas, de origen metamórfico y plutónico, poco o nada solubles en condiciones ambientales (a diferencia de las rocas evaporíticas), como son los gneises y granitos que ocupan la mayor parte del entorno de San Lorenzo de El Escorial.

Éstos acuíferos se caracterizan por presentar una enorme heterogeneidad en cuanto a sus valores de permeabilidad. Aunque las rocas cristalinas poseen una cierta porosidad, en general se consideran medios de muy baja permeabilidad donde el principal mecanismo del movimiento de las aguas subterráneas es a través de la red de fracturas del macizo rocoso y de las zonas de alteración superficial del mismo. En superficie, la permeabilidad se halla notablemente incrementada por la alteración de la masa rocosa, como sucede por ejemplo en los materiales denominados lehm graníticos. Estas características condicionan que la superficie piezométrica no sea continua y los caudales de los manantiales sean pequeños (de unos litros por minuto a algunos pocos litros por segundo).

A grandes rasgos, la circulación del agua subterránea no suele ir más allá de la decena de metros de profundidad, salvo en ciertos casos de circulación profunda asociada a grandes fracturas, que condicionan flujos regionales descendentes o ascendentes, lo que permite diferenciar en estos medios los acuíferos someros de los de flujo profundo.

En el caso de San Lorenzo de El Escorial estamos ante un acuífero en rocas duras de tipo somero. Los gneises prehercínicos (litológicamente dife-renciados en dos tipos, ortoneises grandulares y leuconeises) presentan algunas hetero-geneidades, cierta fracturación y una alteración superficial, produciendo "saltos" o contrastes en la permeabilidad del terreno. Esto da origen a numerosas pequeñas fuentes, situadas generalmente en las vaguadas o cerca de los cauces de los ríos y arroyos, más frecuentemente en la parte media o baja de sus cursos. La mayor parte de estos manantiales son estacionales, perdiendo la mayor parte de su caudal en el estiaje o incluso llegando a desaparecer.

En el caso de las fuentes de La Currutaca y de La Teja (Fig. 33 y 34), son adecuaciones antrópicas que captan aguas que surgen de manera natural en el entorno cercano. El agua de la precipitación del deshielo o de la escorrentía subsuperficial (o escorrentía hipodérmica) se infiltra aguas arriba en la zona de recarga del acuífero y va circulando por la red de fracturación y alteración superficial. Cuando llega a un medio litológico de menor permeabilidad, aflora sobre el terreno formando estos manantiales.

Se trata de un agua de circulación rápida, de corto recorrido y en general con bajo tiempo de residencia en el acuífero, lo cual condiciona, junto con la "firma" litológica, una composición del agua muy peculiar: mineralización débil, conductividad eléctrica muy baja y pH básico.



Figura 33. Fuente de La Currutaca, construida en 1981



Figura 34. Fuente de La Teja, que recibe su nombre de la teja por donde vierte el agua

La calidad del agua en San Lorenzo de El Escorial

La naturaleza física y química de las rocas influye en la circulación y almacenamiento del agua subterránea, así como en su composición y su vulnerabilidad frente a la contaminación de los acuíferos y manantiales.

La composición química del agua subterránea en rocas cristalinas está controlada por procesos de meteorización de minerales silicatados, intercambio catiónico y disolución

de minerales secundarios. Los feldespatos, minerales dominantes en los granitos, sufren alteración hidrotermal y meteorización en presencia de agua, formando minerales arcillosos como caolinita y montmorillonita, y liberando iones como Na^+, K^+ y Ca^{2+} al medio. Por otro lado, el cuarzo, debido a su baja solubilidad en condiciones naturales, no contribuye significativamente a la mineralización del agua.

Por tanto, las aguas subterráneas en estas litologías suelen presentar muy baja mineralización y facies hidroquímicas dominadas por los pares bicarbonato-sodio y bicarbonato-calcio, dependiendo del tipo de feldespato predominante y del grado de evolución del agua en el acuífero.

Uno de los factores que más afectan a la calidad del agua es el tiempo de residencia. De forma general, las aguas con mayor tiempo de residencia en el subsuelo presentan mayores concentraciones de sólidos disueltos totales (TDS) debido a la prolongada interacción agua-roca. En acuíferos graníticos, los TDS suelen ser muy bajos, oscilando entre 50 y 300 mg/L, aunque pueden alcanzar valores más altos en zonas en las que se produce alteración hidrotermal intensa. Las aguas superficiales que discurren sobre formaciones graníticas apenas interaccionan con la roca y presentan conductividades incluso inferiores que las subterráneas pues son las aguas de circulación profunda las que se enriquecen en iones como la sílice, el calcio, el sodio o el potasio. Otro factor que tiene una influencia decisiva sobre la composición del agua es el clima, las temperaturas elevadas y la recarga intensa en regiones lluviosas favorece la dilución de los solutos en el agua subterránea.

Respecto a la contaminación, uno de los principales problemas de calidad en aguas subterráneas en materiales duros es la presencia de elementos traza, de origen natural, como el flúor y el uranio que son perjudiciales para la salud. En algunas formaciones se ha observado como el flúor, liberado por la disolución de fluorapatito y micas, puede alcanzar concentraciones superiores a 1,5 mg/L, superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable.

Por otra parte, elementos como el uranio y el radón, que son productos de la desintegración de minerales radiactivos como la monacita y la uraninita, pueden representar riesgo para la salud en áreas con granitos ricos en estos minerales. Otros contaminantes, como el arsénico, son mucho menos frecuentes. No obstante, existen estudios que han documentado su presencia en aguas de acuíferos formados en rocas graníticas, aunque no es tan común como en los acuíferos sedimentarios o aluviales. Algunas poblaciones del norte de la provincia de Madrid (Guadalix de la Sierra, Valdetorres del Jarama, etc.) han presentado problemas por elevada concentración de arsénico

Desde el punto de vista de la contaminación de origen antropogénico, los acuíferos desarrollados sobre rocas duras, suelen presentar una elevada vulnerabilidad. Esto es debido a que las fisuras que presentan la superficie alterada de estas rocas que constituyen un paso rápido para los contaminantes. Productos de uso industrial o agrícola como metales pesados, nitratos o pesticidas pueden migrar fácilmente a través de estos materiales y comprometer fácilmente la calidad del agua subterránea.

El abastecimiento de agua a San Lorenzo de El Escorial

El agua potable que llega a los hogares de San Lorenzo de El Escorial proviene principalmente de la captación de la Presa del

Tobar, situada en el término municipal de Santa María de la Alameda. Esta presa de gravedad tiene una altura sobre el cauce de unos 35 m y una capacidad de embalse de 1 Hm^3. La toma del embalse conduce el agua hasta una galería visitable que comienza a pie de presa y que conduce a través de una tubería de una longitud de 2 Km. Después de su tratamiento en la planta potabilizadora, se distribuye a la población.

En el año 2014, se puso en marcha una planta potabilizadora (Fig. 35) con una capacidad de tratamiento de hasta 7.200 metros cúbicos diarios. Esta instalación aplica varios procesos garantizando así un agua de excelente calidad con una reducción significativa de impurezas y contaminantes naturales. Además, el sistema de abastecimiento del municipio también se apoya en captaciones en infraestructuras del Canal de Isabel II.



Figura 35. Vista de la Planta de tratamiento de agua potable de San Lorenzo de El Escorial, que potabiliza el agua procedente de la Presa del Tobar (imagen de Google Eartth)

De forma resumida, los procesos a los que se somete el agua antes de introducirla en la red de abastecimiento son los siguientes:

– Captación y Preoxidación: se extrae el agua del embalse y se somete a un tratamiento preliminar con agentes oxidantes para eliminar microorganismos y materia orgánica.

– Coagulación, Floculación e Inyección de microarena: se añaden coagulantes químicos y microarena que facilitan la formación de flóculos, partículas más grandes que pueden ser decantadas y filtradas fácilmente.

– Sedimentación y Filtración: los flóculos se decantan y el agua clarificada pasa por filtros de arena y carbón activado, eliminando así sedimentos y compuestos no deseados.

– Desinfección: se emplean productos como cloro o dióxido de cloro para eliminar bacterias y garantizar que el agua llegue segura a los hogares.

Los análisis rutinarios que realiza el Servicio Municipal de agua de abastecimiento a la población de San Lorenzo de El Escorial del agua de abastecimiento a la población de San Lorenzo de El Escorial muestran que se trata de un agua de calidad, de muy baja mineralización apenas 130 µS/cm, pH alcalino (8,3 unidades), sin rastro de contaminación microbiológica ni por actividades agrarias o industriales.

Además del abastecimiento de agua potable, la gestión del agua en El Escorial también involucra el tratamiento de aguas residuales. La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) Los Escoriales ha sido objeto de una inversión significativa por parte del Canal de Isabel II, con un presupuesto de 5,7 millones de euros destinados a la ampliación de sus instalaciones y la mejora de su capacidad de depuración. Entre las mejoras implementadas se encuentran la optimización de los sistemas de tratamiento biológico, la reducción de olores y el aumento de la eficiencia en la eliminación de contaminantes.

Estas acciones no solo benefician a la población local, sino que también contribuyen a la conservación del entorno natural, evitando la contaminación de ríos y acuíferos cercanos.

PARADA 7. EL ARCA DEL HELECHAL

Se trata de un arca de planta rectangular y cubierta a dos aguas, formada por grandes sillares de piedra (Fig. 36). Posee una puerta rectangular recercada por tres grandes piedras (enterizas). El agua le llega a través de dos puntos:

1) El agua procedente del arca de San Juan (Fig. 11) accede al arca por un canal lateral cubierto por sillares labrados (también a dos aguas) que descansan sobre un pequeño acueducto sustentado por un único arco de medio punto, salvando el arroyo del Infante o del Helechal (Fig. 37).

2) Por la cara posterior o trasera (opuesta a la puerta) accede el agua del arroyo del Helechal.

Una vez tratada el caudal sale por delante, arroyo abajo, y se dirige hacia el arca del Romeral.



Figura 36. Vista delantera del arca del Helechal



Figura 37. Vista trasera del arca del Helechal. En el lateral se aprecia el viaje de agua procedente del arca de San Juan

PARADA 8. PRESA DEL INFANTE O DEL HELECHAL

La presa del Infante se construye para abastecer los jardines y huertos de la Casita del Infante o de Arriba, la cual visitaremos en la próxima parada. La presa se construyó a una cota de 1055 m s.n.m. sobre el arroyo del Helechal, aunque recoge sólo los excedentes del Arca del Helechal, situada 780 m aguas arriba, a una cota de 1230 m s.n.m. (Fig. 11).

La situación del embalse, a unos 29 m sobre la cota del estanque pequeño de la Casita y a unos 300 m de distancia (Chias *et al.,* 2023), resulta idónea para sus funciones de abastecimiento.

La descripción siguiente tiene como referencia la realizada por Jiménez Hernández (2024): la presa se debió de construir en torno a 1772, y su diseño se atribuye a Juan de Villanueva. Acorde al régimen hídrico del arroyo, con el fin de embalsar el agua del deshielo y disponer de la misma en el estío, la presa sólo funcionaba en primavera y verano. Así, permanecía abierta durante el invierno y se cerraba con unos tablones en mayo o junio, el agua salía mediante una conducción enterrada hasta la Casita del Infante.

La presa es de gravedad, de tipo cajón de mampostería, constituida por un muro de sección transversal rectangular y planta recta, de 6,5 m de altura y 41m de longitud de coronación. Posee un canal de sección cuadrada de 0,5 metros de lado excavado entre el muro de la presa y la ladera en el estribo derecho.

En la parte central de la presa se sitúa el desagüe de fondo, del que parte la conducción subterránea hacia el estanque de la Casita del Infante, que se regula mediante una compuerta vertical deslizante instalada en un recrecimiento posterior de la presa (Fig. 38).



Figura 38. Vista del embalse del Infante desde la compuerta

Este recrecimiento, según documentación del año 1876 (Chias *et al.,* 2023), se debió al bajo caudal del arroyo del Helechal y a la escasa capacidad de la presa. Fue realizado por el arquitecto mayor José Segundo de Lema, ejecutando previamente la limpieza del vaso.

La presa quedó fuera de servicio en los años 50 del siglo XX como consecuencia de las mejoras en el abastecimiento (Jiménez Hernández, 2024).

PARADA 9. EJEMPLARES BOTÁNICOS EXCEPCIONALES DE LA CASITA DEL INFANTE

Otro de los usos del agua, además de para el abastecimiento, es para el mantenimiento de huertos y jardines, y la Casita del Infante o de Arriba es un buen ejemplo de ello.

Localizada en la Dehesa de la Herrería, al Oeste del monasterio, es un edificio neoclásico, inspirado en las villas italianas de recreo. Tenía como finalidad proporcionar un ambiente privado al Infante D. Gabriel de Borbón, hijo de Carlos III. Su construcción se realizó entre 1771 y 1773, a partir de un diseño de Juan de Villanueva, el mismo arquitecto que trazó la Casita del Príncipe o de Abajo. Este edificio y sus jardines aterrazados fueron declarados Monumento Histórico-Artístico en 1931 junto al monasterio.

Como hemos visto en la pasada anterior, es el arroyo del Helechal el que suministra agua corriente al palacete y a sus jardines (Fig. 11), acumulándose en su estanque y desde donde se pueden contemplar unas maravillosas vistas del monasterio.

¿Qué son los Árboles Singulares?

Asociados a este emplazamiento, próximo al cauce fluvial del arroyo del Helechal, se encuentran unos majestuosos árboles que cubren este espacio haciendo que el jardín original se haga más pequeño bajo sus ramas. Entre ellos, cuatro tienen la categoría de árbol singular.

La categoría de Árboles Singulares de la Comunidad de Madrid se creó en el año 1992, mediante la aprobación del Catálogo Regional de especies amenazadas de Fauna y Flora silvestres, y se definen como: "los ejemplares de flora que, por características extraordinarias, por su rareza, excelencia de porte, edad, tamaño, significado histórico, cultural o científica, constituyen un patrimonio merecedor de especial protección por parte de la Administración" (Fig. 39).



Figura 39. Señal que indica la presencia de un Árbol Singular en la Comunidad de Madrid

Hay que indicar que los ejemplares botánicos, como seres vivos que son, viven y mueren, por lo que, el catálogo se va modificando, agregando o excluyendo individuos.

En San Lorenzo de El Escorial se encuentran inventariados 17 árboles singulares en varias localizaciones, más de la mitad en jardines históricos, como sucede en la Casita del Infante. En sus jardines se pueden visitar cuatro árboles singulares, otros dos ya desaparecieron.

Los Árboles Singulares de la Casita del Infante

A la entrada de los jardines de la Casita del Infante se encuentran varias secuoyas gigantes (*Sequoia sempervirens*), que no alcanzan la categoría de árboles singulares, pero no dejan de ser muy llamativas por su altura y longevidad.

En la parte derecha del jardín, se encuentran los árboles singulares (Figuras. 40 y 41):

- Pino de Sabine (*Pinus sabiniana*): con una altura de 25 metros, un perímetro del tronco de 3,30 metros y un diámetro de copa de 17 metros, destaca sobre el resto de los árboles. Tiene una edad aproximada de 120 años.
- Pinos de Jeffrey (*Pinus jeffrey*): ambos árboles también tienen unos 120 años. Poseen una altura de 14 - 15 metros, un perímetro del tronco de 2,30 metros y unas copas con un diámetro de 8 metros.
- Cedro del Líbano (*Cedrus libani*): es el ejemplar más antiguo y de mayor tamaño del jardín. Tiene una altura de 27 metros, una copa con un diámetro de unos 30 metros y el perímetro de su tronco es de casi 6 metros. Tiene una edad aproximada de 150 años.

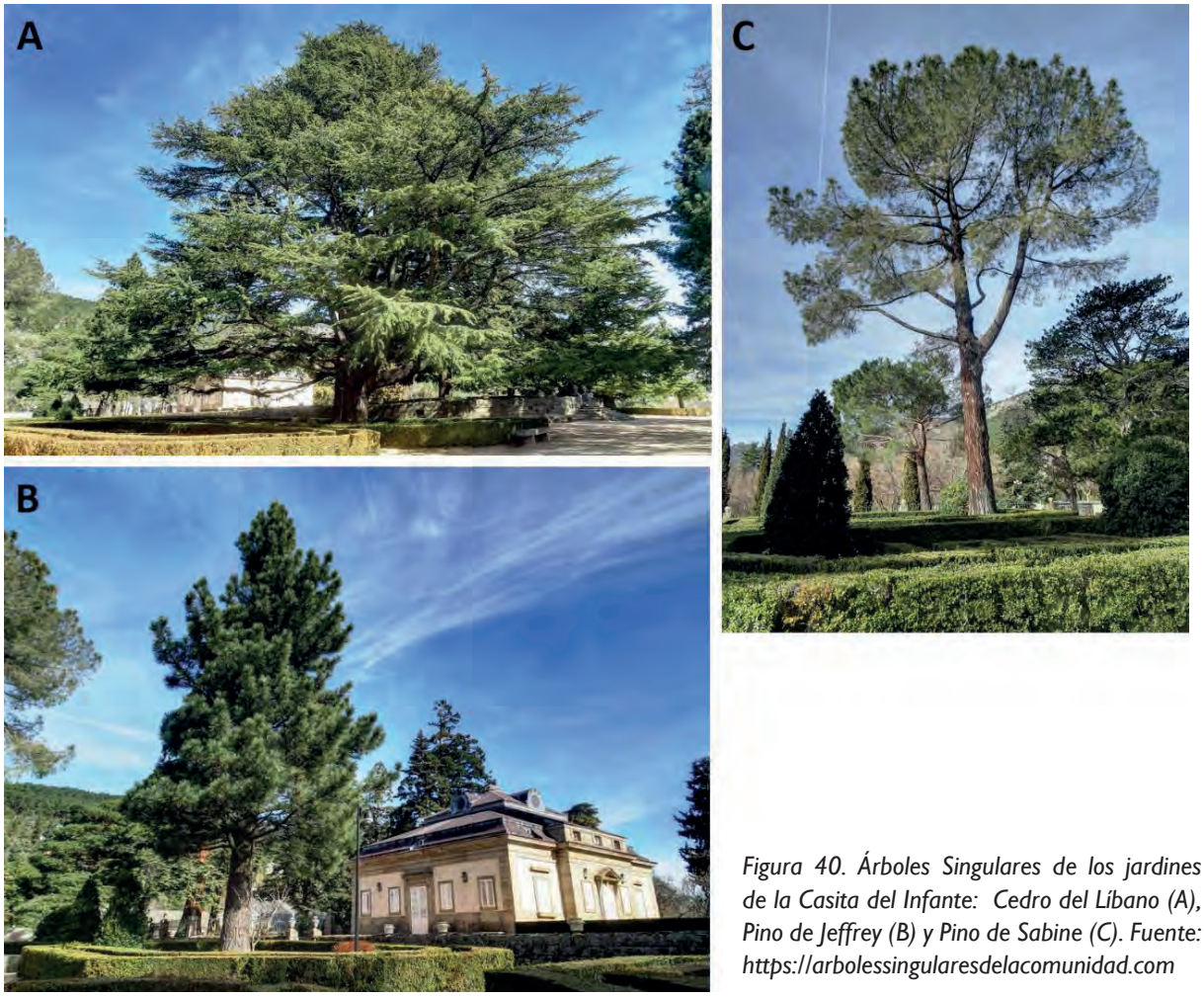


Figura 40. Árboles Singulares de los jardines de la Casita del Infante: Cedro del Líbano (A), Pino de Jeffrey (B) y Pino de Sabine (C). Fuente: https://arbolessingularesdelacomunidad.com

El origen de estos exóticos árboles gigantes en un jardín de estilo europeo se debe a que, en el año 1869 se decretó el traslado de la Escuela de Montes al Real Sitio de San Lorenzo de El Escorial, donde permaneció hasta 1914. Uno de los motivos que propició el traslado, no el menos importante, proponía ubicar el centro en un paraje netamente forestal, con posibilidad de "dotar a la Escuela de jardines y montes de experimentación y trabajo".

Para poner en marcha la Escuela, se pusieron a su disposición algunas de las propiedades que habían pertenecido a la Corona. En la Casa de Oficios, próxima al monasterio, se instalaron las aulas, gabinetes y otras dependencias, y para "Jardín forestal", arboreto y viveros, se destinó la Casita del Infante.

Figura 41. Localización de los árboles singulares en los jardines de la Casita del Infante. Fuente: https://arbolessingularesdelacomunidad.jimdofree.com



CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- MADRID 2025

- El lugar de inicio y finalización de la excursión será la entrada Real Centro Universitario (RCU) Escorial - María Cristina: Paseo de los Alamillos 2, San Lorenzo de El Escorial.

- La hora de encuentro será a las 9:45 h.

- Se ruega puntualidad.

- El recorrido a pie tendrá una longitud total de entre 8 y 10 km.

- Llevar calzado cómodo.

- Llevar bebida y algo para comer (bocadillo).

- Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar vestimenta apropiada: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a D. Manuel Chamorro, vecino de San Lorenzo de El Escorial, la enorme predisposición e importante colaboración en el desarrollo de esta octava edición del Hidrogeodía 2025 - Madrid. Del mismo modo, queremos también dar las gracias a D. Francisco Figueredo, Jardinero Mayor de Patrimonio Nacional, por permitirnos el acceso y darnos una valiosa explicación sobre la fuente de Blasco Sancho y el arca del Romeral, y a D. Enrique F. Calonge, Jefe de Servicio de FCC AQUALIA S.A., por los datos facilitados respecto al abastecimiento de agua a San Lorenzo de El Escorial.

Por último, agradecer el apoyo prestado por el M.I. Ayuntamiento de San Lorenzo de El Escorial, en concreto a la Concejala de Cultura, Myriam Contreras Robledo, a la Alcaldesa, Carlota López Esteban y al primer teniente de Alcalde y Concejal de Desarrollo Urbano, Juan José Blasco Yunquera.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA MADRID 2025


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....

AEMET. (2023). Informe sobre el episodio meteorológico de precipitaciones intensas ocasionadas por una DANA durante los días 2, 3 y 4 de septiembre de 2023. Agencia estatal de Meteorología. 19 p.

Agudo Garrido, C. (2021). *Los paisajes de El Escorial.* Instituto de Estudios Madrileños. 199 p.

De Andrés, G. (1965). Descripción de la fontanería del Monasterio de El Escorial hecha en 1645. En Zarco, J. (Ed.) *Documentos para la historia del Monasterio de San Lorenzo el Real de El Escorial*, 8, 219-318.

Árboles Singulares de la Comunidad de Madrid https://arbolessingularesdelacomunidad.jimdofree.com

Ayuntamiento de San Lorenzo de El Escorial. (2021). *Razones para un plan especial de protección para el Real Sitio de San Lorenzo de El Escorial. Territorio declarado Bien de Interés Cultural.* https://transparencia.aytosanlorenzo.es/proyectos-y-estudios/

Ayuntamiento de San Lorenzo de El Escorial. (2022). *Propuesta de intervención arqueológica y de restauración en el desarrollo del proyecto "Las Arcas del Agua" (San Lorenzo de El Escorial, Madrid). Propuesta de reintegración y presentación al público de elementos arqueológicos.* Vinova Ingeniería. https://transparencia.aytosanlorenzo.es/proyectos-y-estudios/

Cervera, L. (1985). El estanque de la huerta del monasterio escurialense. *Arquitectura (Revista del COAM),* 253, 62-67.

Chías, P. y Abad, T. (2014). La construcción del entorno del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial. Agua, territorio y paisaje. *Informes de la Construcción*, 66 (536), 46

Chías, P., Abad, T. y Fernández-Trapa, L. (2023). Los paisajes del agua en el Real Sitio de El Escorial. Presas, fuentes y estanques. *Informes de la Construcción*, 75 (560), 486.

Clavero, M. (2022). The King´s aquatic desires: 16th-century fish and crayfish introductions into Spain. *Fish and Fisheries*, 23, 1251-1263.

Comunidad de Madrid-Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM). (1998). *Arquitectura y desarrollo urbano. Comunidad de Madrid (zona Oeste). Tomo V.* Madrid. 507 p. http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM004469.pdf

Díaz-Martínez E. y Rodríguez-Aranda, J.P. (2008). *Itinerarios geológicos en la Comunidad de Madrid.* IGME, Colección Guías Geológicas, nº. 1, Instituto Geológico y Minero de España. 192 p.

Escuder Viruete, J., Díez Balda, M.A., Rubio Pascual, F.J., González Casado, J.M., Barbero, L., Martínez Poyatos, D., Villar, P. y Martínez Catalán, J.R. (2004). La extensión varisca tardiorogénica y las deformaciones tardías. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 87-92.

Fernández Ordóñez, J.A., Martínez Vázquez de Parga, R., Abad Balboa, T., Andrés Mateo, C. y Galán Hergueta, A. (1984). *Catálogo de noventa pesas y azudes españoles anteriores a 1900.* Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU). Madrid. 298 p.

García, J.M. y Ceballos J. (2020). *Saber es hacer. Memorias de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes en San Lorenzo de El Escorial (1869-1914).* Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

Gil, J. (2016). El gran viaje de agua del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial (Guía arqueológica de la Sierra de Guadarrama). *Apuntes de la Sierra*, 255, 4-7.

iAGUA. (2025). Presa del Romeral. https://www.iagua.es/data/infraestructuras/presas/romeral

Jiménez Hernández. (2024). *Presa Vieja y Presa Nueva del Romeral.* En: Vivo en la cerca - Observatorio del Patrimonio del Territorio Histórico de Felipe II.

Luengo, C. (2025). Los gigantes de la Casita del Infante. *Crónica de Abantos*, 8, 28.

Maroto, J. (2024). *Los viajes del agua del siglo XVI.* Madrid. 73 p.

Remondo, J. (2022). *Monasterio de El Escorial: un análisis medioambiental del patrimonio*. TFG de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. 87 p.

Rodríguez Fernández, R. (2020). *Guía Geológica del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*. Instituto Geológico y Minero de España y Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Serie Guías Geológicas de Parques Nacionales. 282 p.

Rubio Pascual, F.J. (2012). *Evolución Tectonotermal Varisca del Sistema Central en Somosierra-Honrubia*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 350 p.

SEPREM. (2025). SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PRESAS Y EMBALSES. Presa: el Romeral. https://www.seprem.es

Sigüenza, J. (1605). *Libro tercero de la historia de la orden de S. Gerónimo: la fundación y grandeza del monasterio de S. Lorencio el Real.*

Vera, J.A. (Ed.) (2004). *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 884 p.

Vicente García, A. (1991). El viaje grande: abastecimiento de agua en el Monasterio de El Escorial. *Reales Sitios*, 108, 37-44.

NOTAS

NOTAS

Los profesores del departamento de ciencias del IES Juan de Herrera de San Lorenzo de El Escorial incluyeron durante el curso escolar 2023-2024 a los viajes del agua en su programación docente. El trabajo que desarrollaron junto a sus alumnos fue premiado por la comunidad educativa. Las **ilustraciones de la contraportada** de esta guía pertenecen a dicho proyecto (Autora: Beatriz Leoz Forns).

Título de las ilustraciones: Arca del Romeral, Embalse del Romeral, Fuente de La Currutaca, Arca del Helechal y Arquillas del Parque Conde de Aranda.

https://www.educa2.madrid.org/web/revistadebates/buenas_practicas_12/-/visor/%E2%80%9C%C2%A1agua-agua-dijo-san-lorenzo%E2%80%9D













Málaga


HIDROGEODÍA
Málaga
2025
COORDINA:
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español
(nueva fecha)
5 de abril 2025
Valle de Jorox -Alozaina-
"Un legado surgido de la montaña"
Se ruega:
Respetar la hora asignada
Llevar agua, ropa y calzado adecuado
Compartir vehículos si es posible
EXCURSIÓN GRATUITA
Y GUIADA
PUNTO DE ENCUENTRO:
Calle Calvario, 27,
ALOZAINA
IMPRESCINDIBLE
RESERVA PREVIA
juanjrm@uma.es
Excursión de 3 horas aprox.
Información detallada en:
https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/
ORGANIZA:
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
CEHIUMA
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
COLABORAN:
Ayuntamiento de
Alozaina
UMA Divulga
Diputación Provincial de Málaga
Costa del Sol
Senda
ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS
CUEVA DE NERJA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?
APADRINA UNA ROCA
CSIC
IGME 175

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 **hidrogeólog@**, que se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). La jornada consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos/as, abiertas a todo tipo de público, sin importar su conocimiento en la materia. La actividad es promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE).

En Málaga, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en **Alozaina** (Fig. 1), un municipio con un patrimonio natural y cultural notorio, situado en la **Sierra de las Nieves**, a unos 40 km al O de Málaga. En concreto, la excursión del Hidrogeodía se centra en el **valle del río Jorox,** en el borde meridional de **Sierra Prieta**. La abundancia de agua en esta zona, procedente del manantial homónimo que da origen al río, permitió el asentamiento de distintas civilizaciones y la creación progresiva de una extensa red de acequias y albercas, en su mayoría en época andalusí, para el riego de los fértiles bancales que acogen numerosos huertos. El agua subterránea fue también utilizada como fuerza motriz de antiguos molinos harineros, algunos de ellos conservados en buen estado. Sierra Prieta, junto con la sierra de Alcaparaín, situada más al norte, forman uno de los acuíferos más relevantes de la región en cuanto a superficie (44 km^2) y disponibilidad de recursos hídricos.

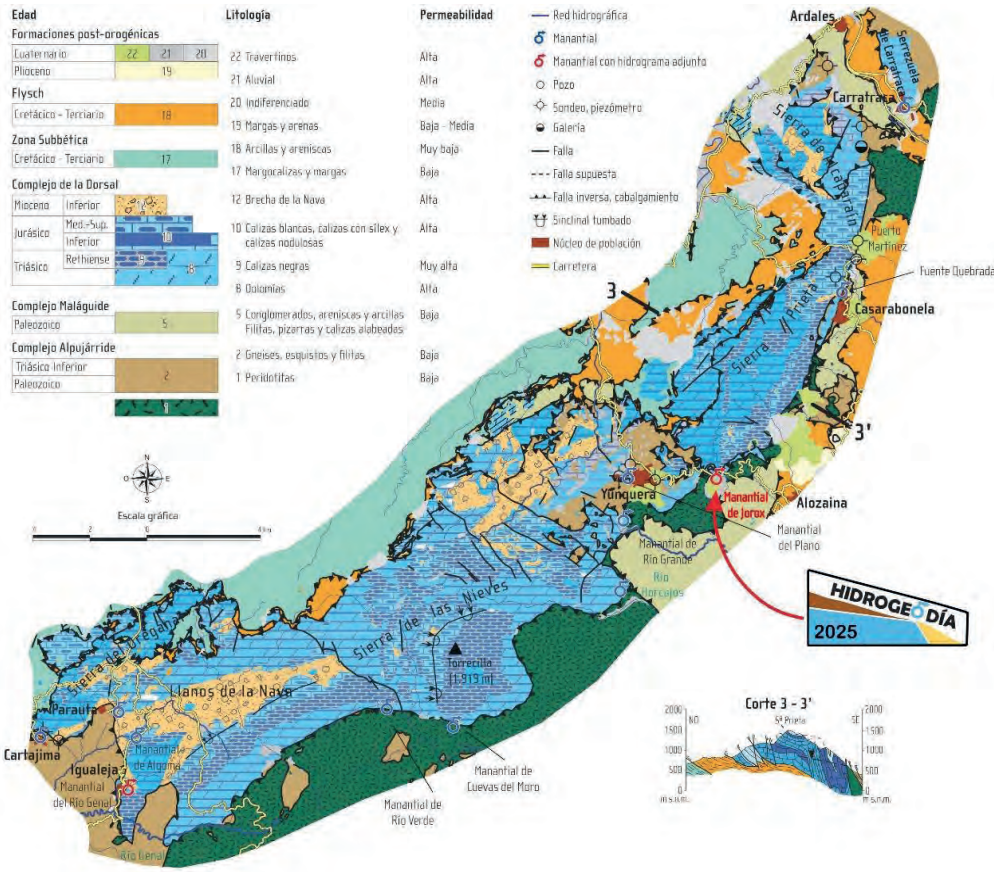


Figura 1: Esquema geológico - hidrogeológico de la Sierra de las Nieves-Prieta-Alcaparaín. Tomado de Liñán Baena (2007)

¿Qué vamos a ver?

Los aspectos más relevantes que se tratarán en **el Hidrogeodía Málaga 2025** son:

1. Contextos geológico, geomorfológico e hidrogeológico del **valle del río Jorox** y su entorno cercano
2. Consideraciones sobre el **acuífero de Sierra Prieta** y las rocas circundantes: **peridotitas**, **travertinos**, etc.
3. ¿Qué son los "**recursos**" y las "**reservas**" de agua subterránea?
4. ¿Cómo ayuda la hidrogeología a comprender la **evolución del paisaje**?
5. El **uso tradicional** del agua subterránea en el valle del río Jorox a lo largo del tiempo
6. Los **molinos de Jorox** y el patrimonio hidráulico asociado a las aguas subterráneas
7. Consideraciones sobre el uso y aprovechamiento **del agua subterránea**.

Contexto geológico y tipos de rocas

Sierra Prieta, junto con la Sierra de las Nieves y la sierra de Alcaparaín, constituyen un relieve montañoso alineado en dirección SO-NE, con pendientes elevadas y bruscas variaciones de altitud, desde 400 m s.n.m., hasta 1.919 m en el vértice Torrecilla (1.521 m s.n.m. en el vértice Sierra Prieta, Fig. 1). Todas estas sierras están formadas por rocas de naturaleza carbonatada (**mármoles**, **calizas** y **dolomías**) de edad Triásico-Jurásico (entre 230 y 170 millones de años –Ma-), con más de 1.000 m de espesor en algunos sectores. En el borde SE de las sierras, las rocas mencionadas aparecen en contacto con otras de origen ígneo plutónico (**peridotitas**) y metamórfico (**gneises**, **esquistos**) (Fig. 1); estas últimas con edades comprendidas entre 350 y 230 Ma (Paleozoico a Triásico Inferior). Localmente pueden observarse canchales (acumulaciones de fragmentos sueltos 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). De la misma edad son los **travertinos** (o tobas calcáreas) que aparecen en varios afloramientos aislados por la ladera SE de Sierra Prieta. El más destacado se encuentra en Jorox, asociado a las salidas naturales de agua subterránea que ocurren en la zona. La palabra "travertino" procede del latín ***lapis tiburtinus***, es decir, la piedra del Tíber, en Tívoli, junto a Roma, una roca muy empleada en la construcción durante la antigüedad clásica.

Los mármoles, calizas y dolomías son las rocas que forman el acuífero de Sierra Prieta (Figs. 1 y 2), mientras que las arcillas del Complejo del Campo de Gibraltar (Flysch en Fig. 1), las metapelitas y las peridotitas, definen la base y los límites del mismo en su borde SE.

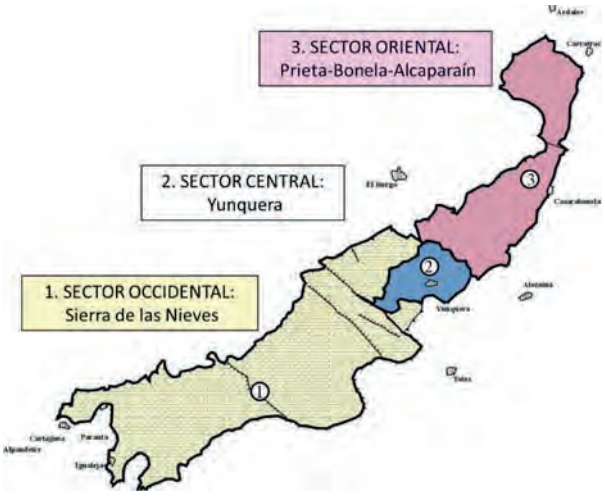


Figura 2: Aquíferos de la Sierra de las Nieves-Prieta-Alcaparaín. Tomado de Liñán Baena (2003)

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, grietas o huecos presentes en las rocas (Fig. 3).

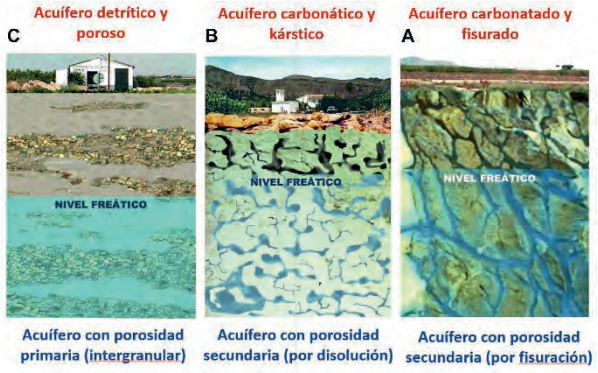


Figura 3: Tipos de porosidad en materiales acuíferos: por fisuras (A), por fracturas ensanchadas (B) e intergranular (C)

La **porosidad**, es decir, la proporción de huecos que hay en una formación rocosa respecto al volumen total de la misma, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. Además, el agua subterránea sólo puede moverse a través de los huecos que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**). En rocas como los carbonatos de Sierra Prieta o de la Sierra de las Nieves, 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. 3A). La disolución por el agua que sufren estas rocas por su naturaleza calcárea (**karstificación**) ensanchan progresivamente las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 3B). En este contexto se forman los **acuíferos carbonáticos** como el asociado al manantial de Jorox.

En cambio, cuando se trata de materiales sueltos, no consolidados, como los que aparecen en lechos fluviales o en los depósitos de ladera (Fig. 3C), el agua ocupa los huecos que quedan entre los granos y fluye a través de estos. Este tipo de sedimentos constituyen los llamados acuíferos detríticos, como el existente en el tramo bajo del río Grande o en el propio valle del río Guadalhorce.

Por otro lado, la existencia de materiales de **baja permeabilidad** (esquistos, peridotitas) es clave para definir los límites y la geometría de los acuíferos. No obstante, la fracturación y la meteorización pueden favorecer la permeabilidad en estas rocas y, por tanto, la presencia de flujo subterráneo y también de manantiales, como ocurre en las **peridotitas**.

El agua drenada por algunos de los manantiales asociados a las peridotitas puede presentar características hidroquímicas particulares, como es el caso del **balneario de Tolox**, con temperaturas elevadas, pH por encima de 10, presencia de gases (metano, hidrógeno). El agua caliente que emerge en estos balnearios puede tener propiedades curativas y relajantes, lo que los convierte en destinos populares para el turismo de salud y bienestar. Además, los balnearios en zona rurales son un punto de actividad económica que fomenta y enriquece la vida en estas zonas no urbanas.

¿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 Prieta, 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. 4).

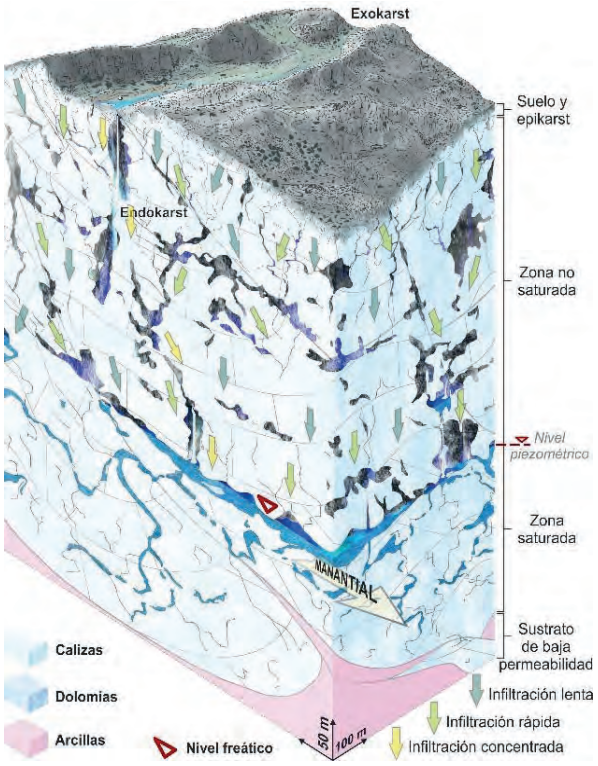


Figura 4: Representación esquemática del interior de un acuífero carbonático –kárstico-

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. 4). En ella, el agua subterránea discurre por huecos parcialmente ocupados por aire. El flujo subterráneo puede producirse de forma lenta, por la red de fisuras, o de manera rápida, por conductos de tamaño diverso. 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. 4). La superficie que separa la zona no saturada de la zona saturada se denomina **nivel freático**.

En el caso de Sierra Prieta, el flujo subterráneo puede llegar a ocurrir de manera rápida, porque los carbonatos que forman el acuífero están muy karstificados.

Finalmente, el agua que ha circulado por el interior del acuífero vuelve a la superficie de forma natural por fuentes o manantiales, como el de Jorox, punto principal de descarga de Sierra Prieta, o de manera artificial mediante bombeo en sondeos. Por lo general, los manantiales se encuentran en posiciones topográficas bajas, tales como laderas o el fondo de los valles, aunque a veces se localizan en el cauce de los ríos, lagos e incluso bajo el mar, casi siempre asociados al contacto –estratigráfico o tectónico- entre formaciones geológicas con un marcado contraste de permeabilidad. Son, por tanto, lugares de surgencia y drenaje natural del agua infiltrada y almacenada en el acuífero.

Manantiales kársticos

En general, el caudal de los manantiales suele variar bastante, desde pocos litros por segundo a varias decenas de miles de litros por segundo, sobre todo después de periodos de lluvias. Pero no todos responden de igual modo ante estas, depende del tiempo empleado por el agua en recorrer la distancia que separa la zona de infiltración y el punto de descarga. La surgencia de Jorox muestra rápidos y significativos aumentos de caudal en respuesta a las lluvias, acompañados de disminuciones de la temperatura y de la

mineralización del agua subterránea. A partir de este comportamiento se deduce la existencia de conductos y cavidades que permiten un movimiento rápido del agua subterránea en el interior del acuífero (Fig. 5).

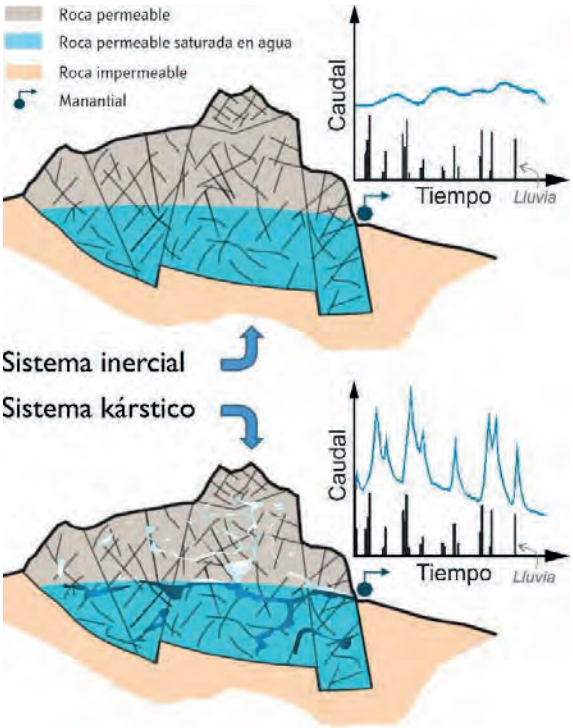


Figura 5: Representación esquemática de los tipos de acuíferos kársticos. Modificado de Castillo Martín (2008)

A lo largo de la historia, los **manantiales kársticos** han sido determinantes a la hora de establecer asentamientos humanos y son numerosos los pueblos y ciudades que se abastecen de sus aguas, generalmente de excelente calidad. Además de por sus recursos, los manantiales kársticos despiertan una enorme curiosidad, ya que normalmente se ubican en lugares de gran belleza y su descarga suele ser espectacular, capaces de originar ríos. Se trata de puntos singulares muchas veces asociados a parajes de gran valor natural, paisajístico, faunístico, botánico etc., como el valle del río Jorox, y por ello forman parte de nuestro patrimonio hidrogeológico. Muchos de ellos se han secado y otros corren el riesgo de verse afectados, por lo que la sociedad debe tratar de protegerlos y conservarlos, de forma que se pueda seguir disfrutando de ellos.

Recursos *versus* reservas

Cuando un acuífero funciona en régimen natural, el volumen de agua que entra en él es igual al de sus salidas. 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 (Fig. 5). Este volumen renovable de agua constituye los llamados recursos hídricos del acuífero (Fig. 6), variables cada año en función de las precipitaciones.

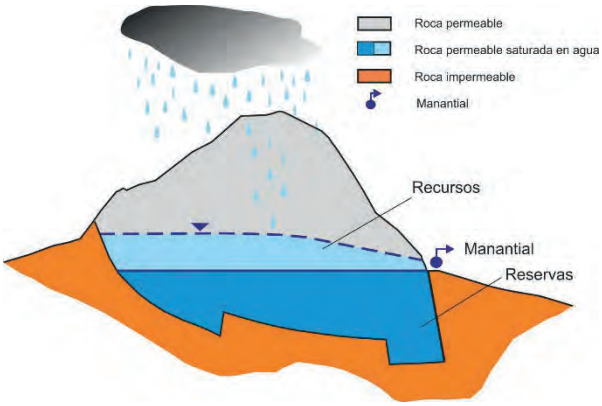


Figura 6: Esquema conceptual de un acuífero con recursos renovados anualmente, drenados por el manantial, y reservas subterráneas contenidas por debajo de la cota de surgencia. Modificado de Castillo Martín (2008)

En cambio, el agua subterránea almacenada en el acuífero por debajo de la cota de los manantiales se denomina reservas (Fig. 6). 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 bombeos.

Recursos y reservas constituyen el volumen total de agua subterránea de un acuífero.

Un paisaje en continua evolución

El relieve actual de la Sierra de las Nieves-Prieta-Alcaparaín es el resultado de los efectos combinados de varios **procesos geomorfológicos** que han modelado la superficie del terreno 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 producida por ríos y arroyos. También de los 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.

Son visibles también los efectos de la **meteorización** superficial (y subterránea) sobre rocas solubles como calizas, dolomías, y mármoles, proceso denominado "**karstificación**": el agua de lluvia ataca químicamente a los minerales más solubles y produce la disolución de la roca. El resultado de este proceso es el **modelado kárstico**, muy común en la provincia de Málaga. Las formas de disolución pueden ser exokársticas y endokársticas. Las primeras son las que se generan en superficie, mientras las segundas resultan de procesos de disolución en el interior del acuífero. Como formas exokársticas más características encontramos los campos de lapiaz, dolinas, sumideros y poljes (Fig. 7). Las formas endokársticas corresponden esencialmente al desarrollo, en mayor o menor medida, de simas y cuevas.

En la Sierra de las Nieves hay magníficos ejemplos de modelado kárstico (tanto endo- como exokárstico) desarrollado en los carbonatos. Es llamativo el paisaje kárstico que puede apreciarse en los Llanos de la Nava o en el Puerto de los Pilones (Fig. 1), parajes de gran singularidad geológica y geomorfológica donde existe un elevado número de dolinas, campos de lapiaz, sumideros, cuevas y simas. Algunas de estas son "supercuevas", muy profundas y con gran desarrollo espeleológico, como la sima GEMS-sima de la Luz (-1098 m, 20,5 km de desarrollo) o la sima del Aire (-720 m, 15,5 km de desarrollo).

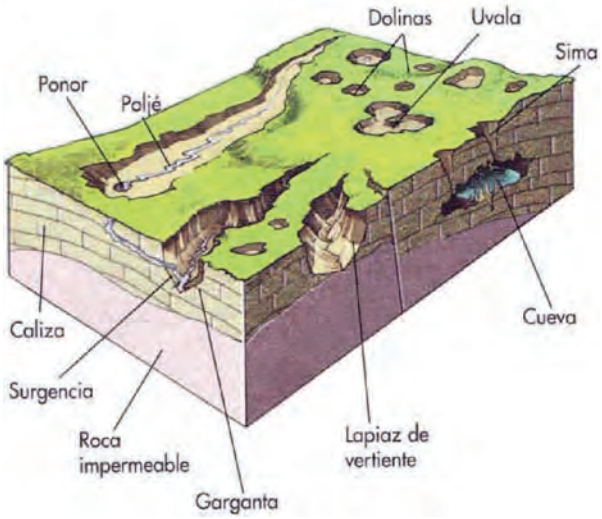


Figura 7: Bloque diagrama de un macizo kárstico con las formas de disolución exokársticas y endokársticas más características

En un paisaje kárstico no sólo se generan formas de disolución, también se originan formas de depósito como consecuencia de la precipitación de los minerales previamente disueltos por el agua, fundamentalmente carbonato cálcico o calcita ($CaCO_3$). Entre las formas de depósito exokársticas más comunes se encuentran las **tobas** y los **travertinos**, cuyo equivalente endokárstico serían los espeleotemas formados en las cuevas (estalactitas y estalagmitas, entre otros).

Los edificios travertínicos, como "**la mesa**" de Jorox, y otros localizados en la ladera SE de Sierra Prieta (Fig. 8), están asociados a corrientes de agua y a las salidas de agua subterránea a través de manantiales que se han mantenido estables (a la misma cota)

durante un periodo de tiempo significativo a escala geológica (de miles a centenares de miles de años). Cuando una surgencia cambia de posición geográfica, porque aparece otro punto de desagüe del acuífero a cota inferior (que es lo habitual por la erosión), cesa la precipitación de calcita en ese lugar y comenzaría la formación de otro edificio travertínico en el entorno del nuevo manantial, al mismo tiempo que el edificio previo comenzaría a erosionarse. Así pues, un afloramiento de travertinos adyacente a un macizo carbonático representa un paleonivel freático del mismo. A menudo, los travertinos se presentan escalonados, a diferente cota, en los bordes de los macizos carbonáticos, de forma que los afloramientos progresivamente más bajos suelen ser cada vez más recientes. Ello demuestra el interés de estos depósitos para conocer la **evolución geomorfológica** e hidrogeológica reciente.

Por lo general, los travertinos son lugares de interés geológico muy singulares y de gran belleza, al tiempo que muy frágiles y vulnerables, por lo que también deben ser protegidos y conservados.

Travertinos y paleo-hidrogeología

Se puede estimar el inicio y el final de formación de un travertino (su "edad") con cierta precisión, mediante **métodos geocronológicos** como el carbono 14 (^{14}C) o el U/Th. Por tanto, estas rocas permiten a los investigadores reconstruir los cambios del relieve y conocer y datar los procesos que han determinado la evolución del paisaje, entre ellos los cambios paleo-hidrogeológicos (estudio de las características hidrogeológicas de un área en el pasado reciente). Entre otros aspectos, es posible deducir cambios en el drenaje de las aguas subterráneas (posición de los manantiales) y la velocidad a la que se encaja –erosiona- la red de drenaje (río y arroyos) en el relieve.

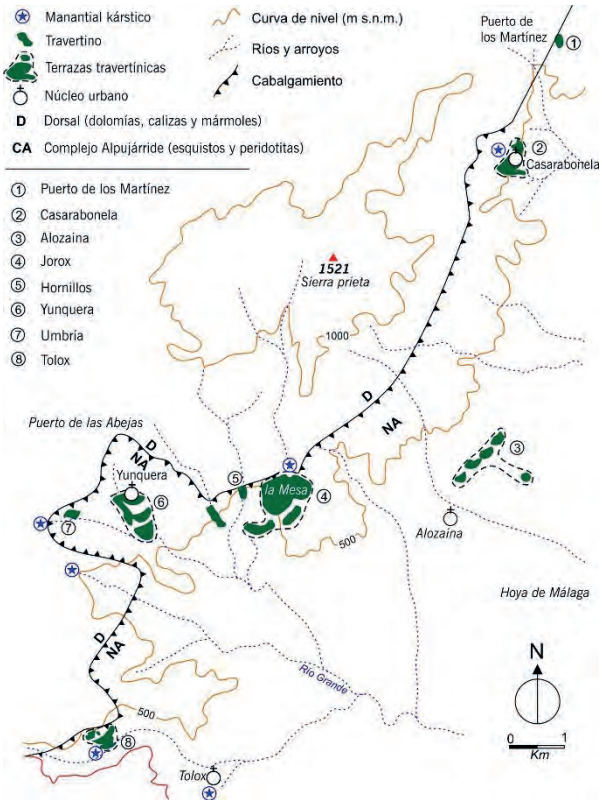


Figura 8: Esquema cartográfico con la ubicación de los afloramientos de travertinos en el borde SE de Sierra Prieta. Modificado de Delannoy et al. (1993)

En la vertiente SE de Sierra Prieta se observan hasta 7 **terrazas travertínicas** situadas entre 380 y 650 m s.n.m. (Fig. 8), relacionadas en su mayoría con manantiales (antiguos y actuales) encargados del drenaje de los acuíferos carbonáticos. Destacan los travertinos de Jorox (Figs. 8 y 9), que aparecen escalonados en el paisaje según varios niveles (hasta 4), con una diferencia de hasta 200 m de altura entre el inferior, asociado al río, y el superior (a 565 m s.n.m.) que da lugar a "la mesa". El depósito de los travertinos de Jorox ha sido datado con técnicas de ^{14}C en más de 350.000 años (posiblemente 1,5 Ma) para los afloramientos superiores (cotas entre 565 y

480 m s.n.m.) y entre 116.000 - 9.600 años para los travertinos inferiores más próximos al río (entre 415 y 380 m s.n.m.). En cuanto a su génesis, están asociados a la surgencia de Jorox, que hoy día se encuentra a 530 m s.n.m.

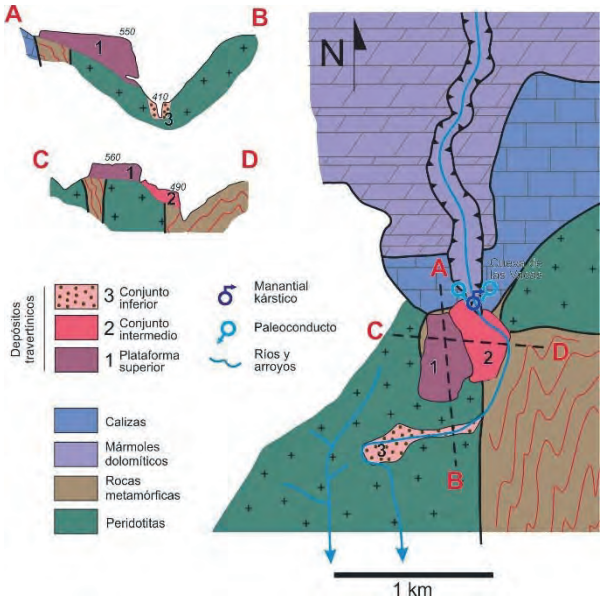


Figura 9: Esquema cartográfico y perfiles de las terrazas travertínicas asociadas al manantial de Jorox. Modificado de Delannoy et al. (1993)

Por tanto, los travertinos, como el de Jorox, permiten deducir la alternancia de etapas de erosión y encajamiento de la red fluvial con otras más estables en las que se depositaron los travertinos. En Sierra Prieta, la fase de encajamiento más significativa ocurrió hace 1,5 Ma y provocó el descenso de la cota de surgencia (nivel freático) del manantial de Jorox y de la red asociada de drenaje kárstico en el interior del macizo hasta una posición similar a la actual.

Además de los travertinos, encontramos pruebas de este descenso del nivel de drenaje subterráneo en la **cueva "del Tajo"** o "de las Vacas" (Fig. 9), cuya entrada está situada a 553 m s.n.m., y en la cueva del Algarrobo, situada justo enfrente aunque parcialmente oculta por la vegetación. Se trata de un conducto kárstico que en el pasado alimentaba al manantial cuando este se encontraba a cota superior. Hoy día el conducto ha quedado colgado -"seco"- respecto al manantial. Esta cueva ha sido ocupada por el ser humado desde la prehistoria, como atestiguan los restos de industria lítica, elementos de adorno personal y grabados, hallados en su interior.

Hidráulica y uso tradicional del agua en el valle de Jorox

Los desniveles y las terrazas naturales presentes en el valle del río Jorox han sido aprovechados desde antiguo para el cultivo en bancales de huertos y frutales; una rica agricultura de irrigación, abastecida por una serie de canales cuyas acometidas principales se realizan en las proximidades del manantial, para luego dividirse y subdividirse en un entramado de acequias y brazales secundarios. Esta **red de acequias** y albercas de origen árabe puede agruparse en varios sistemas formados por un canal principal y acequias secundarias. Entre los sistemas más significativos destacan "la acequia de Los Molinos", el sistema del Nacimiento, el sistema de la "acequia del Moro", y el sistema de la "acequia de la Nana". Otros sistemas de irrigación secundarios presentes en la zona toman el agua de galerías o *qanāt* excavados en la ladera de los travertinos, almacenándose el agua después en albercas desde las cuales se distribuye a los bancales cercanos. Este es el caso del sistema del "*qanāt* del Portezuelo" y del sistema de las "Cuevas de Jorox".

Sin embargo, los principales elementos del patrimonio hidráulico del valle de Jorox son los **molinos harineros** presentes en la zona. El caudal constante de agua durante todo el año procedente del manantial y los desniveles existentes convertían este lugar en idóneo

para la construcción progresiva de este tipo de edificaciones, que aprovechaban los saltos de agua y la fuerza hidráulica generada para mover las piedras con las que moler el cereal.

Los primeros registros que documentan la existencia de molinos en la zona datan del siglo XV. En total coexistieron **nueve molinos** harineros en Jorox (molino de la Riada, Pasada, Planchero, Tenorio, Antonio Rey, Don Bartolo, Antonio Sánchez,...). Todos estaban instalados en la acequia de Los Molinos, de forma que el caudal de agua pasaba de uno a otro mediante acequias en sentido descendente, reutilizándose una y otra vez. Los últimos molinos que molieron en Jorox se pararon en los años sesenta del siglo XX por lo que actualmente ninguno de ellos mantiene su función original. Afortunadamente se conservan los edificios de seis de ellos en muy buen estado y con nuevos usos que son testigos de aquellos tiempos.

Gestión sostenible del agua (superficial y subterránea)

Las aguas subterráneas de la Sierra de las Nieves-Prieta-Alcaparaín son de buena calidad química y se utilizan para el abastecimiento urbano y para regadío, como ocurre en Jorox. En el municipio de Casarabonela hay varias empresas que se dedican al embotellado y comercialización del agua mineral. Sin embargo, la mayor parte de los recursos de agua subterránea de Sierra Prieta y de la vecina Sierra de las Nieves fluye hacia cauces superficiales, cuyo nacimiento son los propios manantiales. Estas aportaciones, junto con las escorrentías superficiales, se destinan a garantizar el suministro de agua a buena parte de los núcleos urbanos situados en los tramos medio y bajo de los ríos Grande y Guadalhorce, pero también para cubrir la demanda de agua para regadío de esas zonas.

La gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Guadalhorce incluye, por tanto, el uso conjunto de aguas superficiales (reguladas mediante embalses) y de aguas subterráneas (drenaje natural y/o explotación mediante sondeos), lo que requiere de un correcto estudio de los acuíferos y uso de los sus recursos.

En caso de explotación intensiva, desordenada y abusiva de las reservas de agua subterránea (sobreexplotación), se producen descensos en el nivel piezométrico, lo que llevará aparejado el agotamiento completo de los manantiales. Una circunstancia que suele ir acompañada de una lógica contestación social, sobre todo si los manantiales sustentan sistemas tradicionales de irrigación o espacios protegidos desde el punto de vista medioambiental o cultural.

Consideraciones sobre el HIDROGEODÍA 2025

La excursión del **Hidrogeodía Málaga 2025** tiene lugar en un espacio natural, 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 2025**", en especial al **Exmo. Ayuntamiento de Alozaina** por la ayuda ofrecida en la organización de la misma.

ORGANIZA:

CEHIUMA
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

COLABORAN:

Ayuntamiento de Alozaina

Diputación Provincial de Málaga

ACADEMIA MALAGUEÑA DE CIENCIAS

CUEVA DE NERJA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

Para saber más....

Castillo Martín, A. (Coord.) (2008): *Manantiales de Andalucía. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 416 pp.*

Delannoy, J.J., Guendon, J.L., Quinif, Y. y Roiron, P. (1993): *Formaciones travertínicas del piedemonte mediterráneo de la Serranía de Ronda (Málaga). Cuadernos de Geografía, 54: 189 – 222. ISBN: 84-604-6079-7.*

Liñán Baena, C. (2003): *Hidrogeología de acuíferos carbonatados en la Unidad Yunquera – Nieves (Málaga). Tesis doctoral. Universidad de Granada. 317 pp.*

Liñán Baena, C. (2007): *Sierra de la Nieves-Prieta (M.A.S. 060.046). En: Durán, J.J. (Coord. general), Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga, tomo 2, 47-52. Instituto Geológico y Minero de España; Diputación de Málaga, Madrid. 220 pp.*

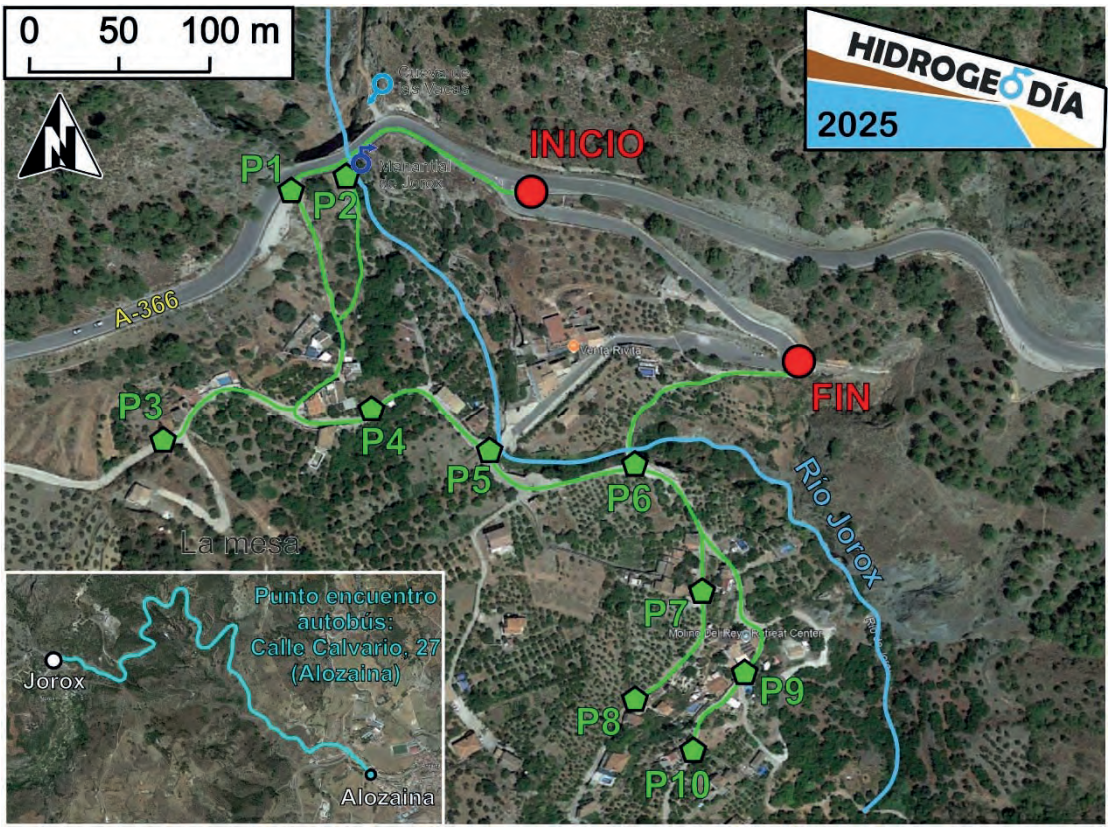
Marqués, I. y Ruiz, A. (1975): *El Solutrense de la Cueva del Tajo del Jorox. Alozaina (Málaga). C.P.Gr., 1, 47-57.*

Ordoñez Frías, A. (2013): *Hidráulica y poblamiento andalusí en el valle de Jorox. Una aproximación desde la metodología arqueológica. Takurunna 3, 91-126. ISSN: 2253-6191.*

Los monitores del Hidrogeodía 2025

Juan Antonio Barberá Fornell
Beatriz de la Torre Martínez
Antonio Fermín Castro
Charo García Cuadra
José Manuel Gil Márquez
Cristina Liñán Baena
Ana Isabel Marín Guerrero
Pedro Marín Troya
José Francisco Martín Rodríguez
Matías Mudarra Martínez
Adrián Palomino Gómez
Juan José Rovira Medina
Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

Itinerario HIDROGEODÍA Málaga 2025



Notas



Ourense

OURENSE

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

En **Ourense**, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en **Sandías, en la comarca de la Limia** y veremos cómo los rellenos sedimentarios de la cuenca de Xinzo de Limia influyen en el comportamiento de las aguas subterráneas de la zona.

CÓMO LLEGAR

El 22 de marzo partiremos en autobús hacia Sandiás a las 9 de la mañana desde el intercambiador de autobuses de la Alameda de Ourense, en la trasera de las oficinas de Correos de la calle Progreso, en Google Maps:

https://maps.app.goo.gl/MHo3Xy1GSocudue69



Punto de encuentro. Intercambiador de autobuses de la Alameda de Ourense.

Desde este punto nos dirigiremos en autobús hasta el Centro de Interpretación "A Casa da Lagoa de Antela" en Sandiás. Las personas que lo deseen pueden unirse a nosotros a las 9:30 horas en este centro de interpretación, en la localidad de Sandiás, detrás de la Casa do Concello (en Google Maps: https://maps.app.goo.gl/eZH8P23xWZNxZrZM9

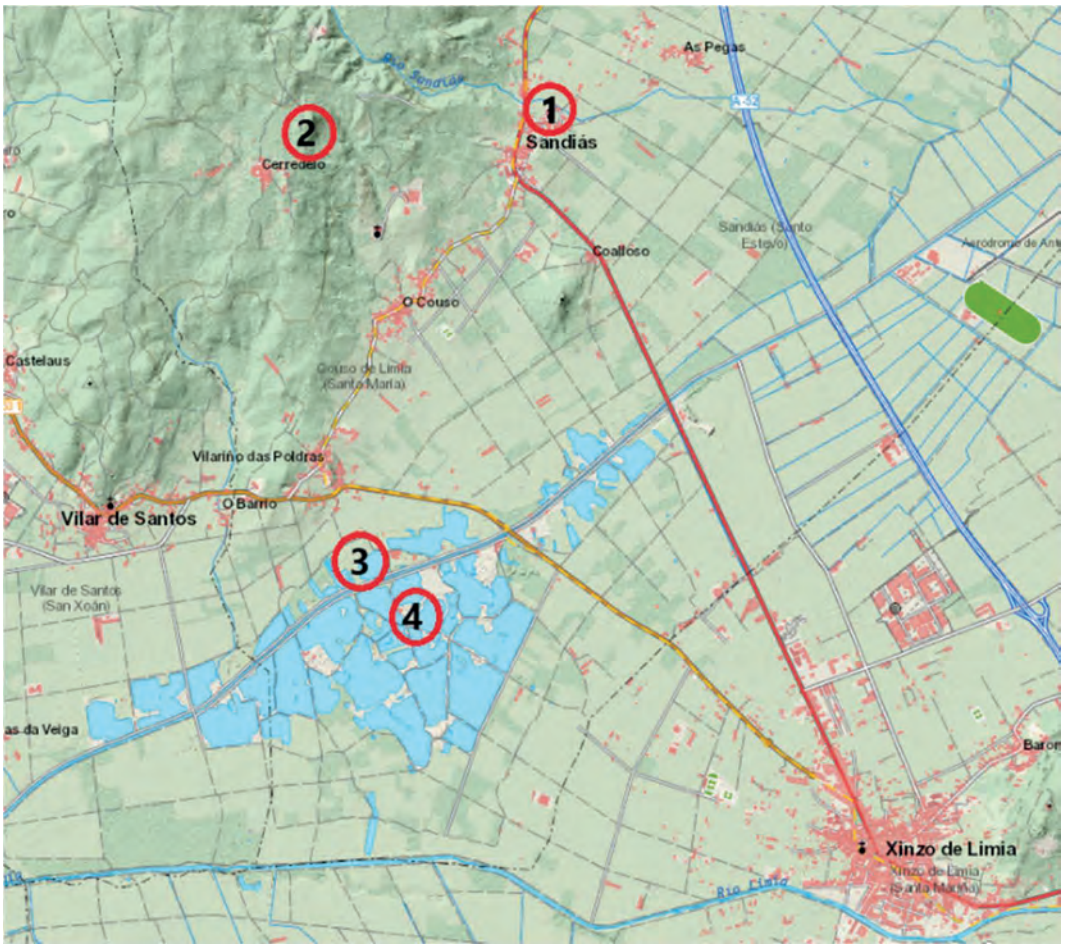
QUÉ VEREMOS

Tras una breve pero interesante visita a este **centro de interpretación de A Casa da Lagoa** nos dirigiremos en autobús hasta el **Pico Costoira, desde el mirador** situado en este pico tendremos una vista de toda la cuenca sedimentaria de Xinzo de Limia, es decir, de toda la llanura de la Limia.

Desde este punto bajaremos a la llanura para observar **antiguas areneras** (explotaciones mineras de las que se extraía arena), las cuales se han **renaturalizado** convirtiéndose en lagunas en las que viven muchas especies vegetales y a animales. Destaca la gran cantidad de aves acuáticas que se han asentado en estas antiguas minas.

Posteriormente visitaremos **una arenera en funcionamiento** donde podremos ver cómo es el relleno sedimentario de la zona, y cómo influye en el comportamiento del agua subterránea.

.



Mapa de la zona con las cuatro paradas marcadas. Modificado del visor del Centro de Descargas Topográficas de la Xunta de Galicia.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La hidrogeología es la rama de la geología aplicada, dentro de la geodinámica externa, que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas y humedales; su estado y propiedades y su captación.

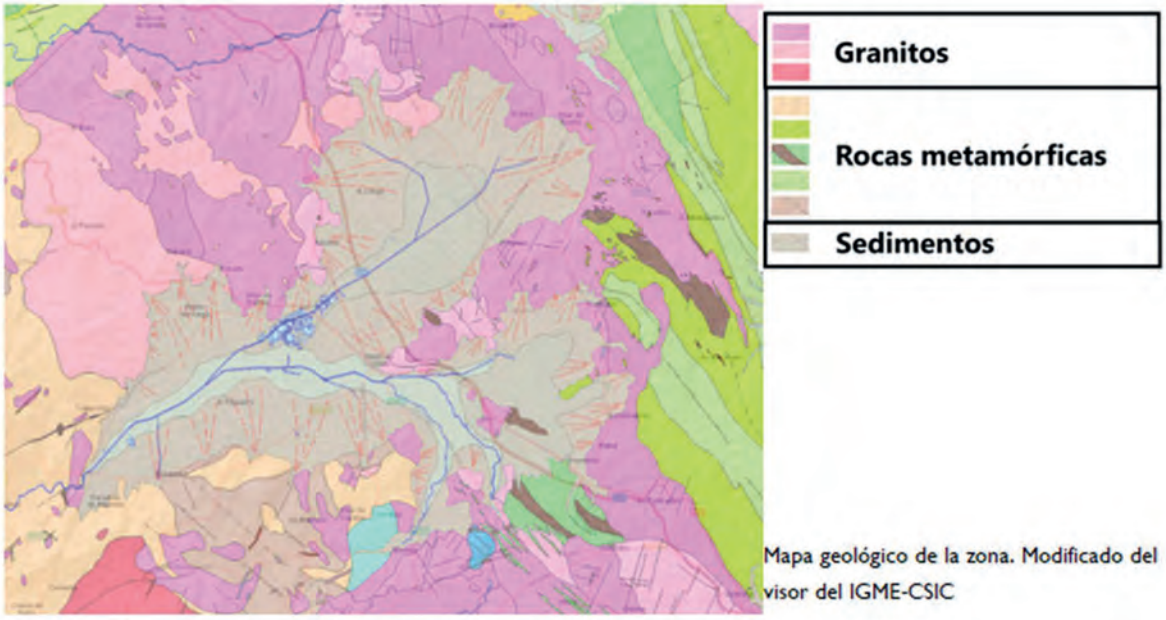
ENTORNO GEOLÓGICO

Todo el noroeste de la península Ibérica, y por lo tanto esta comarca, tiene dos momentos determinantes en su historia geológica.

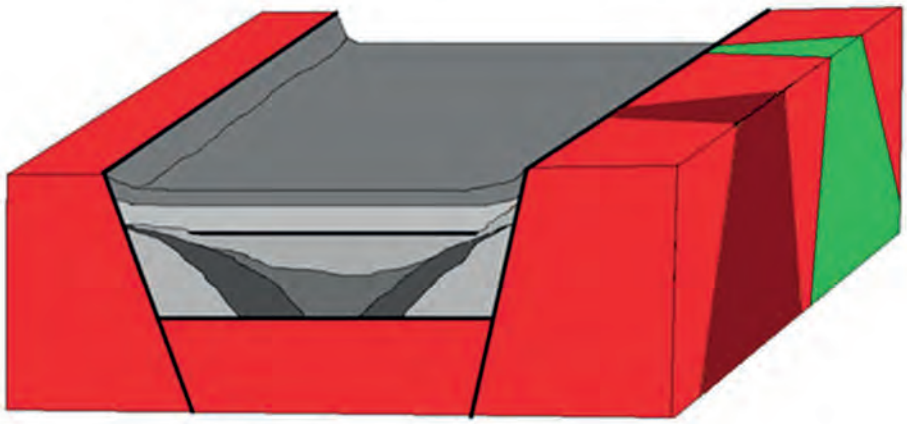
Hace unos 300 millones de años esta zona era el centro de una cordillera montañosa. Por lo tanto, todas las rocas que vemos en Galicia se formaron en el núcleo de esa cordillera. La erosión convirtió esa cordillera en una llanura en unos 100 millones de años.

Desde hace unos 60 millones de años hasta hace unos 23 millones de años el choque de África contra Europa fracturó esa llanura en

grandes bloques, unos bloques ascendieron más u otros ascendieron menos. La Limia son una serie de bloques que se elevaron menos y se rellenaron con los materiales que se erosionaron en los bloques que se elevaron sobre ellos en su entorno. Esta zona menos elevada en geología se denomina graben.



Mapa geológico de la zona. Modificado del visor del IGME-CSIC



Bloque de la estructura geológica de la zona. Los colores grises representan a los sedimentos que rellenaron el graben (valle).

La cuenca sedimentaria de Xinzo, el graben generado por el choque de África contra Europa, se rellenó desde hace millones de años con materiales diversos. Desde la superficie de la Limia si hacemos un sondeo llegaremos a la roca del fondo del graben a unos 200 metros de profundidad.

El relleno de estos 200 metros no es homogéneo. Dominan las arenas, pero hay tramos de arcillas. A unos 100 metros de profundidad hay un nivel continuo de lignito (carbón) que hace unas décadas se pensó en explotar. Lo que destaca es que en los últimos metros el relleno está formado por arenas de grano grueso con muy pocos materiales finos.

TIPOS DE ROCAS Y ACUÍFEROS

Los acuíferos son los materiales del terreno que por sus características pueden contener agua. No son "lagos subterráneos", en el

caso de la Limia son grandes masa de arena empapada en agua. El agua está presente empapando la arena, y es el agua de lluvia que lleva milenios infiltrándose en el terreno.

Las rocas que bordean la llanura de la Limia, así como las que hay bajo los sedimentos que rellenan la zona, son granitos y rocas metamórficas. Estas rocas son prácticamente impermeables, no permiten que el agua las atraviese. El agua solo se infiltra por las fracturas (denominadas fallas en geología) que puedan existir.

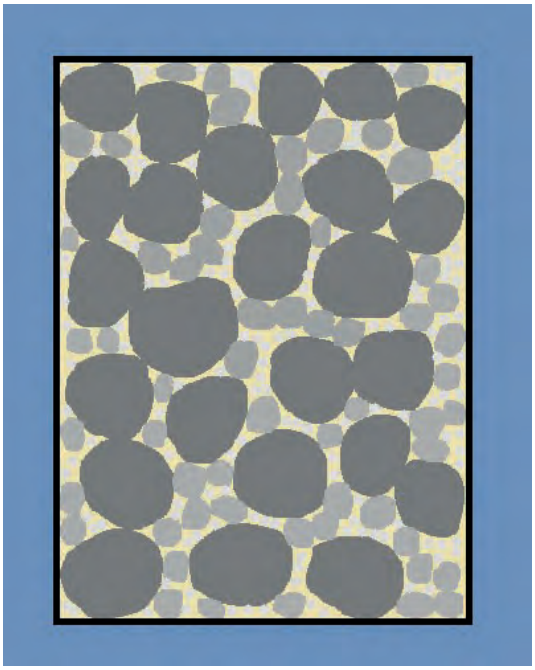
Pero los sedimentos que se depositaron sobre estas rocas en la cuenca sedimentaria de Xinzo pueden tener permeabilidades muy diferentes. De estos sedimentos las arcillas son las que tienen un tamaño de grano más fino, por debajo de 0,003 milímetros (3 micras). Esto hace que se empaqueten unas con otras formando una capa de material muy poco impermeable, el agua puede atravesar una capa de arcilla, pero tarda bastante tiempo en moverse por ella.

El limo tiene un tamaño entre 0,003 milímetros y 0,06 milímetros, y es más permeable, ya que al ser sus partículas mayores se "empaquetan" peor, dejan huecos entre ellas.

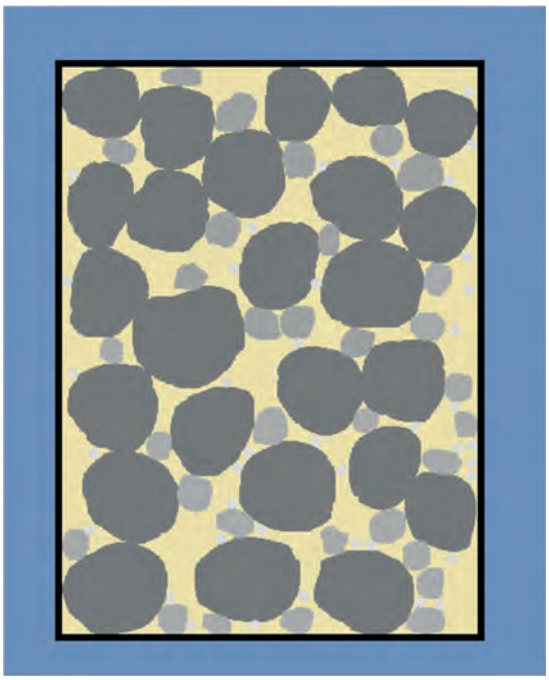
La arena tiene un tamaño entre 0,06 y 5 milímetros, por lo que los huecos entre sus partículas son más abundantes y esto les hace ser mucho más permeables.

Por encima de los 5 milímetros tenemos las gravas, con mayores huecos entre ellas y más permeables aún.

Las partículas de diferentes tamaños se colocan al sedimentarse en una zona. Los materiales más finos rellenan los huecos dejados por las partículas más gruesas. Eso hace que existan menos poros entre partículas por los que pueda transitar el agua subterránea.



Empaquetamiento de partículas con abundantes finos.



Empaquetamiento de partículas con pocos finos. Se observa como quedan más huecos entre partículas, los cuales pueden ser rellenados por el agua.

La velocidad a la que el agua subterránea se mueve por un material se denomina permeabilidad (o conductividad hidráulica), y al ser una velocidad se mide en una unidad de espacio dividido tiempo.

EL CASO PARTICULAR DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE XINZO DE LIMIA

Los sedimentos que rellenan la cuenca de Xinzo, la Limia, son peculiares ya que, en la parte superior, la más cercana a la superficie del terreno, están formados por arenas gruesas con muy pocos materiales finos. Por lo tanto, no hay apenas granos finos que rellenen los poros que dejan las arenas. Esto hace que el agua pueda circular fácilmente por esta red de poros y el agua subterránea se mueve muy deprisa por el subsuelo de la Limia.

Esta falta de granos finos genera también que la capacidad de filtrar contaminantes de estos sedimentos sea muy baja. Si un agua contaminada circula por unas arcillas el contaminante va quedando atrapado en las arcillas, y poco a poco se va depurando.

En el caso de estas arenas de grano grueso la capacidad de depuración es muy baja.

Por otro lado, esta arena de tamaño grueso, producida por la alteración química de los granitos que rodean a la Limia es un árido de excelente calidad. Se usa para, mezclado con grava de otros orígenes, fabricar hormigón y aglomerado (asfalto). La ausencia de materiales finos entre los granos de tamaño arena hace que este árido sea muy bueno para mezclarlo con áridos de otros tamaños y a sí fabricar el hormigón y el aglomerado.



Acopio de arena preparado para ser transportado en las areneras de Sandiás.

Por este motivo en esta zona hay numerosas areneras que extraen este árido. Como esta arena está en el subsuelo empapada en el agua de lluvia que se ha filtrado en el terreno al extraer la arena en su lugar queda el agua. Esto genera lagunas en las zonas de extracción, las cuales son utilizadas por abundante fauna y flora como hábitat mientras aún se están realizando los procesos extractivos.

Una vez finalizada la extracción de los áridos la laguna se renaturaliza con la aplicación de sencillas técnicas y el resultado son lagunas llenas vida.



Arenera sin actividad y renaturalizada.

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

Los recurrentes episodios de contaminación por eutrofización del río Limia aguas abajo de la Limia están generados por los altos contenidos en nutrientes (sobre todo nitrógeno) que hay en las aguas subterráneas que se son drenadas por el río Limia.

No es el objetivo del Hidrogeodía determinar cuál es origen de los altos contenidos en contaminantes orgánicos que llegan a las aguas subterráneas de la Limia. La presencia de abonos naturales en la superficie de la Limia genera que el agua de lluvia disuelva estos compuestos y los haga llegar al acuífero. Hay otros focos de contaminación como pueden ser el mal funcionamiento de depuradoras y el exceso de abonado de las parcelas agrícolas.



Sencilla explicación del proceso de la eutrofización.

Desde el punto de vista de la hidrogeología solo se puede llamar la atención sobre el hecho de que el acuífero superficial de la Limia tiene una capacidad de depuración de agua muy bajo y una permeabilidad muy alta. Cualquier contaminante vertido al acuífero en cuestión de horas puede llegar al río Limia ya que este río drena las aguas subterráneas de toda la zona.

Estos mismos vertidos en una zona rellena de arcillas (como puede ser el graben de Monforte de Lemos) se depurarían parcialmente en las arcillas presentes y la contaminación que llegaría al río sería mucho más baja.

EL MONITOR DEL HIDROGEODÍA OURENSE 2025

Eduardo González Clavijo es geólogo y lleva más de 10 años dedicándose a la divulgación de la geología en Galicia.

AGRADECIMIENTOS

Al Concello de Sandiás y a su centro de interpretación "A Casa da Lagoa", a Areneras Salvador y a ARIGAL (Asociación Galega de Áridos).











Pontevedra

HIDROGEODÍA 2025

22 de marzo 2025
Pontearéas

COLABORA
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
¿QUIERES COLABORAR?

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

O HIDROXEODÍA

O Hidroxeodía é unha xornada de divulgación científica sobre a hidroxeoloxía, a parte das ciencias que estuda a auga subterránea, e a profesión de hidroxeólogo.

Esta xornada está promocionada polo Grupo Español da Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) e consiste nunha actividade de balde e aberta a todo tipo de público, sen importar os seus coñecementos na materia.

O hidroxeodía celébrase no fin de semana máis próxima á celebración do Día Mundial da auga (22 de marzo) coa intención de dar visibilidade ás augas subterráneas, das que existe escaso coñecemento entre a poboación xeral e que representan en torno á 20% da auga doce do planeta.

A actividade celébrase en varias provincias españolas desde 2017 e noutros países como Brasil ou Ecuador. Esta edición celébrase simultaneamente en 27 puntos da xeografía española, en Andorra, Guimarães (Portugal), Arxentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, México, Bostwana e Sudáfrica.

En Galicia, o Hidroxeodía 2025 está organizado polo grupo **AQUATERRA** do centro de investigación **CICA** da **Universidade da Coruña** e a **asociación COXAPO**, en colaboración co **Concello de Ponteareas**.

Trátase dunha actividade gratuíta e aberta a todo tipo de público, sen importar os coñecementos na materia. Con todo, fíxose unha invitación especial aos membros das xuntas de augas do Concello de Ponteareas.

IMPORTANCIA DAS AUGAS SUBTERRÁNEAS PARA O ABASTECEMENTO EN GALICIA

Máis de 650.000 persoas nas áreas rurais de Galicia abastécense de auga subterránea. Ante a carencia histórica de sistemas de abastecemento de auga municipais, os habitantes das zonas rurais e mesmo de parte das áreas metropolitanas dalgunhas cidades, organizáronse e construíron sistemas de abastecemento autónomos. Estes sistemas están baseados na captación de mananciais, pozos escavados pouco profundos (<20 m) e pozos de barrena de entre 20 e 80 m de profundidade.

Os usuarios destes abastecementos de auga son os responsables da construción da infraestrutura, a súa operación, mantemento, dos trámites legais e administrativos necesarios para a captación e subministración de auga e da calidade da auga que chega á billa. Na maior parte dos casos, con excepción dos sistemas construídos para unha única vivenda ou un número moi pequeno de usuarios, constitúense cooperativas de usuarios ou xuntas de auga que son as encargadas destas tarefas. A xestión do servizo está baseada nos modelos tradicionais de gobernanza dos bens comunitarios que contribúen á sustentabilidade territorial, social e ambiental das zonas rurais.

Na actualidade, aínda que se foron creando sistemas de abastecemento municipal nalgunhas poboacións, estes sistemas autónomos continúan sendo maioritarios no rural. A dispersión da poboación en moitas zonas fai que un sistema de abastecemento centralizado requira un gran investimento inicial para a construción da infraestrutura e

uns custos de mantemento que o fan insostible desde un punto de vista económico. Doutra banda, moitos dos veciños prefiren manter o seu sistema autónomo ao resultar máis barato o servizo e non ver que a conexión á rede municipal represente ningunha mellora. Ademais, gran parte das vivendas conectadas a sistemas municipais manteñen pozos ou conexión a traídas veciñais para complementar o servizo e abaratar algúns usos como a rega de xardíns ou o enchido de piscinas. O municipio de Pontareas é un exemplo desta realidade.

COXAPO

COXAPO (Comunidade Xeral de Augas de Galicia) é unha asociación de abastecementos de auga comunitarios se ánimo de lucro cuxa misión é asesorar e apoiar a autoxestión dos seus socios, contribuíndo a mellorar a gobernanza dos sistemas e a calidade do servizo ás comunidades.

A orixe de COXAPO está no abastecemento comunitario de auga de Estás (Tomiño), construído e posto en funcionamento nos anos 70 do século XX. Esta experiencia dos membros da xunta de augas xeraron coñecementos para o asesoramento informal a outros sistemas sobre o uso da auga, o control da calidade da auga e cuestións administrativas e legais. Desde 2006, as comunidades de usuarios traballan xuntas nunha asociación que lles axuda a xestionar os seus sistemas. A asociación creceu fortemente a partir de 2010 ao darse a coñecer en toda Galicia actuando como interlocutor coa Xunta de Galicia, representando aos sistemas privados de abastecemento rural na oposición á implantación dunha nova taxa (o Canon da Auga). Actualmente, máis de 200 sistemas de abastecemento autónomos en Galicia, que dan servizo a máis de 70,000 habitantes, forman parte da COXAPO.

O HIDROXEODÍA 2025 EN PONTEAREAS

O Hidroxeodía 2025 en Galicia, terá lugar o sábado 22 de marzo no **municipio de Pontareas**, na provincia de Pontevedra.



Localización do municipio de Pontareas (Pontevedra) (www.wikipedia.org).

A actividade comezará cunha **charla-obradoiro sobre as augas subterránea en Pontareas e na súa contorna** impartida pola hidroxeóloga Acacia Naves, profesora e investigadora na Universidade da Coruña. Falarase de:

• De onde vén esa auga subterránea e cal é o volume de recursos hídricos dispoñibles. Como se verán afectados eses recursos polo cambio climático?

• Onde e como está a auga subterránea na zona, os tipos de acuíferos que se poden atopar de acordo á xeoloxía e o papel das fallas e os contactos xeolóxicos.
• Como se move a auga no subsolo, por que aparecen mananciais e a que se debe o seu comportamento en épocas de seca
• Como funciona un pozo.
• Os principais problemas de calidade da auga subterránea na zona e as súas causas
• As medidas para a protección da calidade da auga.



Taller de aguas subterráneas na pasada edición.

A charla terá lugar no **Centro Cultural de Xinzo en Portela (Pontareas) ás 11 da mañá**. Ao final da charla e o debate, **sortearanse agasallos** entre os asistentes.

A continuación, o persoal de COXAPO guiará unha visita á **traída de auga comunitaria de Parada da Rocha**.



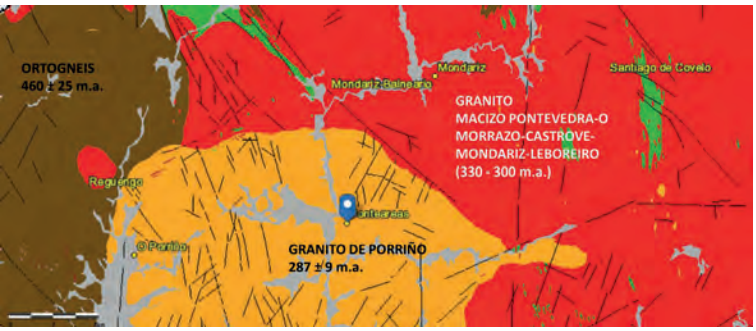
Visita a traída de Parada – A Rocha feita en datas previas para técnicos da Xunta.

A XEOLOXÍA O OS RECURSOS HÍDRICOS

O medio xeolóxico está dominado en Galicia por rocas graníticas e metamórficas, como granitos ou xistos, que tradicionalmente se consideraron case impermeables ou de moi baixa permeabilidade. Debido a isto, os recursos hídricos subterráneos consideráronse escasos e foron descoidados historicamente na planificación e xestión das concas.

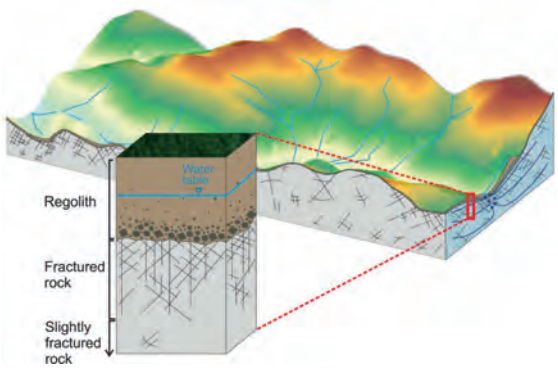
Polo contrario, o uso tradicional das augas subterráneas pouco profundas demostra que a roca meteorizada e fracturada (*xabre*) almacena un volume de auga significativa que non debe ser ignorado. Os escasos estudos dos recursos hídricos subterráneos en Galicia concordan con isto e estiman que a recarga sitúase entre o 8 e o 20% da taxa de precipitación (900-2500 mm/ano). Os recursos, en xeral, son máis que suficientes para o abastecemento da poboación dispersa no rural. Os problemas de garantía de subministración observados neste tipo de abastecementos adoitan estar máis relacionados coas deficiencias de deseño e xestión das infraestruturas que coa dispoñibilidade de recursos.

O municipio de Pontareas atópase sobre a formación granítica "Granito de Porriño", cunha antigüidade de entre 278 e 296 millóns de anos. Existen numerosas zonas de canteiras nesta formación para o uso deste granito como material de construción. Ao longo dos cursos dos principais ríos, atopamos capas de ata varios metros de depósitos aluviais do Cuaternario.



Mapa xeolóxico da contorna de Ponteareas. A cor vermella corresponde ao Granito de Pontevedra - O Morrazo – Castrove – Mondariz - Leboreiro, o amarelo corresponde ao Granito de Porriño, a cor marrón corresponde a ortogneises (outra rocha metamórfica) e a cor verde corresponde a afloramentos de esquistos. As zonas grises, que se atopan principalmente ao longo dos principais cursos fluviais, representan depósitos aluviais cuaternarios situados sobre a formación rochosa. As liñas negras representan as fallas ou zonas de fractura.

Sobre a rocha sa atópase rocha significativamente fracturada e, por enriba, unha capa de granito meteorizado, coñecida como regolito ou xabre, de espesor non uniforme que varía entre os 10 e os 40 metros. A maior parte da auga flúe pola capa de regolito e pola parte máis superficial da rocha fracturada.

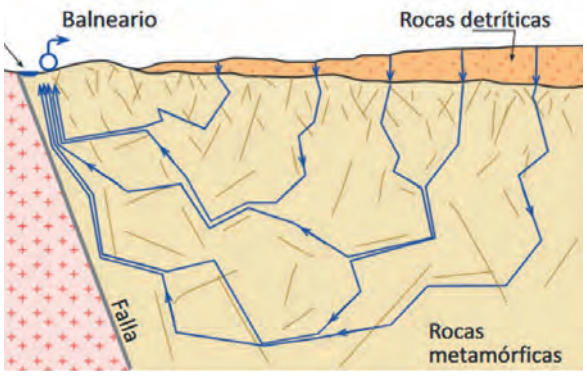


Esquema das capas xeolóxicas: rocha sa na base; por enriba, rocha fracturada; e na parte superior, regolito ou xabre de espesor variable.

O nivel freático atópase, en xeral, arredor dos 10 metros de profundidade e pode acadar os 30 metros nas zonas máis elevadas. Oscila estacionalmente coa variación da recarga, da orde de 5 metros. Este descenso aumenta na época estival preto das poboacións polo gran incremento da demanda, debido ao aumento da poboación e ao bombeo de auga para rega e enchido de piscinas privadas. Ao seren as capas inferiores da formación rochosa menos permeables, o caudal que se pode extraer nos pozos diminúe significativamente con este descenso dos niveis.

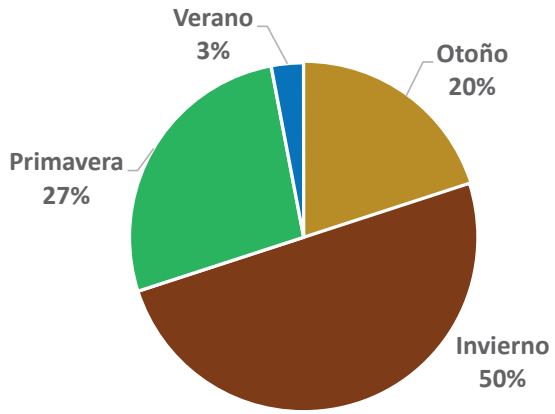
As fallas son bandas de decenas de metros de espesor formadas principalmente por movementos tectónicos, nas que o granito se atopa significativamente fracturado ata maior profundidade. Estas fracturas poden ter maior porosidade e converterse en vías preferentes de fluxo. Pola contra, as fracturas poden ter sido recheas por sedimentos arxilosos e converterse en zonas pouco permeables que impiden a circulación da auga e funcionan como barreiras ao fluxo.

Preto de Ponte CaldelasPo aparecen mananciais de augas de augas termais. Estes afloramentos débense a un fluxo de auga que procede de zonas máis profundas e que ascende polas zonas de falla. Trátase de auga subterránea cun tempo de permanencia no acuífero maior, o que fai que sexa unha auga máis quente e con maiores concentracións dalgúns elementos como o xofre ou o ferro.



Esquema dun manancial relacionado cunha zona de falla ou co contacto entre dúas rochas metamórficas. A zona de fractura ou contacto funciona como unha barreira ao fluxo.

Os recursos hídricos subterráneos son suficientes para abastecer as zonas rurais do municipio. Os estudos realizados ata o de agora sobre a posible diminución da recarga anual debido ao cambio climático para os escenarios futuros máis probables indican que a diminución esperada ata o ano 2100 non será superior ao 15%. Porén, existe unha distribución estacional da recarga que se prevé que se intensifique. Espérase que os períodos secos se alonguen e que as precipitacións sexan máis intensas e concentradas.



Distribución estacional da recarga anual ao acuífero.

A diminución da recarga nos veráns produciría un lixeiro descenso dos niveis freáticos, o que podería levar á redución do caudal ou incluso ao secado dalgúns mananciais, así como a problemas de garantía de subministración nas captacións. Estes problemas poderían superarse cunha xestión axeitada do recurso e cunha adaptación das captacións..

CALIDADE DA AGUA

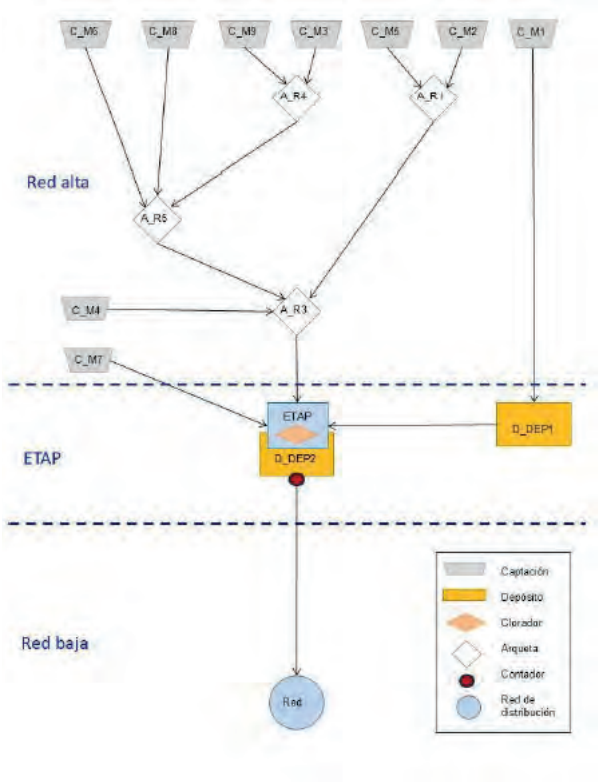
A calidade da auga subterránea en Galicia é boa en termos xerais. En moitos casos, atópase preto das zonas poboadas unha lixeira contaminación bacteriolóxica orixinada por sistemas de saneamento autónomos en condicións non axeitadas e por malas prácticas na xestión do xurro. En zonas con importante actividade agrícola e gandeira, o lavado dos xurros provoca unha contaminación bacteriolóxica máis significativa, un exceso de nitratos e altas concentracións de cinc e cobre que fan que a auga non sexa apta para o consumo humano.

En algunhas zonas de Galicia atopáronse concentracións naturais por enriba do límite establecido para o consumo humano de metais como o manganeso, o aluminio e o ferro. Trátase, en moitos casos, dunha contaminación natural que debe ser eliminada, xa que o consumo de metais pesados ten efectos bioacumulativos e resulta tóxico a longo prazo. É moi importante incluír os metais pesados nos parámetros analizados para determinar a calidade da auga das traídas veciñais ou dos sistemas de abastecemento de auga autónomos.

Por outra banda, debemos protexer a cunca vertente das captacións doutros contaminantes como os fertilizantes utilizados nos cultivos, os hidrocarburos que poden ser vertidos nas gasolineiras, etc..

TRAÍDA VECINAL DE PARADA E A ROCHA

Dentro das actividades do Hidroxeodía 2025 realizarase unha visita a un dos sistemas rurais de abastecemento autónomo de Ponteareas asociado a COXAPO: a traída veciñal de Parada e A Rocha. Este sistema abastece aproximadamente a unha poboación de 650 veciños. Comezou a construírse no ano 1971 e é xestionada polos propios veciños.



Esquema do sistema de abastecemento autónomo de Parada e A Rocha.

O sistema de abastecemento de auga capta a auga de nove mananciais (identificados no esquema como C_M1 a C_M9), sete dos cales están na parte alta do monte e os outros dous a media ladeira. Todas as captacións contan con filtros sinxelos que son limpados periodicamente.



Captación dun manancial dende o exterior (esquerda) e no interior (dereita).

A auga transportase por gravidade ata una estación de tratamento da auga (ETAP), pasando por arquetas nas que se conectan tubaxes (identificadas como A_R1 a A_R5) e por un pequeno depósito (D_DEP1). A ETAP está anexa ao depósito principal (D_DEP2) e conta cun clorador de análisis fotométrico e dous nano-filtros para o tratamento da auga antes do consumo. Despois de tratada o auga almacénase no depósito principal cunha capacidade de 113 m^3. Dende o depósito a auga distribúese mediante unha rede as casas e o colexio abastecidas tamén por gravidade. A saída do depósito principal hai un contador para controlar o consumo.



Depósito principal e ETAP.



Nanofiltros para o tratamento da auga na ETAP.

Na actualidade, a comunidade de usuarios da traída está centrada en avanzar na dixitalización do control do consumo, un proceso que se levará a cabo de maneira progresiva debido ao elevado custo dos dispositivos necesarios. Tanto o depósito como a estación de tratamento de auga potable (ETAP) dispoñen xa dun sistema de telecontrol que permite obter datos en tempo real a través dun dispositivo móbil. Este sistema proporciona información sobre o proceso de cloración, activa alarmas en caso de acceso non autorizado ao depósito e permite controlar o consumo no depósito principal.

AXENDA

11:00 Inauguración da xornada

11:15 Charla-obradoiro "As augas subterráneas e as traídas veciñais en Pontearеas".
Acacia Naves, Universidade da Coruña.

12: 45 Visita á traída veciñal de Parada da Rocha (Pontearеas)
Guiada por COXAPO e a Xunta Directiva da traída.

ONDE E COMO CHEGAR?

A primeira parte do Hidroxeodía 2025 terá lugar ás 11:00 no Centro Cultural de Xinzo en Portela (Pontearеas).
Dirección exacta:
Portela, 34
36891 Pontearеas (Pontevedra)



Centro Cultural de Xinzo

A visita de campo á traída veciñal de Parada da Rocha sairá ás 13:00 de diante do edificio e realizarase nunha caravana de coches particulares, seguindo aos organizadores.

CONSIDERACIÓNS XERAIS

- Trátase dunha actividade gratuíta dirixida ao público xeral. Non se requiren coñecementos previos de xeoloxía nin hidroxeoloxía.
- Os menores de idade poderán asistir se van acompañados do seu pai/nai ou titor, que será responsable dos mesmos e das consecuencias dos seus actos.

- O transporte realizarase en vehículos privados.
- O percorrido da visita á traída veciñal non ten dificultade técnica e tampouco se require gran estado de forma para realizalo. Con todo, é necesario camiñar pequenas distancias e pode haber pequenos desniveis. O acceso non está adaptado para persoas que utilicen cadeiras de rodas ou teñan diversidade funcional.
- Aconséllase o uso de indumentaria apropiada para o clima e o percorrido (calzado, roupa, auga, etc.).
- A organización dispón de seguro de accidentes contratado por la AIH, mais non se fai cargo de accidentes nos desprazamentos, perdas ou roubos que puidesen ocorrer.

AGRADECEMENTOS

Agradecemos ás persoas voluntarias do Grupo Español da Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) a organización e coordinación deste evento a nivel nacional, a súa motivación e a paciencia cos organizadores e organizadoras do evento en Galicia. Facemos unha mención especial a Almudena da La Rosa e Carolina Guardiola.

Grazas tamén a COXAPO por unirse a esta iniciativa e levar a divulgación científica á poboación rural, tantas veces excluída deste tipo de actividades.

Este ano damos especialmente as grazas ao Concello de Pontearéas pola súa colaboración e acollida e á xente das súas comunidades de augas por participar na xornada e por mostrarnos as súas instalacións.



Segovia

HIDROGEODÍA 2025 SEGOVIA

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Geología de Segovia

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas | IGME Instituto Geológico y Minero de España

CSIC HUB GEOCIENCIAS

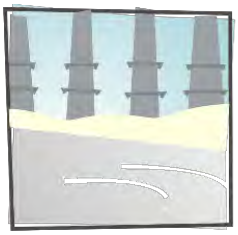


COORDINA (a nivel nacional):

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

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

ORGANIZA (a nivel provincial de Segovia): Asociación Geología de Segovia (GSg)



Geología de Segovia

COLABORA (en esta edición):

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC)
- Conexión Geociencias (CSIC)
- Proyecto Tarquín (DGA-CSIC-IGME)

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

IGME Instituto Geológico y Minero de España

CSIC HUB GEOCIENCIAS



Imagen de portada: Cartel anunciador del Hidrogeodía 2025 Segovia. Diseño de Andrés Díez Herrero (IGME-CSIC y GSg) con fotografía de Geología 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); y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), la Conexión Geociencias (CSIC) y el proyecto Tarquín (DGA-CSIC-IGME).

Las siete 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.
- Hidrogeodía Segovia **2025**: «A la Salud de Sepúlveda». Hidrogeodía Segovia 2025.

DESTINO DEL HIDROGEODÍA 2025 SEGOVIA

El destino elegido para el Hidrogeodía 2025 Segovia ha sido la **fuente de la Salud**, situada en el término municipal de Sepúlveda (Segovia, Castilla y León), al este del barrio de Santa Cruz de esta localidad, en las proximidades de la carretera SG-232 a Boceguillas, en el punto kilométrico 9, fondo del valle del río Duratón bajo el paraje del Alto Giriega (figura 1).



Figura 1. Mapa topográfico detallado del valle del río Duratón a su paso por el norte de la localidad de Sepúlveda, con la situación de la fuente de la Salud (elipse roja) al este del barrio de Santa Cruz de esta villa histórica. Fuente: Iberpix (IGN).

Se trata de un pequeño manantial natural o surgencia minero-medicinal que drena un acuífero kárstico con notable interés, no sólo geológico-hidrogeológico sino también cultural-etnográfico, educativo e histórico, suficiente como para dedicarle un Hidrogeodía.

Consistirá en una ruta a pie, desde el aparcamiento turístico de vehículos de Sepúlveda, sito en la calle del Postiguillo, circulando por las aceras y márgenes de la carretera SG-232 en sentido Boceguillas, hasta la fuente de la Salud. Durante el trayecto, se realizarán al menos tres paradas principales con explicaciones geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, botánicas, zoológicas, históricas y etnográficas (figura 2).



Figura 2. Mapa topográfico detallado del valle del río Duratón a su paso por el norte de la localidad de Sepúlveda, con el recorrido del Hidrogeodía 2025 (línea roja), desde el aparcamiento (0) hasta la fuente de la Salud (3), y ubicación de las dos paradas intermedias (1 y 2). Fuente: Iberpix (IGN).

PARADA 1

Estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda (CHD) e inundabilidad histórica del barrio de Santa Cruz

Al nordeste del recinto amurallado de Sepúlveda se ubica el barrio extramuros de Santa Cruz, ocupando la margen derecha del fondo del valle del río Duratón. En él tradicionalmente se ubicaban huertos y recintos fabriles, y hoy en día diferentes instalaciones dotacionales (piscina municipal, campo de futbol, antiguo instituto de enseñanza secundaria), viviendas, establecimientos hosteleros y los antiguos lavaderos, entre otras edificaciones.



Figura 3. Caseta almenada con el instrumental de medición, registro y transmisión de datos de la estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda (02012 de la CHD).

En el extremo oeste del barrio de Santa Cruz, donde la carretera SG-232 cruza sobre el río Duratón, se ubicó a principios del siglo XX (año 1913) una instalación hidrológica para medida de niveles y caudales del río: la **estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda** (código 2012 de la Confederación Hidrográfica del Duero, CHD). Cuenca drenante: 466 km^2.

Actualmente está integrada en la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y conectada al Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), con datos accesibles en tiempo real (aunque con cierto desfase temporal) a través de Internet; e información histórica registrada en el visor del Anuario de Aforos, también accesible en Internet.

Su instalación básica consiste en la caseta (figura 3) con el instrumental de medición, registro y transmisión de datos; las conducciones subterráneas de la lámina de agua en la sección de control con el instrumental de la caseta; y varias regletas limnimétricas graduadas a diferentes alturas (figura 4).



Figura 4. Ladera desde la caseta a la sección de control de la estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda, con las escaleras, conducciones y regletas limnimétricas.

La sección de control del río se encuentra en estado natural, esto es, no ha sido canalizado ni acotado por muros ni solera de fábrica (figura 5); por lo que es variable en el tiempo (sobre todo tras eventos de avenidas y crecidas) y requiere de un mantenimiento periódico del depósito de sedimentos, la incisión vertical, el ensanchamiento y migración lateral por erosión y el crecimiento de vegetación.

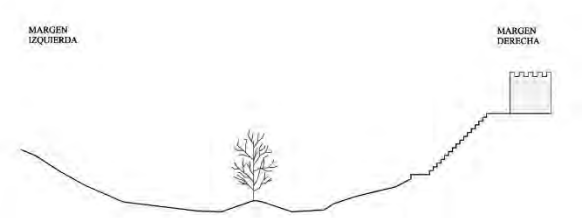


Figura 5. Perfil topográfico de la sección transversal de control de la estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda. Fuente: Anuario de aforos de la CHD.

El instrumental realiza una monitorización en continuo (datos diezminutales) de la altura de lámina de agua en la sección de control del río, obteniendo un registro limnimétrico (profundidad, h) que puede ser representada en un gráfico llamado limnigrama (función de la variación de la altura de lámina de agua o profundidad en el tiempo). Utilizando las relaciones entre estas alturas de lámina de agua y profundidades con los caudales circulantes (Q), mediante la elaboración y calibración de una curva de gasto (Q(h)), los datos limnimétricos pueden ser convertidos en aforos de caudal, y el limnigrama en un hidrograma (función de la variación del caudal en el tiempo).

Los datos históricos registrados en el Anuario de aforos son discontinuos y tienen múltiples interrupciones por falta de información de días, meses e incluso años completos.

Básicamente, además de datos de aportaciones totales anuales (el caudal sumado para un año completo) y caudales medios, respecto a los datos de caudales elevados, se dispone de dos variables: el caudal máximo medio diario de cada año (Qc); y el caudal máximo instantáneo de cada año (Qci). Las series de ambas variables también son discontinuas y están disponibles en el Anuario para los periodos:

- Qc: del año hidrológico 1915-1916 a 2020-2021; 62 datos anuales.
- Qci: del año hidrológico 1968-1969 a 2020-2021; 50 datos anuales (figura 6).

El mayor caudal máximo instantáneo (Qci) registrado en esa serie fue de 158,2 m^3/s, registrado el día 27 de marzo de 2013; seguido a enorme distancia por el caudal máximo instantáneo de 68,2 m^3/s, registrado el día 27 de enero de 2001.

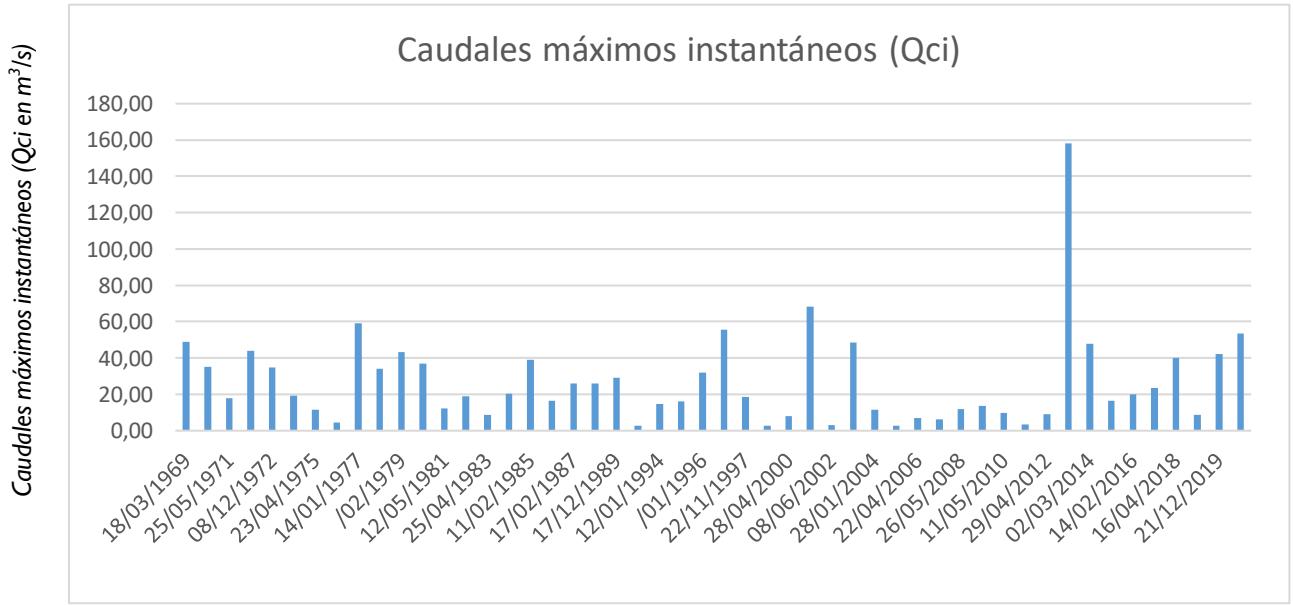


Figura 6. Valores de caudales máximos instantáneos (Qci en m^3/s) a lo largo del periodo de funcionamiento de la estación. Fuente: Anuario de aforos de la CHD.

Como esos caudales (y otros muchos que circularon antes de la ubicación de la estación de aforos) excedieron la capacidad del cauce de bancos llenos (*bankfull*), desbordaron a las márgenes o riberas, produciendo el anegamiento de la llanura de inundación, en la que se encuentran ubicadas parte de las edificaciones del barrio de Santa Cruz. Por ello, en los archivos históricos y hemerotecas de prensa local se encuentran varias referencias a inundaciones en Sepúlveda, sobre todo en el barrio de Santa Cruz y en el valle del Caslilla, porque el recinto amurallado se encuentra suficientemente elevado para ser inundado.

Existen evidencias geológicas (depósitos de arenas y limos en remansos, localizados en cavidades de las márgenes del cañón) de paleoinundaciones pleistocenas del río Duratón, de unos 90.000 años de antigüedad (datadas mediante luminiscencia; Díez-Herrero et al., 2005) y que corresponden a caudales extraordinarios, posiblemente por avenidas de rotura de lagos en represamientos glaciares en la cabecera del río Duratón y sus afluentes (río Serrano).

También existen documentos históricos (desde el siglo XI) en archivos y hemerotecas de inundaciones que han afectado a localidades ribereñas del río Duratón. Incluso se han localizado manifestaciones culturales asociadas a rogativas y cantos a santos y vírgenes para prevenir las inundaciones, como las coplas a la Virgen del Río de San Miguel de Bernuy (Díez-Herrero et al., 2022).

Entre las inundaciones recientes (siglos XX y XXI) del río Duratón registradas en las hemerotecas de prensa local (El Adelantado de Segovia, El Norte de Castilla…) o en la relación de ayudas tras inundaciones publicadas en el Boletín Oficial del Estado (BOE) destacan:

- *Inundación en Sepúlveda de marzo de 1996*
  https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1996-7351
- *Inundación en Sepúlveda 1997-1998*
  https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-12668
- *Inundación en fuente de la Salud 2013*
  https://eladelantado.com/segovia/el_cauce_de_los_principales_rios_de_la_provincia_continua_desbordado/
- *Inundación en Sepúlveda 2014*
  https://elpregonerodesepulveda.es/index.php/hemeroteca/92-noticias/944-la-crecida-de-los-cauces-provoca-inundaciones-y-cortes-de-carreteras

  https://www.elpregonerodesepulveda.es/index.php/hemeroteca/92-noticias/946-las-crecidas-de-los-rios-mantienen-en-alerta-a-15-municipios-segovianos
- *Inundación en Sepúlveda enero 2024*
  https://eladelantado.com/segovia/el-deshielo-pone-en-alerta-a-la-provincia-por-desbordamientos/

  https://eladelantado.com/segovia/la-borrasca-juan-deja-a-su-paso-un-gran-numero-de-incidentes-por-toda-la-provincia/

Las zonas más afectadas del barrio de Santa Cruz (figura 7) suelen ser el campo de fútbol (figura 8), cuyos muros perimetrales han sido derribados por zapado y el empuje de las avenidas del Duratón; el lavadero (figura 9) y la fuente de la Salud (figura 10).



Figura 7. Vista del barrio de Santa Cruz inundado en la avenida del río Duratón del 17 de diciembre de 1997. Foto: Juan Emilio Cristóbal Martín (Hermanos Cristóbal Martín, S.L.).



Figura 8. Campo de futbol de Sepúlveda inundado en la avenida del río Duratón del 17 de diciembre de 1997. Foto: Juan Emilio Cristóbal Martín (Hermanos Cristóbal Martín, S.L.).



Figura 9. Lavadero de Sepúlveda inundado en la avenida del río Duratón del 17 de diciembre de 1997. Foto: Juan Emilio Cristóbal Martín (Hermanos Cristóbal Martín, S.L.).



Figura 10. Fuente de la Salud de Sepúlveda inundada en la avenida del río Duratón del 17 de diciembre de 1997. Foto: Juan Emilio Cristóbal Martín (Hermanos Cristóbal Martín, S.L.).

Recientemente, unas semanas antes de la celebración del Hidrogeodía, durante las primeras semanas del mes de marzo de 2025, el paso sucesivo de cuatro borrascas atlánticas de alto impacto (Jana, Konrad, Laurence y Martinho) produjo sucesivos picos de avenida, con caudales significativos (especialmente tras la borrasca Jana; figura 11).

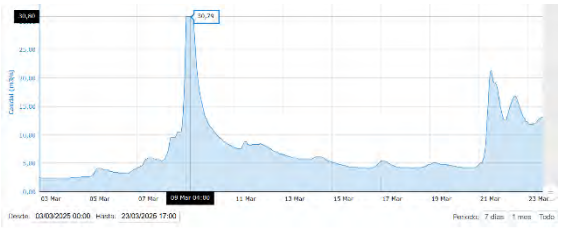


Figura 11. Hidrograma de las avenidas asociadas a las borrascas atlánticas Jana, Konrad, Laurence y Martinho (3 a 23 de marzo de 2025). Foto: SAIH Duero, Confederación Hidrográfica del Duero (sin validar).

A pesar de ello, al no haber considerado la CHD en sus evaluaciones preliminares del riesgo de inundación (EPRI), que se trate de de un área de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSI), no se encuentran diferentes periodos de retorno, ni mapas de peligrosidad, ni de riesgo de inundación en el elaborados mapas de inundabilidad para Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), cuyo visor solo dispone de mapas para el río Duratón desde Burgomillodo (Carrascal del Río) hasta San Miguel de Bernuy, aguas abajo (figura 12).

Por este motivo, tampoco han sido incluidos en los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI), ni propuestas medidas de mitigación del riesgo concretas para este tramo del río Duratón.



Figura 12. Mapa de zonas inundables para diferentes periodos de retorno (polígono en rojo) cartografiadas para cauce del río Duratón. Fuente: Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI, MITERD).

Sí que hay información disponible para los caudales máximos en régimen natural del Mapa de Caudales Máximos (CAUMAX), ofreciendo un valor para la situación de la estación de aforos del Duratón en Sepúlveda de 189 m^3/s para periodo de retorno de 500 años, límite legal en España (figura 13).

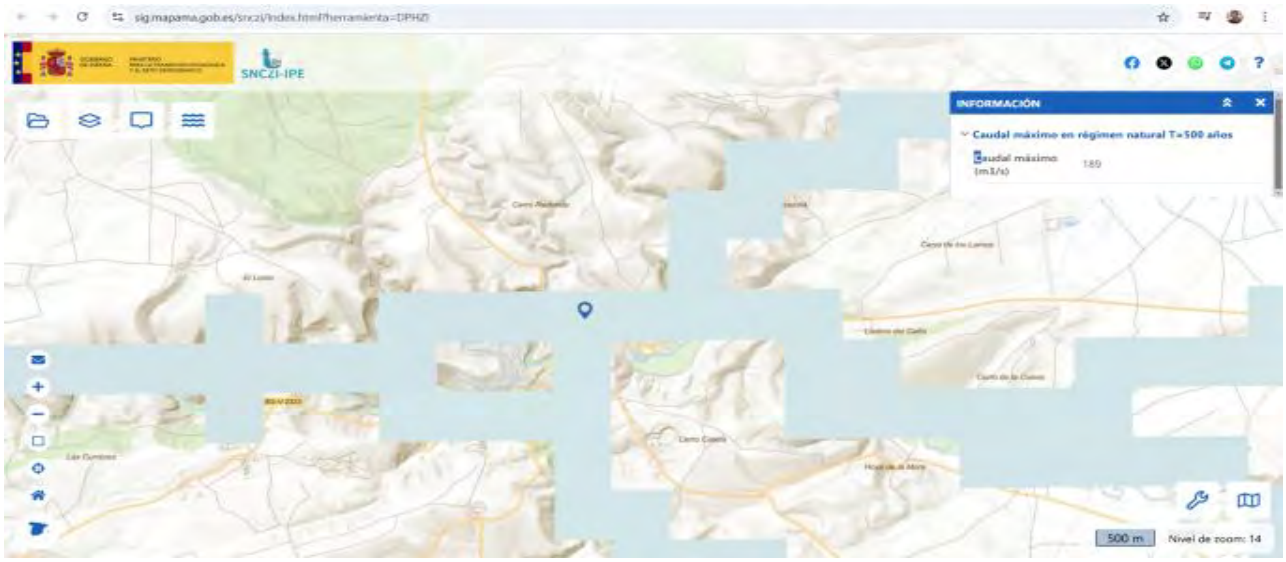


Figura 13. Mapa de caudales máximos para periodo de retorno de 500 años del entorno de Sepúlveda. Fuente: Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI, MITERD).

PARADA 2

Fuente y lavadero del barrio de Santa Cruz

En el extremo oriental del barrio de Santa Cruz, en la margen derecha del río Duratón se encuentra el antiguo lavadero de Sepúlveda, hoy en día restaurado y recuperado como espacio etnográfico (figura 14).



Figura 14. Antiguo lavadero de Sepúlveda en el barrio de Santa Cruz, con la fuente, canal y lavadero propiamente dicho.

Se trata de un edificio de planta rectangular, una sola nave, muro perimetral, solera y pilares de piedra de sillería (caliza bioclástica cretácica tipo Rosa Sepúlveda; figura 15) y cubierta de madera rematada con un tejado a dos aguas a la segoviana (solo la teja canal, sin la cobija).



Figura 15. Antiguo lavadero de Sepúlveda en el barrio de Santa Cruz, con solera de piedra de sillería (Rosa Sepúlveda) y cubierta de madera a dos aguas.

El lavadero se alimentaba de agua a través de un canal que podía aprovechar tanto el caudal de un manantial del acuífero kárstico (ver parada 3); como de agua derivada desde el cercano río Duratón.

Las aguas provenientes de estos dos orígenes tienen una diferencia composicional clara: el agua del manantial kárstico sería moderadamente bicarbonatada cálcico-magnésica lo que, desde el punto de vista del lavado, produciría menos espuma con la aplicación del jabón (agua dura); por su parte, el agua proveniente del Duratón, como es mezcla del agua superficial procedente de Somosierra con la del acuífero kárstico, está menos mineralizada y produciría más espuma con el jabón (agua más blanda).

El lavadero, al igual que otras instalaciones públicas frecuentadas por la población, era lugar de manifestaciones culturales varias: chismes, cotilleos, galanteos, cantos y romances. De hecho, varios romances del Romancero General de Segovia hacen alusión a la tarea de lavar, la presencia de fuentes y manantiales y las propiedades de sus aguas. Uno de los más extendidos en la provincia es el romance del Conde Niño (a) en sus diferentes variantes, una de las cuales reza:

0049:15 **Conde Niño (á)** (ficha nº: 320)

Versión de **Añe** (ay. Añe, p.j. Santa María la Real de Nieva, ant. Segovia, ***Segovia***, **España**). Recitada por Ciriaca Santos (65a). Recogida por Ana Beltrán, Pere Ferré, Olimpia Martínez y Sandra Robertson, 07/07/1982 (Archivo: ASOR; Colec.: Encuesta SEGOVIA 82; cinta: 2.7-7.1/A-02). 030 hemist. Música registrada.

Fernandito se pasea por la orillita del mar,
mientras su caballo bebe él echa dulce cantar.
--Mira, hija, cómo canta la sirenita del mar.
--No es la sirenita, madre, ni es la sirena del mar,
que es la voz de Fernandito, con quien yo voy a casar.
--No te casas, hija mía, que le mando yo matar.

A él, como princesito, le entierran en un altar,
y a ti, como princesita, tres pasitos más atrás.
Y de tu tumba, hija mía, una fuente ha de brotar
todos los ciegos y mudos [allí] se irán a lavar.--
La reina se quedó ciega, a la fuente se fue a lavar;
mientras la reina llegaba la fuente dejó de dar.
--Dame agua, fuentecita, para mis ojos sanar.
--Cuando yo era pequeñita me mandastes a matar,
ahora que soy fuentecita agua no te quiero dar.

Nota: Al cantar se repite cada verso.

PARADA 3
Fuente de la Salud de Sepúlveda

La **fuente de la Salud** (o fuente de La Salud) es un manantial natural que drena un acuífero kárstico, cuya situación, régimen de caudales y características hidroquímicas están totalmente condicionadas por el contexto geológico del entorno de Sepúlveda, la hidrogeología comarcal y la situación concreta del manantial.

CONTEXTO GEOLÓGICO DE LA FUENTE DE LA SALUD

La fuente de la Salud y el entorno de la villa de Sepúlveda, desde el punto de vista geológico, se encuentran en una de las tres principales unidades geológicas de la península Ibérica: las **Cuencas y Cordilleras Alpinas**, unidad que da lugar a otras importantes cadenas montañosa como Pirineos, Cordillera Ibérica, Béticas… Esta unidad geológica está representada por las rocas y estructuras de la **Rama Castellana de la Cordillera Ibérica** que, en el macizo de Sepúlveda, está constituida por **rocas sedimentarias de edad Cretácico Superior** (edades entre 95 a 65 millones de años).

Más en concreto, sobre el basamento formado por rocas metamórficas proterozoico-paleozoicas (gneises) se sitúan dos conjuntos: uno inferior detrítico, con arenas silíceas, arcillas, conglomerados y limos, depositados en ambientes fluviales y litorales; y otro superior carbonático, con 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 (figura 16).

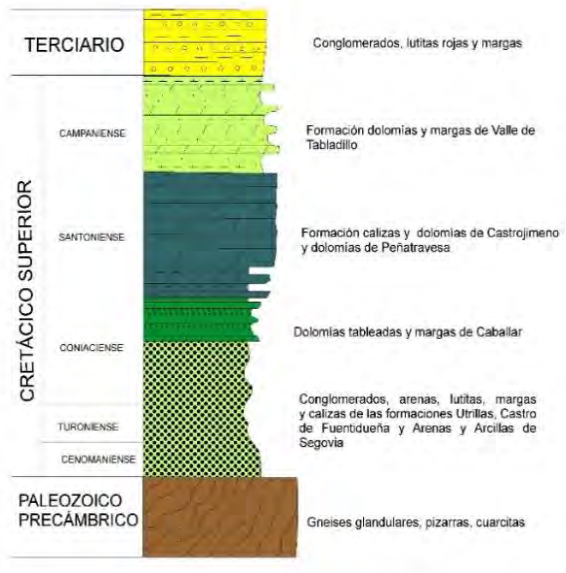


Figura 16. Columna sintética de los materiales aflorantes en el entorno de la fuente de la Salud.

Todo el conjunto está afectado por la tectónica de la orogenia Alpina a lo largo del Cenozoico (últimos 65 millones de años), produciendo cabalgamientos, fallas, pliegues, diaclasas y basculamientos monoclinales de las series de rocas sedimentarias (figura 17).

Entre estas estructuras tectónicas alpinas que afectan con fallas inversas-cabalgamientos al basamento ígneo-metamórfico y con pliegues monoclinales a la cobertera sedimentaria cretácica, destaca el **pliegue de Sepúlveda**, con dirección ENE-OSO y vergencia hacia el norte; en el que el flanco verticalizado llega a estar incluso invertido y fallado. Esta gran estructura tectónica que se prolonga a lo largo de varios kilómetros en el macizo de Sepúlveda, al tener la zona de charnela erosionada y llegar a aflorar en el núcleo el basamento metamórfico (gneises del puente de Talcano), desde el punto de vista hidrogeológico divide a las formaciones sedimentarias en dos subconjuntos monoclinales, uno al norte hacia La Pedriza (hacia Urueñas) y otro al sur (hacia Vellosillo).

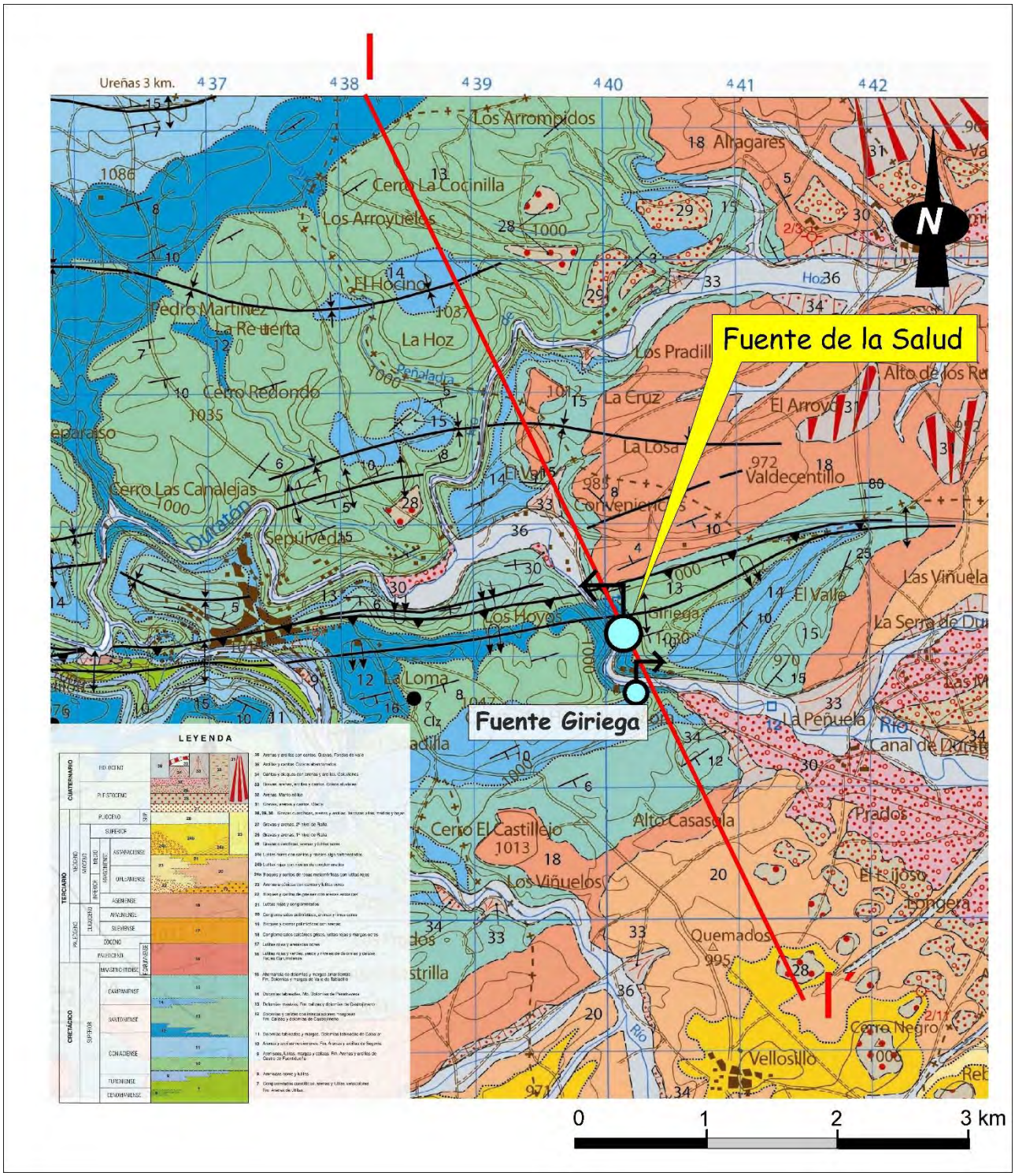


Figura 17. Mapa geológico del entorno de la Fuente de la Salud y leyenda del mismo. Fuente: IGME (2007).

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DE LA FUENTE DE LA SALUD

Desde un punto de vista hidrogeológico la fuente de la Salud se ubica en el sector suroriental de la Demarcación Hidrográfica del Duero, en las estribaciones del límite de la demarcación configurado por la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). Se encuentra dentro de la masa de agua subterránea 400046 Sepúlveda de 463,7 km^2, en su extremo sureste, y próxima al límite con la masa de agua subterránea de 400049 Tierras de Ayllón y Riaza (figura 18).

En el sector de Sepúlveda, la masa de agua subterránea está conformada por un acuífero carbonatado, de unos 150 metros de espesor, constituido por dolomías con algunas intercalaciones margosas, de edad Coniaciense superior-Campaniense inferior (Cretácico superior), dispuesto sobre materiales arenosos limosos de edad Cenomaniense-Coniaciense (Cretácico inferior), con comportamiento de acuitardo. La permeabilidad del acuitardo inferior es significativamente menor (peores condiciones como acuífero) que la del acuífero dolomítico suprayacente, de mejores cualidades hidráulicas.

Por debajo de estas unidades, los materiales están constituidos por rocas metamórficas de baja permeabilidad, constituyendo el impermeable de base regional.

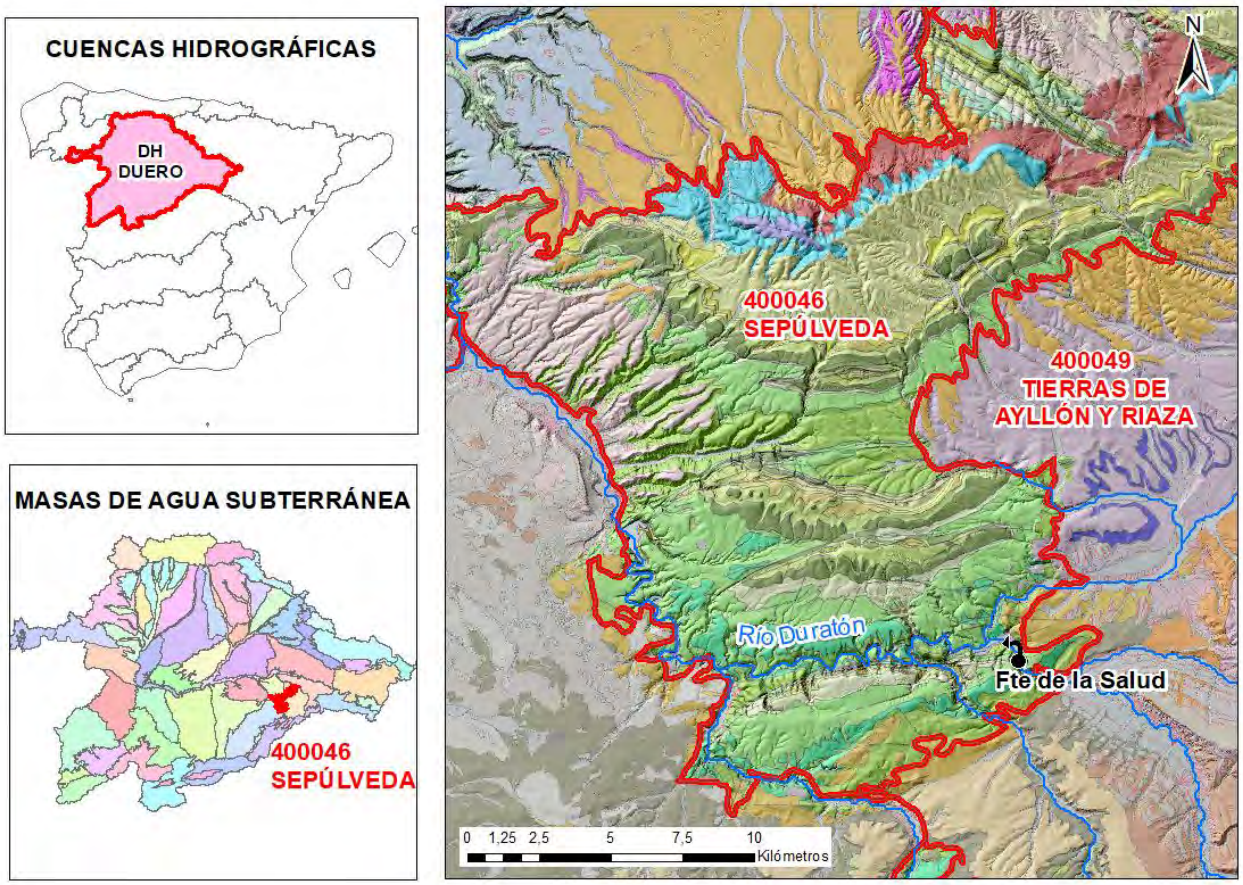


Figura 18. Masa de agua subterránea 400046 *Sepúlveda. La Fuente de la Salud se sitúa en el extremo SE de la misma.*

Las estructuras tectónicas condicionan el comportamiento hidrogeológico regional, ya que configuran la geometría de las formaciones acuíferas mesozoicas y provocan elevaciones de los materiales de baja permeabilidad que actúan o pueden actuar como barreras impermeables. Así, desde un punto de vista hidrogeológico, el área de estudio está delimitada al norte por la estructura de Urueñas y al sur por la de Sepúlveda, estableciéndose un flujo subterráneo de NNO a SSE (figura 19). La estructura de Sepúlveda es la que condiciona, principalmente, el funcionamiento del manantial de la Salud.

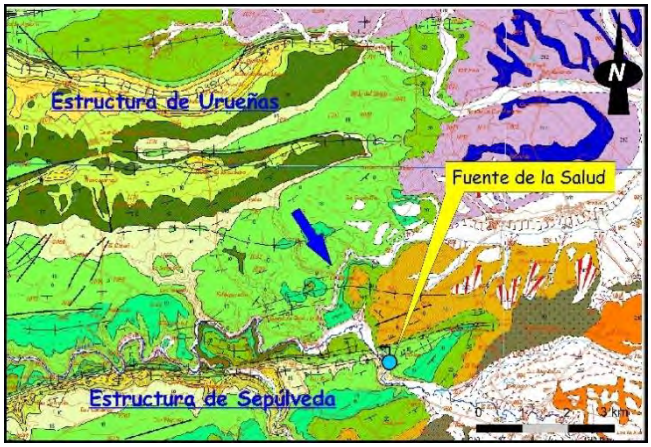


Figura 19. Situación de la Fuente de la Salud en relación con las estructuras de Urueñas y Sepúlveda. Entre ellas, el flujo de las aguas subterráneas se establece de NNO a SSE.

La estructura de Sepúlveda se extiende unos 5 kilómetros al oeste de Sepúlveda hasta desaparecer bajo los materiales terciarios de la localidad de Aldeosancho (Gómez Ortiz, 2001). Este último autor, en su tesis doctoral, hace un análisis minucioso de esta estructura. Se presenta como una pareja anticlinal-sinclinal en el que el anticlinal muestra una geometría monoclinal con flanco frontal (norte) subvertical, llegando a invertirse al este de Sepúlveda, precisamente donde aparece la Fuente de la Salud. El sinclinal, situado al norte del anticlinal, se encuentra fallado en su núcleo, mediante una falla inversa.

En el núcleo de la estructura, inmediatamente al sur de la villa de Sepúlveda, afloran las arenas de la formación Utrillas, las cuales han sido desmanteladas llegando a aflorar incluso los gneises glandulares basales a un kilómetro al oeste del pueblo. Este hecho indica que el techo del basamento está elevado, con un salto que se estima en unos 200 m (Gómez Ortiz, 2001). El salto de la falla inversa en el núcleo sinclinal, que afecta a la cobertera mesozoica, es sin embargo de tan solo 50 metros (figuras 20 y 21).

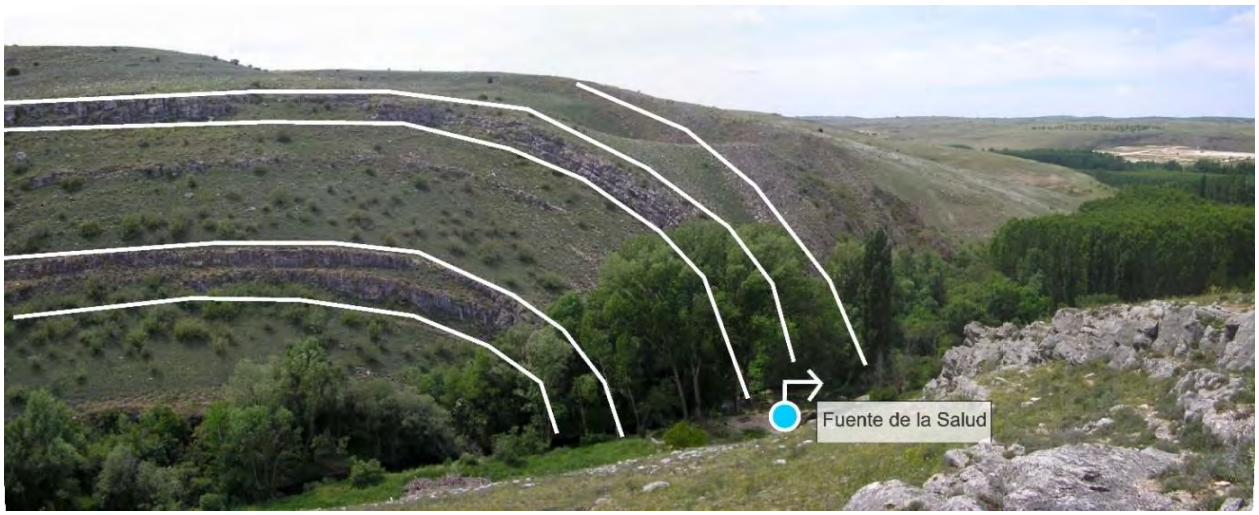


Figura 20. Vista del pliegue en rodilla de Sepúlveda desde el Alto Giriega y situación de la fuente de la Salud.

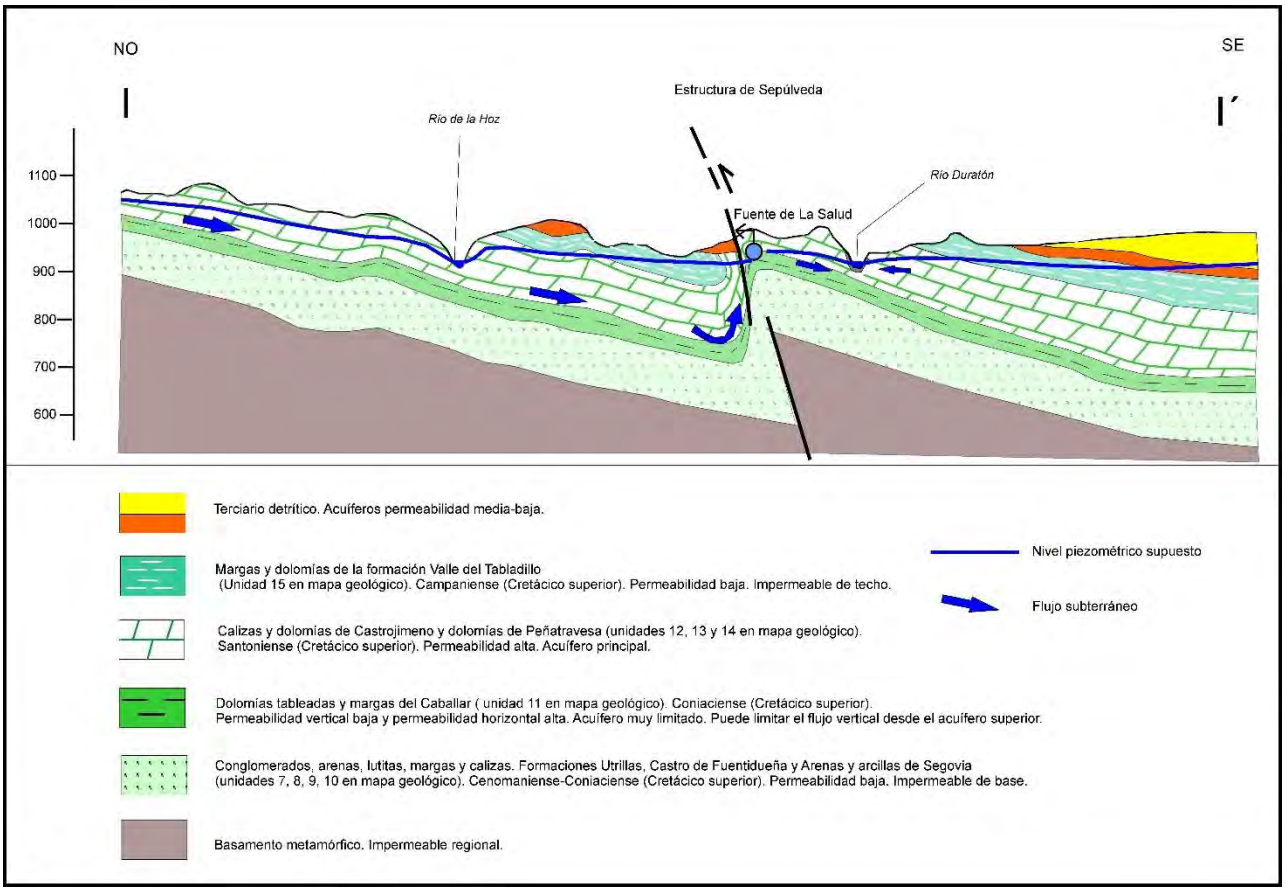


Figura 21. Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de la Fuente de La Salud. Fuente: López y Díez (2010).

El corte hidrogeológico I- I´ cuya situación se muestra en la figura 17, se ha realizado a partir de la cartografía geológica MAGNA a escala 1:50.000 (IGME, 2007). Según este esquema, la Fuente de la Salud representa el drenaje parcial de un sector del acuífero comprendido entre las estructuras de Urueñas y Sepúlveda.

El termalismo de sus aguas (20ºC), se debe a la surgencia de un flujo profundo, condicionado por el buzamiento sur de las capas, que hace que las aguas subterráneas al encontrar una barrera impermeable en la estructura de Sepúlveda, asciendan rápidamente aprovechando la disposición vertical de las capas en el flanco norte del anticlinal.

¿De dónde viene el agua que mana en la fuente de la Salud?

El agua que mana en la fuente de la Salud 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 río Duratón. El agua de la lluvia y la nieve fundida en las lastras y cuestas al norte del valle del Duratón (comarca de La Pedriza) 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 (figura 22).

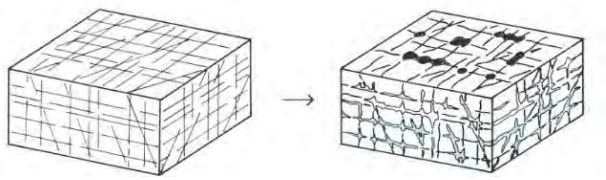


Figura 22. Esquema de la karstificación de un macizo rocoso a favor de las superficies de debilidad, como planos de estratificación y diaclasas. Fuente: Díez Herrero y Martín Duque (1993).

El resultado es que el agua que brota en la fuente de la Salud está cargada de **bicarbonatos de calcio y magnesio** (figura 23), siendo lo que popularmente se llama 'agua dura', con cierto 'sabor' y que no hace espuma con el jabón.

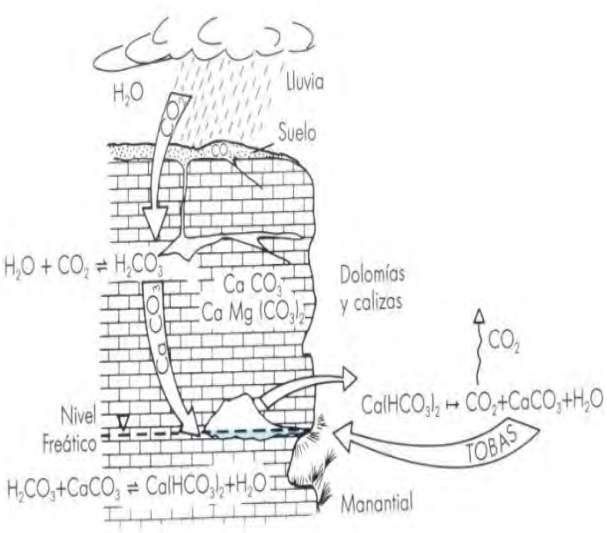


Figura 23. Esquemas de un macizo calcáreo, como la lastra Giriega, con los procesos y reacciones químicas de la karstificación y formación de un acuífero kárstico, y su drenaje por un manantial o surgencia, como la fuente de la Salud. Fuente: Díez Herrero y Martín Duque (1993).

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.

Caudal de la fuente de la Salud de Sepúlveda

A lo largo de las últimas décadas y a través de diversos estudios e iniciativas se han hecho **aforos (mediciones de caudal)** de la fuente de la Salud, cuyos resultados disponibles se muestran en la Tabla 1.

Fecha	Caudal (L/s)
15/01/1975	42,4
08/03/1975	42,4
15/04/1975	29,0
21/05/1975	32,7
19/06/1975	36,8
08/07/1975	45,9
09/08/1975	45,9
26/09/1975	49,0
22/10/1975	49,9
15/11/1975	48,1
12/01/1976	48,05
13/02/1976	49,4
04/04/1976	49,2
15/09/1978	152,0
02/02/1989	48,7
19/09/2006	45
07/06/2010	154,0

Durante el periodo enero 1975 – abril 1976 el caudal medio es de 43,7 L/s. Durante este periodo la precipitación anual fue de 626 mm (IGME-IRYDA, 1977), ligeramente inferior a la precipitación media anual del periodo 1940-1977, de 650 mm. Asimismo existen dos medidas puntuales, en febrero de 1989 y septiembre de 2006, con caudales similares (48,7 y 45 L/s respectivamente) a dicho caudal medio, correspondiendo a periodo de estiaje la primera y de aguas altas el segundo. Estos datos apuntan hacia un comportamiento bastante estable del manantial, y un importante potencial regulador del acuífero.

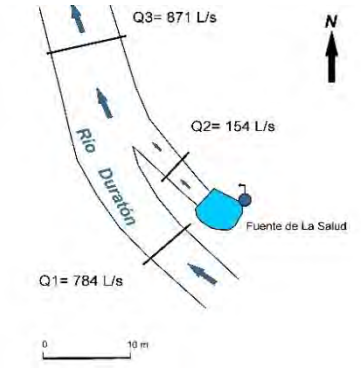


Figura 24. Esquema de los aforos realizados el día 7 de junio de 2010. Aforo 1: río Duratón aguas arriba de la Fuente de la Salud; Aforo 2: Salida de la piscina de la fuente; Aforo 3: río Duratón aguas abajo del cauce que aporta el agua del manantial. Fuente: López y Díez (2010).

Las dos medidas puntuales en 1978 y 2010 en las que se obtuvieron caudales muy superiores, 152 y 154 L/s (figura 24) respectivamente, corresponden a años con precipitaciones excepcionales. Así, en el año hidrológico 1977-78 la precipitación fue de 933 mm y en el año 1978-1979 de 862 mm en la estación de Sepúlveda (www.chduero.es), muy superiores a la media (650 mm). En el año hidrológico 2009-2010, hasta junio la precipitación media acumulada (periodo 1/10/2009 a 8/06/2010) en este sector de la cuenca del Duero, es de 500 mm (MMARM, 2010), lo que significa el 77% de la lluvia media.

Teniendo en cuenta todos estos datos, se considera el caudal promedio de 43,7 L/s como el más representativo del manantial, lo que implica un caudal anual de 1,38 hm^3/año.

Este caudal representa aproximadamente el 39% de los recursos subterráneos anuales estimados del área de recarga del manantial. Los aproximadamente 2 hm^3/año restantes deben corresponder a las salidas al río Duratón (entre la Fuente de la Salud y la localidad de Sepúlveda), y el río de la Hoz.

Hidroquímica de la fuente de la Salud de Sepúlveda

Son escasos los datos hidrogeoquímicos disponibles públicamente. Solo se ha podido recopilar un análisis del año 1975 para una primera declaración de agua minero medicinal; un análisis del año 1977 incluido en el informe del PIAS (IGME-IRYDA, 1977); un análisis bacteriológico del año 1987; un análisis del año 1989 incluido en el expediente de declaración de agua minero medicinal; y un análisis del año 2006 del informe IGME-JCYL-SIEMCALSA: "Las aguas Minerales de Castilla y León" (Tabla 2).

PARÁMETROS	Marzo 1975	Junio 1977	Febrero 1989	Septiembre 2006
Cloruros (mg/L)	7,2	7,0	4,0	3,3
Sulfatos (mg/L)	31,2	68,3	28,0	20,7
Bicarbonatos (mg/L)	344,0	305,0	297,0	284,8
Nitratos (mg/L)	2,2	18,5	6,0	7,3
Nitritos (mg/L)	0,0		0,0	<0,03
Amonio (mg/L)	0,0		0,0	0,05
Sodio (mg/L)	4,6	3,3	2,0	2,8
Potasio (mg/L)	0,2	1,3	0,7	0,9
Calcio (mg/L)	76,5	68,1	61,0	65,5
Magnesio (mg/L)	30,1	36,4	28,0	27,5
Sílice (mg/L)	1,1		9,4	9,89
Fosfatos (mg/L)	0,0		0,06	< 0,5
Hierro (µg/L)	0,0		10	< 10
Manganeso(µg/L)	0,0		6,0	17,0
Cobre (µg/L)			< 50	
Cinc (µg/L)			< 50	
Cromo (µg/L)			7,0	
Cadmio (µg/L)			< 1,0	
Plomo (µg/L)			< 17,0	
Mercurio (µg/L)			< 0,5	
Selenio (µg/L)			< 1,0	
Arsénico (µg/L)	0,0		< 5,0	3,0
Fluoruros (mg/L)	0,0		< 0,5	0,12
DQO (mg O_2 /L)			0,5	< 0,1
pH		7,0	7,4	7,99
Conductividad eléctrica (µS/cm)	460 (25ºC)	467 (25ºC)	414	417 (20ºC)
Turbidez UNF				0,4
Residuo seco (mg/L)	318,3 (110ºC) 286,9 (600ºC)		284	294 (180ºC)
Sólidos disueltos (mg/L)		507,9		

Los resultados de los análisis químicos indican que se trata de un agua bicarbonatada cálcica ligeramente magnésicas, estando todos los parámetros dentro de los rangos de potabilidad según el R.D. 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios del agua de consumo humano. Destaca además la homogeneidad de los distintos parámetros a lo largo del tiempo, como se aprecia en el agrupamiento de las muestras en el gráfico de la figura 25, a lo largo de 30 años. Cabe indicar, sin embargo, que los valores de nitratos de las muestras de 1977, 1989 y 2006, aun estando por debajo del límite de potabilidad, establecido en 50 mg/L, son ligeramente elevados para un agua subterránea ajena a fuentes de contaminación, sobre todo la muestra de 1977, con 18,5 mg/L.

La situación en lo que respecta a los resultados microbiológicos muestra una contaminación que incluso hace a estas aguas no aptas para el consumo humano, al menos en las fechas en las que se tomaron las muestras. Ello se debe a la presencia de coliformes, estreptococos fecales y enterococos.

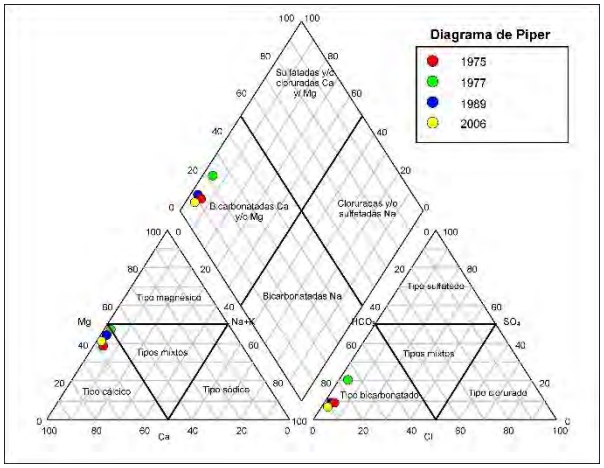


Figura 25. Diagrama hidroquímico de Piper, donde se han representado los elementos mayoritarios de los análisis recopilados del agua de la Fuente de la Salud. Se observa un agrupamiento de todos los análisis en el campo de las facies bicarbonatadas cálcicas, y muy escasa variación composicional.

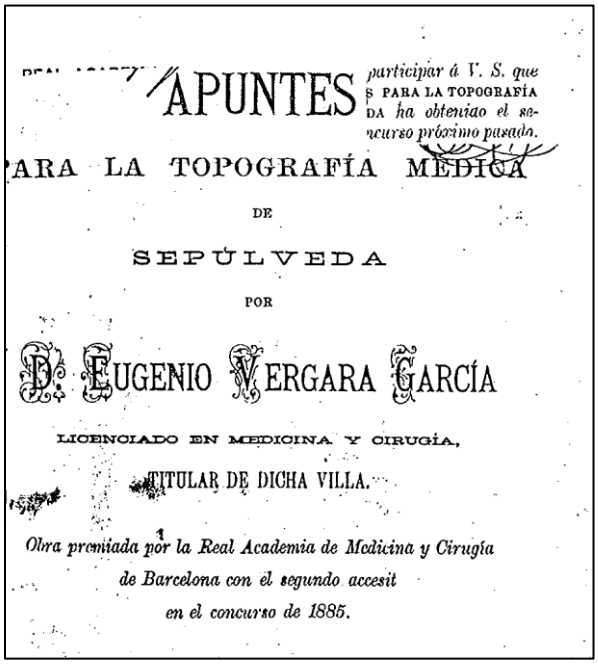
Propiedades medicinales del agua de la fuente de la Salud

Desde tiempos ancestrales, y de ello da cuenta el propio nombre del manantial, se han atribuido propiedades medicinales y curativas a las aguas de la fuente de la Salud.

El médico y cirujano Eugenio Vergara ya realizó análisis en el siglo XIX (Vergara, 1890) para estudiar posibles usos terapéuticos de estas aguas, llegando a interesantes conclusiones sobre las distintas fuentes de Sepúlveda.

Posteriormente, para la declaración como agua natural mineral y termal, se hizo una encuesta entre los vecinos y visitantes asiduos de la fuente, para preguntar por las propiedades curativas. Los resultados no pudieron ser más sorprendentes: las propiedades curativas del agua de la fuente de la Salud se atribuyen tradicionalmente tanto por su ingesta, como por el baño, como por la aplicación en apósitos y otras aplicaciones; y además declararon que era beneficiosa para prácticamente todos los aparatos, sistemas y órganos del cuerpo humano, desde el digestivo, renal, hepático, respiratorio, nervioso… hasta propiedades dermatológicas, oculares, capilares, etc. (figura 26).

Todo ello ha dado lugar a un rico patrimonio etnográfico en torno a la fuente y la ingesta y baño en sus aguas, que se transmiten de generación en generación y da lugar a ritos de recogida e inmersión en fechas concretas o con cierta periodicidad; y a tradiciones para su 'limpieza' y drenaje de elementos vegetales o restos leñosos tras el invierno o temporales.



APUNTES PARA LA TOPOGRAFÍA MÉDICA DE SEPÚLVEDA

participar á V. S. que ha obtenido el segundo próximo pasado.

POR D. EUGENIO VERGARA GARCÍA

LICENCIADO EN MEDICINA Y CIRUGÍA, TITULAR DE DICHA VILLA.

Obra premiada por la Real Academia de Medicina y Cirugía de Barcelona con el segundo accesit en el concurso de 1885.

Fuente de la Salud.

El agua de esta fuente es diáfana, clara, ligera, delgada, sin olor ni sabor, aireada; su temperatura es 12° centígrados, no produce peso en el estómago ni altera la digestión: cuece bien las legumbres y disuelve el jabón sin formar grumos.

El agua de cal la enturbia sensiblemente, con el nitrato de plata da un precipitado abundante, con el cloruro de bario es bastante sensible el precipitado que produce, y con el oxalato de amonico precipita en mayor cantidad.

Del reactivo de Monier se consumieron 16c.c.

HIDROTIMETRÍA.

PRIMER ENSAYO.—Agua natural . . . . . 16°,5

SEGUNDO.—Agua natural precipitada por el oxalato amonico y filtrada. . . . . 10°

— 67 —

TERCERO.—Agua natural hervida durante media hora y filtrada. . . . . 9°

CUARTO.—Agua natural hervida por espacio de media hora filtrada, tratada por el oxalato amonico y vuelta á filtrar.. 5°

RESULTADO.

Acido carbónico. . . 5°
Carbonato de cal . . 4°,5
Sulfato de cal. . . . 2°
Sales de magnesia . 5°
} 16°,5 hidrotimétricos.

COMPOSICIÓN DE UN LITRO DE AGUA.

Acido carbónico, litros.	0.025.
Carbonato de cal, gramos.	0,0463.
Sulfato de cal, idem	0,0280.
Sulfato de magnesia, idem	0,0625.
Gramos.	0,1368.

Figura 26. Portada del estudio de topografía médica del médico y cirujano Vergara (1890) y páginas dedicadas a la fuente de la Salud

Posibles amenazas a la cantidad y calidad del agua de la fuente de la Salud

Las principales fuentes de contaminación de estos acuíferos kársticos del entorno de Sepúlveda 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 de residuos sólidos urbanos del margen de la carretera de Sepúlveda a Urueñas (figura 27).

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.

Por otro lado, desde hace más de una década y tras la declaración de mineral natural termal para las aguas de manantiales y sondeos del entorno (Consejería de Economía y Hacienda, 2017), se han sucedido los proyectos de instalación de pozos y sondeos de extracción, más o menos profundos, para su utilización como agua embotellada e incluso para la instalación de establecimientos de balnearios; lo que, de no ejecutarse correctamente y con todas las garantías, podría interferir con la cantidad y calidad de las aguas subterráneas del manantial.

Finalmente, la disminución de las precipitaciones y aumento de las temperaturas debidos al cambio climático y global; y la consiguiente disminución de la recarga del acuífero, puede derivar en un cambio en el régimen de caudales de la fuente.

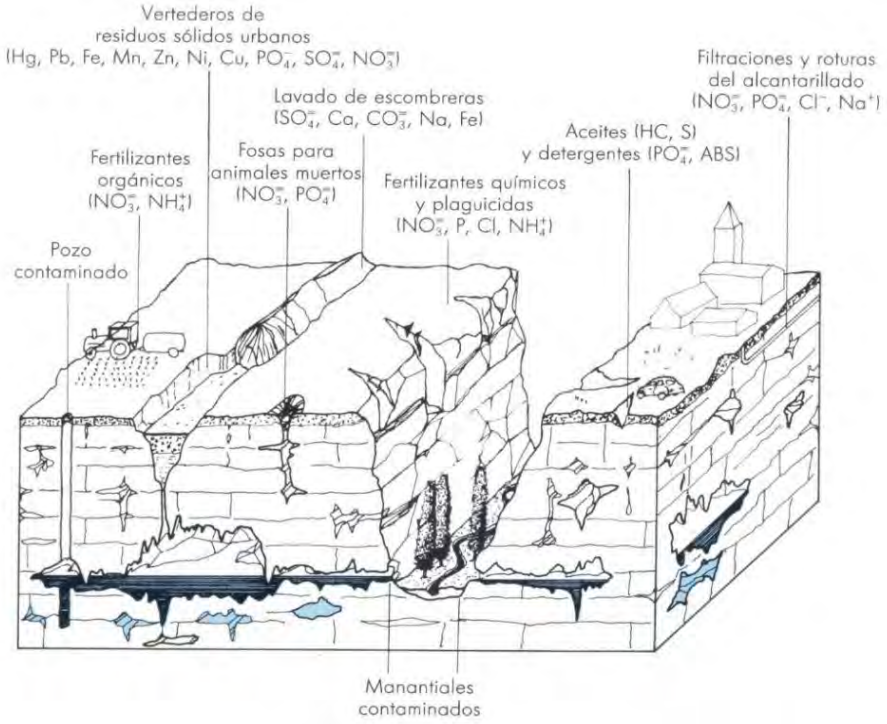


Figura 27. Principales fuentes de contaminación (por elementos, iones y compuestos químicos emitidos) en un acuífero kárstico como el existente bajo las lastras de Giriega hacia el valle del río Duratón. Fuente: Díez Herrero y Martín Duque (1993).

FLORA Y VEGETACIÓN

El manantial de la Fuente de la Salud, en su salida, genera una balsa, también llamada laguna, estanque, remanso o lagunazo que tiene aguas tranquilas, someras y transparentes. Además, estas aguas son de color verde azuladas y son consideradas un hábitat de interés comunitario "3140 - Aguas oligomesotróficas calcáreas con vegetación béntica de *Chara* spp." (código y nombre del tipo de hábitat en el anexo 1de la Directiva 92/43/CEE; Camacho et al., 2009). Su carácter oligomesotrófico deriva de tener un sustrato generalmente calcáreo, limoso, arcilloso o margoso. con aguas de concentraciones bajas o moderadas de nutrientes y pH básico (superior a 7,5). Este hábitat (figura 28) es colonizado por algunas algas filamentosas, como las del género *Spirogyra*, junto con otros organismos fotótrofos, como algunas diatomeas (que son otros tipos de algas), cianobacterias y especialmente por talofitas (plantas que no diferencian tejidos ni órganos) del tipo carófitas, *Chara* spp. (figura 29).

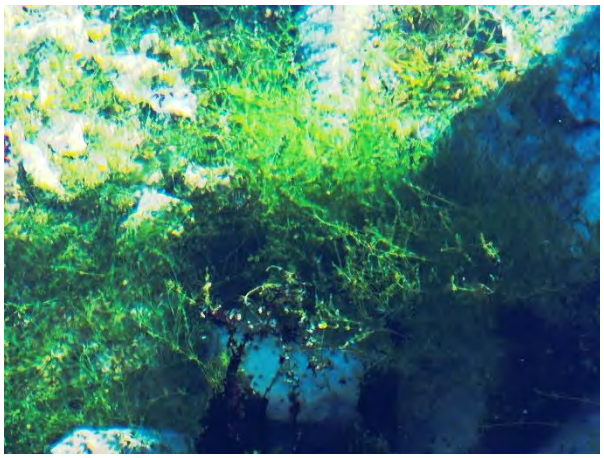


Figura 28. Diversos organismos fotótrofos creciendo en uno de los bordes de la Fuente de la Salud, entre los que destacan carófitas.

Las carófitas son un grupo de organismos muy antiguo: sus oogonióforos calcificados (girogonitos) se han encontrado en rocas sedimentarias desde el Silúrico (apróx. 420 m.a.) hasta la actualidad (Cirujano et al., 2007). Los géneros actuales aparecen en el Mesozoico (130-200 m.a.). Desde el punto de vista filogenético, las carófitas se encuentran evolutivamente a medio camino entre las algas verdes (*Chlorophyta*) y las plantas terrestres propiamente dichas (cormofitas, que si diferencian tejidos y órganos).



Figura 29. Carófita en crecimiento incipiente durante el invierno obtenida de la Fuente de la Salud.

Estos organismos tienen un gran interés ya que son muy sensibles a concentraciones altas de fosfatos lo que convierte a estas comunidades en magníficos bioindicadores en procesos de eutrofización. Además, fijan con sus rizoides el nivel superior de los sedimentos y mantienen las aguas transparentes. Son capaces de tolerar concentraciones de hasta 40 g/L de sólidos disueltos (Guerrero y De Wit, 1989). Su crecimiento es limitado durante el invierno, pero se incrementa notablemente en primavera, a medida que aumentan las horas de luz. Antes del verano, son retirados por

voluntarios para evitar molestias a los bañistas. Estos organismos no solo son habituales en la Fuente de la Salud, sino también en otras lagunas y manantiales de la provincia de Segovia (figura 30), en los que llegan a generar auténticas praderas subacuáticas.



Figura 30. Carófita en pleno desarrollo con sus oogonios (órganos reproductores) de color rojo recogida de la Laguna de Las Eras en Villagonzalo de Coca.

Desde un punto de vista geológico, estos organismos son relevantes porque pueden inducir o influir en la mineralización de diversos carbonatos (cálcicos, magnésicos, sódicos o combinaciones de estos cationes). Bajo condiciones favorables, incluso llegan a litificarse, formando microbialitas (Cabestrero & Sanz-Montero, 2018a, b; Sanz-Montero et al., 2019; 2023; Del Buey & Sanz-Montero, 2023).

Las microbialitas son rocas que se originan en presencia de organismos y materia orgánica. Estas presentan láminas bandeadas y una notable porosidad, producto de la forma en que los minerales precipitan durante su formación. Su génesis combina, en la mayoría de los casos, procesos fisicoquímicos y bioquímicos. Los ejemplos más representativos de estas rocas son los estromatolitos y las tobas travertínicas.

En cuanto al resto de vegetación, durante el recorrido que desde Sepúlveda nos lleva hasta la Fuente de la Salud, los depósitos aluviales el fondo del valle están recubiertos por bosques maduros de ribera, antiguas huertas y choperas de cultivo.

En la vegetación de ribera se pueden encontrar diversas comunidades en función de su proximidad al río, dispuestas en una serie de bandas paralelas de forma que a medida que nos alejamos del curso de agua disminuyen las necesidades de humedad edáfica: son lo que se denominan series edafo-higrófilas.

En primer lugar, viviendo dentro del agua y tapizando la superficie encontramos la vegetación hidrófila: ranúnculos (*Ranunculus* spp.) y poligono anfibio (*Polygonum amphibium*).

A continuación, la vegetación helofítica, que está compuesta por especies caracterizadas por tener parte del tallo y de las hojas fuera del agua: juncos (*Juncus* spp.), enea (*Typha latifolia*), hierba de San Antonio (*Epilobium hirsutum*), espadaña (*Sparganium erectum*), lisimaquia (*Lysimachia vulgaris*), lirio amarillo (*Iris pseudacorus*) o carrizo (*Phragmites australis*).

La siguiente zona de vegetación corresponde a la sauceda-aliseda, sauces (*Salix* spp.) y alisos, que necesitan una alta humedad edáfica: bardaguera (*Salix atrocinerea*), sargatilla (*Salix trianda*), sauce blanco (*Salix alba*), sauce colorado (*Salix purpurea*), bardaguera blanca

(*Salix salvifolia*), mimbrera (*Salix fragilis*) y aliso (*Alnus glutinosa*).

Alejándonos un poco más del curso de agua se dispondrían los chopos, especies que requieren ya menos humedad edáfica y aun así están adaptadas al río y resisten bien las crecidas. Las choperas aparecen bien como restos de las formaciones naturales originales (*Populus alba, Populus nigra*) o como resultado de plantaciones (*Populus x euramericana*).

Y finalmente, en las zonas más alejadas del río se encuentran pequeñas formaciones de fresnos (*Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*), y de olmos (*Ulmus minor* y *Ulmus procera*).

Estas formaciones de ribera están acompañadas de un variado sotobosque formado por numerosas especies arbustivas tales como: cornejo (*Cornus sanguinea*), bonetero (*Euonymus europaeus*), guillomo (*Amelanchier ovalis*), saúco (*Sambucus nigra*), zarzamoras (*Rubus* spp), rosales silvestres (*Rosa canina*), endrino (*Prunus spinosa*), madreselva (*Lonicera etrusca*) o morrionera (*Viburnum lantana*).

Mezclados entre esta vegetación aparece un gran número de árboles frutales abandonados y asilvestrados, testigos del aprovechamiento hortícola del fondo del cañón hasta no hace mucho tiempo: almendros (*Prunus dulcis*), ciruelos (*Prunus domestica*), cerezos (*Prunus avium*), perales (*Pyrus communis*), nogales (*Junglans regia*), avellanos (*Corylus avellana*) e higueras (*Ficus carica*).

En los roquedos existe una interesante vegetación rupícola: espinales, pastizales secos, lestonales y helechales que se asientan en las paredes. Son comunidades rupícolas de gran originalidad en las que nos podemos encontrar especies como: hiedra (*Hedera helix*), culantrillo de pozo (*Aidanthus capillus-veneris*), asplenio (*Asplenium celtibericum*), zapatitos de la Virgen (*Sarcocapnos enneaphylla*), pupilo (*Rhamnus pumilus*), espuelilla (*Chaenorhinum originalifolium*), ombligo de Venus (*Umbilicum rupestris*),), té de roca (*Jasonia glutinosa*) e incluso algunos endemismos ibéricos como *Biscutella valentina*, *Dianthus pungens* o *Campanula hispanica*. La cornicabra o terebinto (*Pistacia terebinthus*) también es frecuente en los cortados.

FAUNA

Asociada al río aparece una importante fauna compuesta por anfibios como la rana común (*Pelophylax perezi*), el sapo partero (*Alytes cisternasii*) y el sapo común (*Bufo spinosus*), reptiles como la culebra viperina (*Natrix maura*), mamíferos como la nutria (*Lutra lutra*) y aves típicas de ribera, ligadas a los cursos de agua, como el martín pescador (*Alcedo atthis*), el mirlo-acuático europeo (*Cinclus cinclus*) y la lavandera cascadeña (*Motacilla cinerea*). Como elementos de la ictiofauna presentes en el río podemos citar: bermejuelas (*Achondrostoma arcasii*), gobios (*Gobio lozanoi*), lamprehuelas (*Cobitis calderoni*), trucha común (*Salmo trutta*) y barbo (*Barbus bocagei*).

Fuera ya del agua, los cantiles rocosos ofrecen cobijo a una importante variedad de aves rupícolas, entre las que destacan : buitre leonado (*Gyps fulvus*), alimoche común (*Neophron percnopterus*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*), águila real (*Aquila chrysaetos*), búho real (*Bubo bubo*), cuervo grande (*Corvus corax*), grajilla occidental (*Corvus monedula*), chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*), avión roquero (*Ptyonoprogne rupestris*), colirrojo tizón (*Phoenicurus ochruros*), roquero solitario (*Monticola solitarius*) y gorrión chillón (*Petronia petronia*). Igualmente podemos encontrar soleándose en el roquedo reptiles como el lagarto ocelado (*Timon lepidus*), la lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*) o la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*).

Asociada a la vegetación arbórea y arbustiva del soto fluvial encontramos, entre otras: ruiseñor común (*Luscinia megarhynchos*), cetia ruiseñor (*Cettia cetti*), curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), curruca mosquitera (*Sylvia borin*), herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*), carbonero común (*Parus major*), mito común (*Aegithalos caudatus*), mosquitero común (*Phylloscopus collybita*), mosquitero musical (*Phylloscopus trochilus*), escribano soteño (*Emberiza cirlus*), agateador europeo (*Certhia brachydactyla*), mirlo común (*Turdus merula*), zorzal común (*Turdus philomelos*), petirrojo europeo (*Erithacus rubecula*), pinzón vulgar (*Fringilla coelebs*), oropéndola europea (*Oriolus oriolus*), pito ibérico (*Picus sharpei*), pico picapinos (*Dendrocopos major*), pico menor (*Dryobates minor*)… Toda una pléyade de pájaros que se ensambla en una diversa comunidad ornítica que presenta muy importantes cambios en abundancia y riqueza siguiendo, perfectamente acoplada a la vegetación, los cambios fenológicos que marcan los ritmos de las estaciones.

AGRADECIMENTOS

A la Junta Directiva del Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeología, y en particular a su Presidenta, la Dra. Carolina Guardiola Albert (IGME, CSIC); y a la coordinación a nivel nacional del Hidrogeodía y, en particular, a Almudena de la Losa (IGME, CSIC).

A Julio López Gutiérrez (IGME, CSIC), autor principal del último estudio hidrogeológico conocido de la fuente de la Salud (López y Díez, 2010), por autorizar el uso de su contenido inédito para la elaboración de esta guía.

A Juan Emilio Cristóbal Martín (Hermanos Cristóbal Martín, S.L.) por la cesión de las fotografías de la inundación de 1997 y su apoyo en la organización del Hidrogeodía.

A Jaime Carreras y Fernando Ortiz (Free Folk), por la grabación de la música y voz del romance del Conde Niño que se emitió durante la visita al lavadero de Sepúlveda.

A Laura Casado Vitón y a Pablo Díez Marcelo por su colaboración en la organización, desarrollo y difusión del Hidrogeodía.

A todos los participantes en el Hidrogeodía 2025 Segovia.



MONITORES-GUÍAS DEL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2025



Coordinación provincial Hidrogeodía 2025 Segovia:

- Andrés Díez Herrero
- Juana Vegas Salamanca

(Geología de Segovia -GSg- e IGME-CSIC)

Guías-monitores del Hidrogeodía 2025 Segovia:

- Juana Vegas Salamanca (GSg e IGME-CSIC)
- Nuria Sacristán Arroyo (GSg)
- Jesús del Pozo Tejado (GSg y Tragsatec)
- Suset Barroso Solares (GSg y UVa)
- Óscar Cabestrero Aranda (GSg y UCM)
- Esteban Casaux Rivas (GSg)
- Juan Palomo Martín (GSg)
- Andrés Díez Herrero (GSg e IGME-CSIC)

Para saber más ...

Buey, P. del, & Sanz-Montero, M. E. (2023). Biomineralization of ordered dolomite and magnesian calcite by the green alga Spirogyra. *Sedimentology*,*70*(3), 685-704.

Cabestrero, Ó., & Sanz-Montero, M. E. (2018). Brine evolution in two inland evaporative environments: Influence of microbial mats in mineral precipitation. *Journal of Paleolimnology*, *59*, 139-157.

Cabestrero, Ó., Sanz-Montero, M. E., Arregui, L., Serrano, S., & Visscher, P. T. (2018). Seasonal variability of mineral formation in microbial mats subjected to drying and wetting cycles in alkaline and hypersaline sedimentary environments. *Aquatic Geochemistry*, *24*, 79-105.

Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J. M., Rico, E., De La Hera, A., Santamans, A. C., García De Domingo, A., Chicote, A. & Gosálvez, R., (2009). 3140 Aguas oligo-mesotróficas calcáreas con vegetación de Chara spp. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 47 p.

Cirujano, S., Cambra, J., Sánchez Castillo, P.M., Meco, A. & Flor Arnau, N (2007). Flora Ibérica. Algas continentales. Carófitos (Characeae). Real Jardín Botánico, Madrid.

Consejería de Economía y Hacienda (2017). Resolución de 21 de noviembre de 2017, de la Dirección General de Energía y Minas, por la que se da publicidad a la Orden de la Consejería de Economía y Hacienda, por la que se declara la condición mineral natural y termal, de las aguas procedentes del sondeo denominado "Agua de Macarena", ubicado en el término municipal de Sepúlveda (Segovia). Expte.: 2017-461-462/AOP/IES. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 229, miércoles, 29 de noviembre de 2017, pp. 49588-49596.

Díez Herrero, A. (1991). *Hidrogeología de la fuente de la Salud (Sepúlveda, Segovia).* Seminario de Hidrogeología Básica, Curso 1990/1991. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, documento inédito, 19 pp.

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.; Benito, G.; Porat, N. & Gutiérrez-Pérez, I. (2005). Upper Pleistocene palaeofloods in the Duratón River gorge (Central Spain). In: F. Gutiérrez, M. Gutiérrez, G. Desir, J. Guerrero, P. Lucha, C. Martín, J.M. García-Ruiz (Eds.), Abstracts Volume, *Sixth Intenational Conference on Geomorphology. Fluvial Geomorphology and Palaeohydrology*, pag. 113. Zaragoza (Spain) September 7-11, IAG-SEG-UZAR, D.L. Z-2.162/2005.

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).

Gómez Ortiz, D., (2001). *La estructura de la corteza de la zona central de la Península Ibérica.* Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Geológicas. ISBN: 84-669-1780-2.

Guerrero, M.C. y De Wit, R. (1989). Microbial mats in the inland saline lakes of Spain. *Limnetica,* 8, 197–204.

IGME-IRYDA (1977). *Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS). Investigación Hidrogeológica de la zona norte del Sistema 11. Área Turégano-Sepúlveda*. Memoria, anexos y suplementos.

IGME (2007). *Mapa geológico de España, a escala 1:50.000*. Hoja nº 431 Sepúlveda. Mapa y Memoria. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.

IGME-Junta de Castilla y León-SIEMCALSA: *Las aguas Minerales de Castilla y León*. www.igme.es/internet/aguas_minerales/inventarios/CastillayLeon/Segovia.htm.

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.

López, L. y Gómez, j. (1979). Infiltración producida por las aguas superficiales en las dolomías mesozoicas del área Turégano-Sepúlveda (Segovia). *II Simposio Nacional de Hidrogeología*, Tomo IV, pp. 381-389.

López Gutiérrez, J. y Díez Herrero, A. (2010). *Valoración preliminar de los recursos hídricos subterráneos aprovechables para un posible establecimiento balneario procedentes de la fuente de la Salud en el término municipal de Sepúlveda (Segovia)*. Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia e Innovación). Informe inédito a solicitud del Ayuntamiento de Sepúlveda. Referencia Referencia: O.C./AS.05/10/1, Madrid, 31pp.

MMARN (2010). *Informe "Situación de la Sequía. Diagnóstico de la situación a 9 de junio de 2010"*. www.mma.es.

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.

Sanz-Montero, M. E., Cabestrero, Ó., & Sánchez-Román, M. (2019). Microbial Mg-rich carbonates in an extreme alkaline lake (Las Eras, Central Spain). *Frontiers in Microbiology*, *10*, 148.

Sanz-Montero, M. E., del Buey, P., Cabestrero, Ó., & Sánchez-Román, M. (2023). Isotopic signatures of microbial Mg-carbonates deposited in an ephemeral hyperalkaline lake (Central Spain): paleoenvironmental implications. *Minerals*,*13*(5), 617.

Sección de Minas del Servicio Territorial de Economía de Segovia (1990). Aguas minero-medicinales de la Fuente de la Salud. Informe y Anexos. Junta de Castilla y León.

Vergara García, E. (1890). *Apuntes para una topografía médica de Sepúlveda*. Imprenta de Pedro Díaz Bayo, Sepúlveda, 70 pp.

OTROS RECURSOS DE UTILIDAD PARA EL HIDROGEODÍA 2025

Entradas en la web Geología de Segovia de utilidad en el Hidrogeodía Segovia 2025

- Hidrogeodía Segovia: https://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-segovia/
- Hidrogeodía Segovia 2025: https://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-2025-segovia/
- Fuente de la Salud de Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/fuente-la-salud-sepulveda/
- Estación de aforos del río Duratón en Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/tomando-el-pulso-al-duraton/
- Inundaciones en el barrio de Santa Cruz de Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/inundaciones-en-santa-cruz-sepulveda/

Entradas en la web Geología de Segovia con información de Sepúlveda y su entorno

- Ramas dentro de piedras: https://www.geologiadesegovia.info/ramas-dentro-de-piedras/
- La falla que nace en Odemira y termina en Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/la-falla-que-nace-en-odemira-y-termina-en-sepulveda/
- ¡Más se perdió en la Guerra! Hasta colecciones de minerales en Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/mas-se-perdio-en-la-guerra-hasta-colecciones-de-minerales-en-sepulveda/
- El cretácico de Sepúlveda: https://www.geologiadesegovia.info/cretacico-sepulveda/
- Sepúlveda en la Historia (geológica): https://www.geologiadesegovia.info/sepulveda-historia-geologica/
- Desprendimientos en las Hoces del Duratón: https://www.geologiadesegovia.info/desprendimientos-hoces-duraton/
- Un túnel de película: https://www.geologiadesegovia.info/un-tunel-de-pelicula/
- La piedra que animó Barral: https://www.geologiadesegovia.info/la-piedra-que-animo-barral/

¿Cómo citar este documento o parte de él como referencia bibliográfica?

Díez Herrero, A. y Vegas, J. (Coords.); López, J.; Sacristán, N.; Del Pozo, J.; Cabestrero, O.; Casaux, E.; Barroso, S.; Palomo, J. (2025). *A la Salud de Sepúlveda. Guía del Hidrogeodía 2025 Segovia*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español y Asociación Geología de Segovia, Segovia, 27 pp.



Sevilla

HIDROGEODÍA 2025

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

CARACTERÍSTICAS GENERALES Y ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA SEVILLA-CARMONA



EXCURSIÓN GUIADA GRATUITA

Punto de encuentro: Rotonda de la Torre de la Universidad Pablo de Olavide

Hora de salida: 09:00 h
Hora de llegada: 15:00 h

22/03/2025

Plazas limitadas
Imprescindible reserva previa
Contacto:
mmarcar@upo.es

Se recomienda llevar ropa y calzado de campo, así como agua. Se ruega puntualidad

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC IGME 175

ORGANIZA

Universidad Pablo de Olavide Sevilla

Instituto Geológico y Minero de España

389 CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

PATROCINA

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 Sevilla, el **Hidrogeodía 2025** se celebra en la Masa de Agua Subterránea Sevilla-Carmona, el sábado 22 de marzo (Fig. 1).



Fig. 1: Masa de Agua Subterránea (MASub) Sevilla-Carmona perteneciente a la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Se aprecia que el límite oeste de la MASub es el río Guadalquivir, el este la elevación de Los Alcores, el límite norte coincide aproximadamente con el río Corbones y el sur, con el arroyo de la Fuente Vieja. Fuente: IGME-2023.

CÓMO LLEGAR

Nuestra ruta comenzará en la **Rotonda de la Torre** de la Universidad Pablo de Olavide (Fig. 2), desde donde saldremos hacia la localidad de Carmona por la A-4. En dicha localidad realizaremos la primera parada, en el Parque El Almendral. Desde el Parque del Almendral saldremos en dirección a Alcalá de Guadaíra, donde haremos la siguiente parada en el puente del río.



Fig. 2: Punto de encuentro: Rotonda de la Torre de la UPO. Pincha en el enlace:

https://maps.app.goo.gl/eqdaxBSaFUXgTWrW7

QUÉ VEREMOS

El objetivo de esta visita es analizar sobre el terreno las **características** de la Masa de Agua Subterránea Sevilla-Carmona y las causas de la **degradación** de la calidad y cantidad de este sistema hidrogeológico, ya que constituye un recurso hídrico subterráneo clave. El acuífero Sevilla-Carmona soporta una presión significativa debido a su **explotación intensiva** para diversos usos:

- **Agricultura**: Es el principal consumidor de agua subterránea, especialmente para cultivos intensivos en las áreas rurales.
- **Abastecimiento** urbano: En varias localidades cercanas, el acuífero constituye una fuente complementaria o principal de agua potable.
- **Industria**: La demanda industrial, aunque menor en comparación con la agricultura, también contribuye a la presión sobre el recurso.

El desequilibrio entre la **extracción** y la **recarga** natural en ciertas zonas ha llevado a descensos importantes en los niveles piezométricos, así como a fenómenos de contaminación difusa, principalmente por nitratos provenientes de la agricultura. Por otra parte, los acuíferos también son fundamentales porque aumentan la resiliencia de los ecosistemas asociados, ya que la mayoría de los sistemas fluviales reciben la descarga de aguas subterráneas desde los acuíferos. En este sentido, el río Guadalquivir es **un río ganador**, puesto que recibe parte de la descarga de la MASub Sevilla-Carmona.

GEOLOGÍA/HIDROGEOLOGÍA

La MASub Sevilla-Carmona se encuentra enmarcada dentro de la Cuenca del Guadalquivir, caracterizada por una geología compleja y una gran diversidad de materiales que afectan sus propiedades hidrogeológicas. El sistema Sevilla-Carmona está compuesto por formaciones de materiales **detríticos**, predominantemente arenas, gravas y limos, intercaladas con arcillas que actúan como capas semiconfinantes o impermeables. Estas formaciones corresponden principalmente al Cuaternario y al Neógeno, representando sedimentos aluviales y depósitos fluviales del río Guadalquivir y sus afluentes, así como materiales más antiguos (Mioceno Superior) de tipo marino (calcarenitas y arenas margosas). La disposición geológica de estos materiales da lugar a la presencia de acuíferos multicapa, donde las aguas subterráneas se acumulan en los estratos permeables (arenosos y gravosos) mientras que las arcillas limitan su circulación vertical. Este tipo de estructura hidrogeológica implica que el acuífero puede ser de tipo libre en algunas áreas y confinado en otras, dependiendo del grosor y la continuidad de las capas arcillosas.

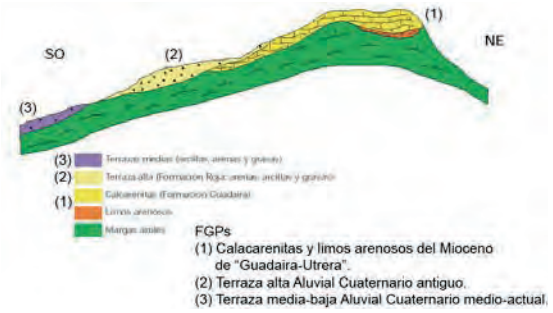


Fig. 3: Corte general de la MASub Sevilla-Carmona. FGP: Formación Geológica Permeable (IGME-Dip. Sevilla 2003)

Las **formaciones geológicas permeables** (FGPs) que se han definido en la MASub Sevilla - Carmona son las siguientes (Fig. 3):

- Calcarenitas y limos arenosos del Mioceno de "Guadaíra-Utrera".
- Terraza alta Aluvial Cuaternario antiguo "Sevilla-Carmona".
- Terraza media-baja Aluvial Cuaternario medio-actual "Sevilla-Carmona".

La primera FGP corresponde a la "Formación amarilla" compuesta por **calcarenitas,** arenas, gravas, limos y arcillas de edad Mioceno superior e identificables por un característico resalte morfológico. Su permeabilidad es media. La segunda FGP corresponde con **conglomerados,** arenas y limos de edad Cuaternario antiguo y de permeabilidad media. La tercera FGP corresponde con **gravas,** arenas, arcillas y limos de edad Cuaternario medio-actual y permeabilidad alta o muy alta. La razón por la cual se han definido tres FGPs detríticas es debido a que se solapan espacialmente (Fig. 4) y poseen características geológicas diferentes. Estos tres sectores están separados a diferentes alturas, aunque se solapan en planta, por lo que están conectados sucesivamente. Los **tres acuíferos** tienen espesores diferentes, oscilando desdelos 50 m de las calcarenitas y limos arenosos del Mioceno de "Guadaíra-Utrera", hasta los 10 a 20 m de las terrazas aluviales altas, medias y bajas del Cuaternario que les afectan, por lo que pueden ser considerados como un único paquete permeable (IGME-Dip. Sevilla 2003).

El nivel impermeable de las tres FGPs está constituido por una formación sedimentaria de margas de edad miocena y de origen marino denominada: "**Margas Azules**" (en verde en el corte de la Fig. 3 y el mapa hidrogeológico de la Fig. 4).

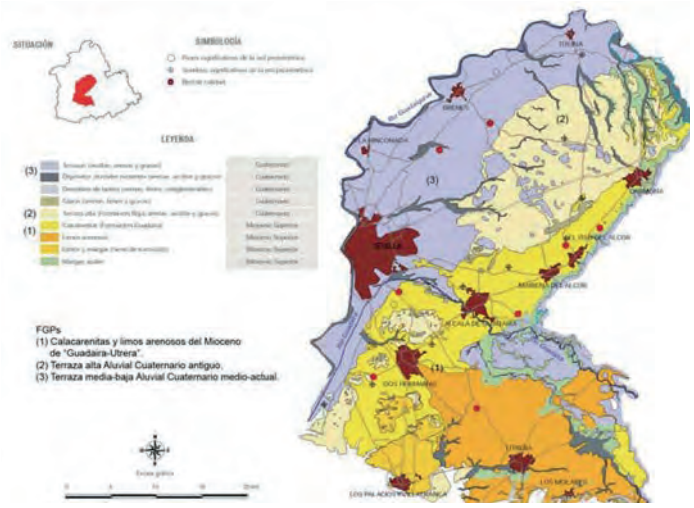


Fig. 4: Mapa hidrogeológico de la MASub Sevilla-Carmona. FGP: Formación Geológica Permeable (IGME-Dip. Sevilla 2003)

Recarga y dinámica del agua subterránea

La recarga del acuífero depende en gran medida de la infiltración de las precipitaciones, que en la región presentan un patrón mediterráneo con lluvias concentradas en otoño e invierno. También contribuyen a la recarga los aportes laterales desde otras unidades hidrogeológicas y, en menor medida, la interacción con el río Guadalquivir y sus afluentes. El flujo subterráneo sigue un patrón general desde las zonas más altas del acuífero hacia las más bajas, orientándose hacia el valle del Guadalquivir, donde se produce la descarga natural. Sin embargo, la explotación intensiva ha alterado este flujo en algunos puntos, generando conos de depresión y cambios en los gradientes hidráulicos. En general, los principales ríos de la zona (Guadalquivir, Corbones y Guadaíra) son ríos ganadores y reciben la descarga de las aguas subterráneas desde la MASub Sevilla-Carmona. En la Fig. 5 se aprecia la relación río-acuífero en el caso del río Guadaíra. Se trata de un río de descarga o ganador.

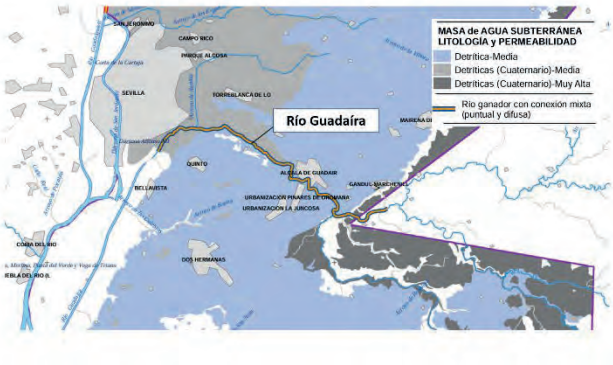


Fig. 5: Detalle del mapa hidrogeológico de la MASub Sevilla-Carmona. Se aprecia como el río Guadaíra es un río de descarga (río ganador con conexión mixta, puntual y difusa) en la zona representada (IGME-Dip. Sevilla 2003).

Existen decenas de surgencias en la MASub Sevilla-Carmona, si bien la mayoría son poco caudalosas, con caudales inferiores a 5 l/s, pocas sobrepasan 1 l/s y muchas no tienen ningún dato foronómico (medida o estimación de caudales). La mayoría se destinan al uso agrícola, abrevadero de ganado y/o abastecimiento de cortijos. Estas surgencias drenan las tres formaciones geológicas permeables (FGPs) de la MASb y suelen ser niveles colgados en las terrazas e intersecciones entre la piezometría y la zona impermeable, las "**Margas Azules**".

CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua subterránea en esta masa varía dependiendo de la zona. En general, el acuífero presenta una calidad adecuada para la mayoría de los usos, aunque en ciertas áreas se detectan problemas relacionados con:

- Elevadas concentraciones de **nitratos**, derivados del uso excesivo de fertilizantes en las zonas agrícolas.
- **Salinidad**, especialmente en zonas cercanas al Guadalquivir y en áreas donde se han observado descensos piezométricos significativos.
- Contaminación por actividades humanas, como el **vertido** de aguas residuales sin depurar o la lixiviación de productos químicos. Estos efectos adversos se producen, sobre todo, en las aguas superficiales. Por ejemplo, el rio Guadaíra está afectado por vertidos de aguas residuales y también de las salmueras de la industria de la aceituna de mesa, que es una actividad importante en la cuenca de dicho río.

AGUA Y SOSTENIBILIDAD

El manejo de la masa de agua Sevilla-Carmona es un desafío que requiere un **enfoque integrado** para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Entre las medidas prioritarias destacan:

- Control de **extracciones**: y regulación para evitar el uso intensivo del acuífero.
- Fomento de **buenas prácticas agrícolas** (BPAs): Promover el uso eficiente del agua y reducir la aplicación de fertilizantes químicos.
- Protección de **zonas de recarga**: Preservar áreas clave donde la infiltración de agua es más efectiva.
- **Monitoreo** de calidad y niveles: Establecer una red de observación que permita detectar cambios en tiempo real.

La masa de agua subterránea Sevilla-Carmona es un **recurso estratégico** que, si se gestiona adecuadamente, puede seguir proporcionando **beneficios ambientales, sociales y económicos** a las comunidades de la región.

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y ECOSISTEMAS DEPENDIENTES

Los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas se definen como sistemas hídricos (ríos y lagunas fundamentalmente) que necesitan la **descarga** de las aguas subterráneas para su mantenimiento. Suelen ser ecosistemas frágiles que pueden desaparecer si se producen cambios en los usos del territorio.

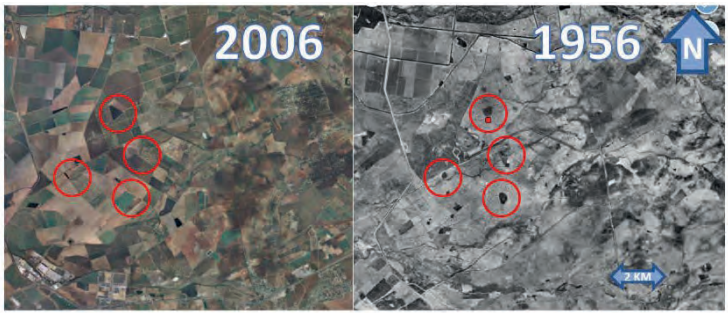


Fig. 5: Detalle de la MASub Sevilla-Carmona (zona norte del aeropuerto de San Pablo). Se aprecia como en el año 1956 abundaban en el sistema aluvial Guadalquivir-Guadaíra pequeñas lagunas relacionadas con las terrazas fluviales. En la fotografía de la izquierda (año 2006) se observa como la práctica totalidad de estos humedales han desaparecido debido a la transformación agrícola de la región.

En la MASub Sevilla-Carmona existían numerosas lagunas de pequeño tamaño, relacionadas con el sistema de terrazas aluviales del río Guadalquivir y sus principales afluentes (Guadaíra y Corbones). Estas zonas, de escasa pendiente y con un sustrato de materiales poco permeables (arcillas y limos) favorecieron la formación de pequeñas depresiones, que se inundaban periódicamente. En la actualidad, la práctica totalidad de estas lagunas han desaparecido (Fig. 5). El motivo ha sido la transformación del territorio en terrenos agrícolas. Esta degradación y el drenaje sistemático de las lagunas ha sido progresivo y, de hecho, continúa en la actualidad. Ninguna de estas lagunas ha sido protegida como espacio natural por la Junta de Andalucía. De las tres zonas húmedas identificadas en la MASub Sevilla-Carmona, dos son artificiales (Embalse del Alcalá del río y Embalse de Cantillana) y únicamente el humedal denominado **El Pantano**, una laguna localizada en el municipio de Los Palacios, se incluye en el Inventario de Humedales de Andalucía. El funcionamiento hídrico original de esta laguna estaba asociado al funcionamiento eminentemente mareal del margen oriental de las marismas del Guadalquivir, al que se le unen las aguas más dulces procedentes de diversos arroyos. El humedal del Pantano se comporta en la actualidad como un sistema de aguas subsalinas, semipermanentes y de carácter eutrófico, debido al aporte de aguas cargadas de nutrientes desde su cuenca. En realidad, el principal aporte de agua artificial se concentra en una acequia de riego que drena las aguas de una extensa zona de urbanizaciones, granjas y cultivos situada al norte del humedal, por lo que su desecación estival está amortiguada y por esta razón la laguna es semipermanente.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA 2025 (SEVILLA)

PUNTO Y HORA DE ENCUENTRO: Rotonda de la Torre de la UPO, a las 9:00h de la mañana. Se ruega puntualidad.

HORA DE REGRESO ESTIMADA: 15:00h (se regresará al punto de salida).

- 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, agua y algo de comida.
- La organización no se hace cargo de desperfectos, pérdidas, robos, etc.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2025

La actividad estará guiada por los profesores Alejandro Jiménez-Bonilla, Francisco Moral-Martos y Miguel Rodríguez-Rodríguez, (UPO), los investigadores Claus Kohfahl y Natalia Fernández (IGME-CSIC) y los alumnos de doctorado José Luis Yanes-Conde y Marina Martínez (UPO). Para más información, escribir un email a mmarcar@upo.es.

PARA SABER MÁS

- Durán-Valsero, J. J. (2007). El agua en la provincia de Sevilla: paisaje, cultura y medio ambiente. IGME.

- González Vázquez, J. C., Grande Gil, J. A., Barragán de la Rosa, F. J., & Jiménez Sánchez, J. C. (1998). Caracterización del proceso de contaminación por nitratos en el sistema acuífero Sevilla-Carmona. Tecnología del Agua, 175.

- IGME-CHG (2001): Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete - Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas. Norma de explotación de la U.H. 05.47 Sevilla-Carmona.

- IGME-Diputación de Sevilla (2003): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Sevilla

- IGME-Dirección General del Agua (2011): Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Masa de Agua Subterránea 051.047 (Sevilla-Carmona).

- Moral-Martos, F. (2016): Evidencias geomorfológicas del área subsidente del río Corbones medio (Sevilla). Geotemas (Madrid), (16), 299-302.

- Moral-Martos, F. (2020): Los "qanats" o minas de agua del acuífero de Los Alcores y el sistema tradicional de abastecimiento de agua a Sevilla. Boletín geológico y minero, 131(1).

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA





Tarragona

HIDROGEODÍA 2025 TARRAGONA

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

COLABORAN: ENGINYERS TARRAGONA · Agència Catalana de l'Aigua · Ajuntament d'Alcanar

Un paseo hidrogeológico por la Plana d'Alcanar

22 de marzo de 2025



EXCURSIÓN GRATUIA Y GUIADA
Plazas limitadas.
Se recomienda llevar ropa y calzado cómodo.
Desplazamiento en autobús (gratuito).

PUNTO DE ENCUENTRO:
Alcanar, Ronda de Circunvalación,
a la altura del supermercado Bonpreu.

IMPRESCINDIBLE RESERVAR PREVIAMENTE
e-mail de contacto: mpbarrero@gencat.cat

Hora de encuentro: 9:00
Hora de vuelta (aproximada): 14:30

Información de la excursión en: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

CSIC · IGME 175

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), del Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Tarragona (CETIT) y de l'Ajuntament d'Alcanar. 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 2025** se celebra en la Plana d'Alcanar. 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 gestión de los acuíferos costeros y su descarga al mar. Se realizarán cinco paradas temáticas:

1) Explanada exterior de la Ermita del Remei en Alcanar (contexto general).
2) Las captaciones de aguas subterráneas y la constitución de las comunidades de regantes.
3) Desembocadura del riu Sénia.
4) Cap de Timbes en Les Cases d'Alcanar.
5) Playa de l'Estanyet en Les Cases d'Alcanar.

ITINERARIO

El punto de encuentro de nuestro recorrido es la Ronda de Circunvalación en Alcanar a la altura del supermercado Bonpreu. Los participantes tienen zonas para aparcar sus coches en esta parte de la población de Alcanar.

Recepción. 9:00 h

Sobre las 9:10 salida en autobús hacia la Ermita del Remei.

Parada 1. EXPLANADA EXTERIOR DE LA ERMITA DEL REMEI. Se explicará el contexto geológico e hidrogeológico de la Masa de agua subterránea Plana d'Alcanar. Es esta zona probablemente la mayor productora de cítricos de Cataluña, y por lo tanto con un gran volumen de explotación de aguas subterráneas.

El sistema está formado por 2 acuíferos: un acuífero inferior formado por las calizas mesozoicas que constituyen las sierras colindantes, como el Massís dels Ports o la Serra del Montsià, y un acuífero superior formado por materiales cuaternarios de relleno procedentes de la erosión de estas sierras.



Figura 1. Vistas del exterior de la ermita del Remei.

.**Parada 2. POZO "SOCIETAT AGRÍCOLA POU VERGE DEL REMEI".** Es un pozo abierto con la maquinaria de elevación original. Está incluido en el inventario del Patrimonio Arquitectónico de Cataluña y a partir de su funcionamiento, se constituyó la comunidad de regantes más antigua del término municipal de Alcanar. Está constituida por 138 socios y se riegan unas 60 has de cítricos y huerta. Las comunidades de regantes son entidades asociativas de gran tradición en la Plana d'Alcanar.



Figura 2. "Pou de la Verge" en Alcanar.

Parada 3. DESEMBOCADURA DEL RIU SÉNIA. El Sénia nace en Els Ports y está regulado en su tramo alto por el embalse de Ulldecona. En la zona de su desembocadura en el Mediterráneo, explicaremos la relación del río con el acuífero inferior carbonatado (acuífero Regional de la Plana de la Galera) y con el acuífero superior cuaternario.



Figura 3. Zona de la desembocadura del Sénia.

Parada 4. CAP DE TIMBES. Frente a la costa de les Cases d'Alcanar se encuentra el antiguo yacimiento petrolífero Amposta, que mediante el Proyecto Castor iba a ser transformado en el mayor almacén subterráneo de gas natural de España. Explicaremos la estructura geológica y estructural de este yacimiento que representa la continuidad bajo la superficie del mar Mediterráneo del acuífero Regional de la Plana de la Galera.



Figura 4. Cap de Timbes en Les Cases d'Alcanar, frente a la plataforma Castor.

Parada 5. PLAYA DE L'ESTANYET. Con la sierra del Montsià de fondo, que representa la zona de recarga de la masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar, hablaremos de las redes de control existentes en la zona, y de la gestión de los acuíferos costeros.

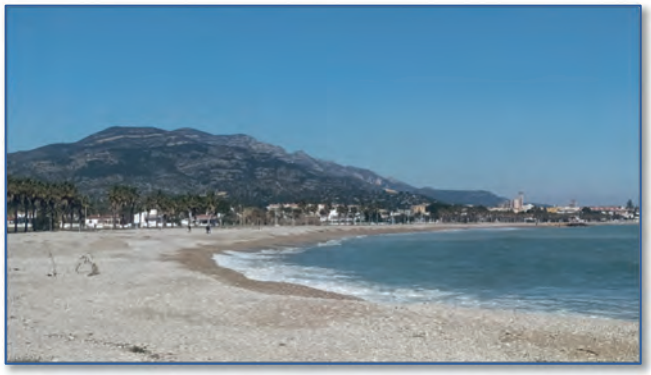


Figura 5. Playa de l'Estanyet con la Sierra del Montsià al fondo.



Figura 6. Mapa y ubicación de la zona de desarrollo del Hidrogeodia de la provincia de Tarragona 2025. (E: 1:1000, ICGC).



Figura 7. Ubicación de las paradas. (E: 1:1000, Google Maps).

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. ERMITA DEL REMEI. CONTEXTO GEOLÓGICO – HIDROGEOLÓGICO

Nos encontramos en la Plana d'Alcanar, en el sur de la comunidad autónoma de Cataluña (provincia de Tarragona, comarca del Montsià), cuyo límite sur está representado por el riu Sénia que marca el límite administrativo con la provincia de Castellón.

Para hablar del contexto geológico e hidrogeológico de la Plana d'Alcanar hay que comenzar hablando del contexto geológico regional. 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 (orogenia 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 Facuies 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 sísmica 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.

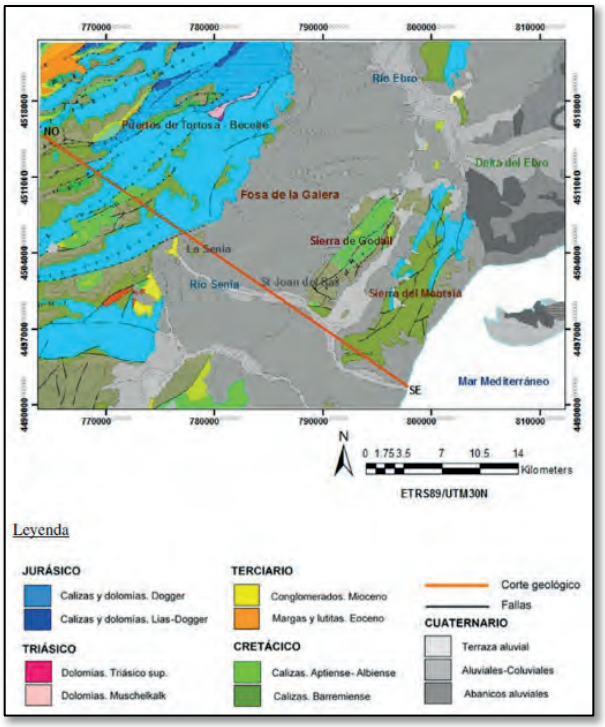
- El Grupo Castellón: se depositó durante el Mioceno tardío y está constituido por una importancia secuencia clástica progradante sobre la cuenca.

- 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 8 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 9 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.



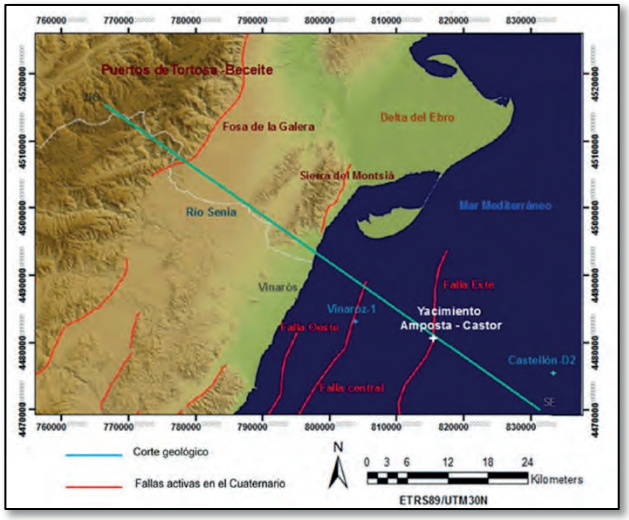


Figura 8. Mapa geológico y traza del corte geológico realizado dirección NO-SE (Barrero, P. 2015).

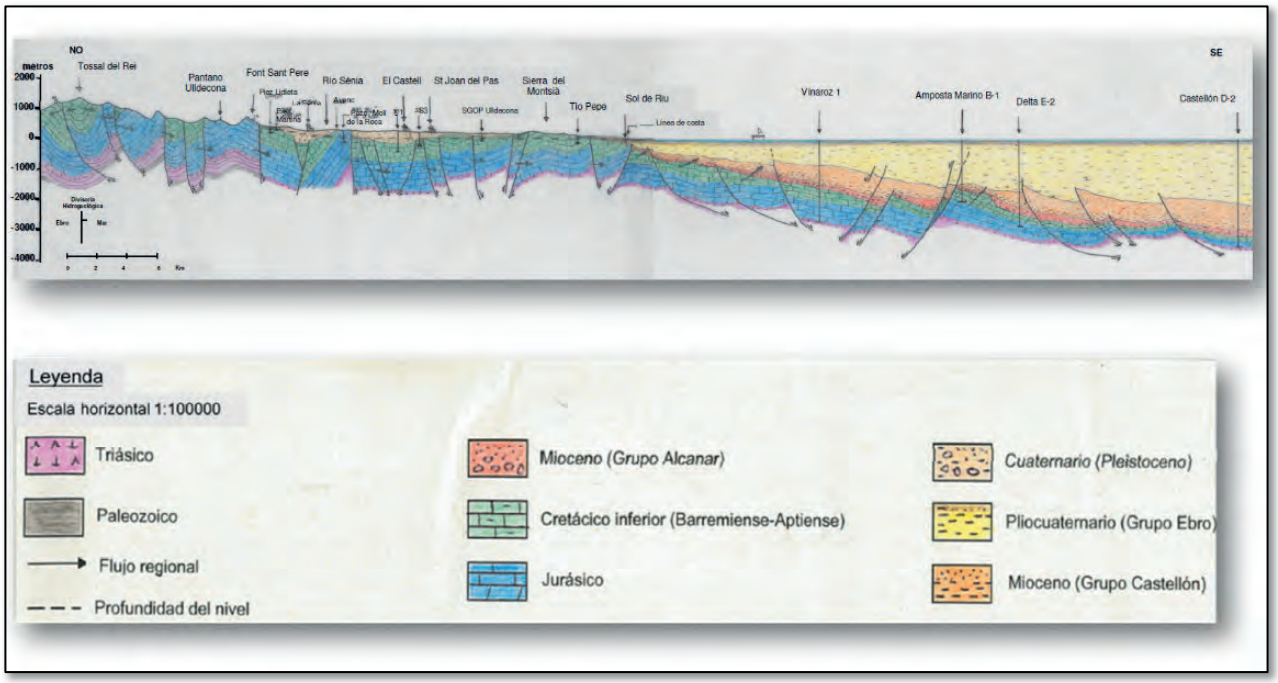


Figura 9. Corte geológico – hidrogeológico (Barrero P, 2015).

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 **acuífero Regional de la Plana de la Galera.**

Es un acuífero 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 acuífero 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 acuífero aluvial del Ebro.

PLANA D'ALCANAR

Si hacemos un zoom en la parte central del corte geológico de la Figura 9, tenemos la estructura geológica y el funcionamiento hidrogeológico de la Plana de Alcanar. En realidad, representa la parte final, la zona de descarga de todo el sistema acuífero de la Plana de La Galera en el Mediterráneo.

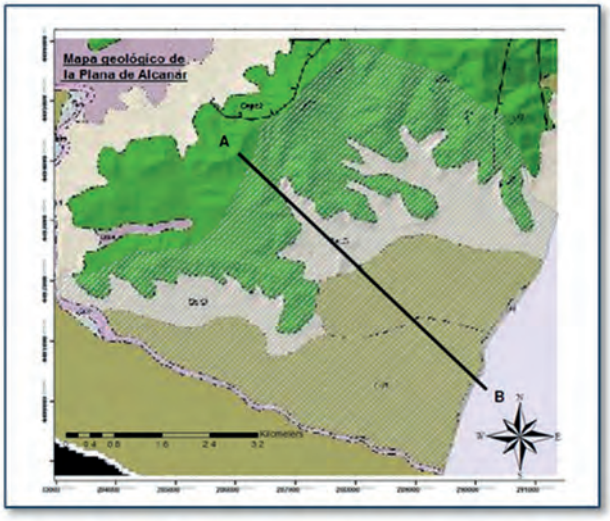


Figura 10. Mapa geológico (Fuente: Adaptado de l'Institut Cartogràfic de Catalunya).

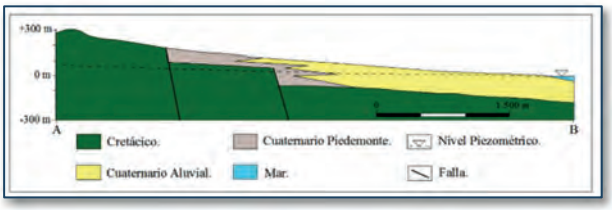


Figura 11. Esquema del funcionamiento hidrogeológico de la Plana d'Alcanar (Barrero & Fabregat 2014).

El sistema de la Plana d'Alcanar está representado por dos acuíferos: un acuífero inferior formado por materiales calcáreos del Cretácico con una estructura de horst y grabbens y cuyo bloque elevado corresponde a la Sierra del Montsià, y un acuífero superior formado por materiales cuaternarios de relleno procedentes de la erosión de las sierras adyacentes elevadas (Figura 11).

Además del flujo regional que procede del acuífero mesozoico de la Plana de la Galera, la gran zona de recarga de la Plana d'Alcanar es la Sierra del Montsià. Por piezometrías realizadas, se ha comprobado que ambos acuíferos descargan en el mar y que el acuífero inferior cretácico recarga al acuífero superior cuaternario.

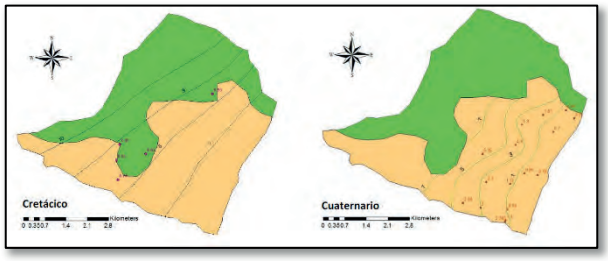


Figura 12. Piezometrías de los acuíferos cretácico y cuaternario (Barrero & Fabregat 2014).

PARADA 2. SOCIETAT AGRÍCOLA POU VERGE DEL REMEI.



Figura 13. Maquinaria original del pozo del año 1924.

La de los pozos es una de las primeras técnicas de construcción realizada por el ser humano. Los pozos más antiguos que se conocen están en la isla de Chipre y tienen unos 11000 años de antigüedad

Los pozos excavados manualmente o **pozos abiertos** existen a lo largo de todo el mundo. Tienen la característica principal de que pueden excavarse sin ninguna herramienta sofisticada. Para conseguir un buen acabado y alineación puede ser necesaria la supervisión y acompañamiento técnico de un experto. Suelen tener profundidades de no más de 50 metros y en general se revisten de mampostería. El diámetro de estos pozos nunca será inferior de 1.40 metros, ya que tiene que haber el espacio suficiente para que dos personas puedan estar trabajando en su interior.

Un buen ejemplo de este tipo de captaciones es el pozo de la Societat Agrícola Verge del Remei. Se construyó en 1924, tiene una sección elíptica de 1000x4000 mm y está revestido de mampostería.

Conserva la maquinaria original, que consta de un motor Otto de gasoil con una rueda de inercia de hierro. Se trata del primer pozo del término municipal de Alcanar que adoptó el sistema de comunidad de regantes (inicialmente comunidad de propietarios), lo que permitió la puesta en regadío de zonas que estaban prácticamente abandonadas o infrautilizadas.

Actualmente la comunidad de regantes del Pou Verge del Remei está formada por 138 socios y se riegan 272 *jornals del país* (unas 60 has aproximadamente) de cítricos y algo de huerta.

LAS COMUNIDADES DE REGANTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Aunque hay bastantes propietarios individuales que explotan sus propios pozos, existe en la Plana d'Alcanar una gran tradición de gestión colectiva del agua subterránea. Esto es importante ya que en general, la utilización de las aguas subterráneas no se ha caracterizado por el aspecto social colectivo que tradicionalmente ha acompañado a las iniciativas sobre aguas superficiales. Los aprovechamientos subterráneos fueron frecuentemente individuales y su funcionamiento no requiere, por lo general, establecer compromisos o acuerdos con otros usuarios de la misma zona.

Las comunidades de regantes son corporaciones de derecho público adscritas al organismo de cuenca correspondiente y sujetas en su funcionamiento a lo que establecen sus propios estatutos, reglamentos o convenios. La finalidad es administrar colectivamente los derechos de uso de agua que les han sido concedidos o reconocidos. Y sus disposiciones tienden a facilitar la gestión del agua, e informar y asesorar a sus

miembros. Se trata por tanto de una institución esencial para llevar a cabo una buena política de aguas.

En muchos países áridos y semiáridos, como por ejemplo España, el principal uso del agua subterránea es el regadío. A escala mundial, el 70 % de las extracciones se destinan al regadío. Al igual que en el caso de los usos industriales, las aguas subterráneas constituyen un factor de producción generador de riqueza y empleo. Análisis existentes apuntan a una mayor productividad de los regadíos con aguas subterráneas comparados con aquellos que utilizan aguas superficiales. y generan también más puestos de trabajo por volumen de agua consumido Pero esta mayor productividad no debe atribuirse a una superioridad intrínseca de las aguas subterráneas. Las causas se deben buscar en el mayor control y garantía de suministro que proporcionan, y en el mayor dinamismo que ha caracterizado al agricultor que ha buscado fuentes propias de agua, y que ha soportado los costes totales de su captación, bombeo y distribución.

PARADA 3. DESEMBOCADURA DEL RIU SÉNIA



Figura 14. Laguna de la desembocadura del riu Sénia.

La desembocadura del riu Sénia es un espacio de interés natural y paisajístico conocido como tal por presentar una gran diversidad de especies vegetales y animales y por situarse entre el Delta del Ebro y la Albufera de Valencia, lo que le convierte en un lugar de parada de aves migratorias.

Las características del agua de la laguna que se forma en la desembocadura favorecen la presencia de vegetación propia de río y de laguna (carrizo, enea, junco, fresno, sauce blanco, lentisco, coscoja y palmito). En los taludes y márgenes del río nos encontramos con vegetación de ambientes costeros como el hinojo de mar. Además, este rincón acoge una gran variedad de fauna propia de los espacios húmedos mediterráneos como las ánades reales, cormoranes y también tortugas mediterráneas lo que indica la excelente calidad ambiental de este paraje.

El riu Sénia nace en la sierra dels Ports, tiene una cuenca vertiente de 140 km^2 aproximadamente y una longitud de 50 km. Está regulado aguas arriba por el pantano de Ulldecona que tiene una capacidad de 11Hm^3. En general el Sénia es un río típicamente mediterráneo de carácter torrencial, con períodos de sequía y fuertes avenidas. Solamente en épocas de lluvias intensas puede llegar a descargar en el Mediterráneo.

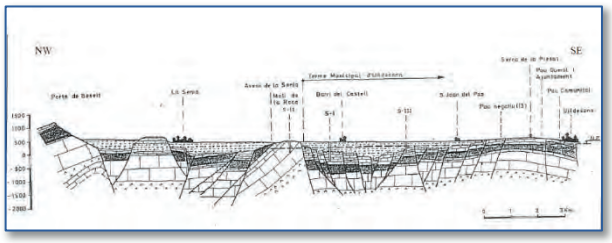


Figura 15. Corte geológico con la estructura del Avenc de la Sénia (Fuente: A. Bayó).

Durante su camino hacia el mar, en el riu Sénia se pueden diferenciar 3 zonas con las siguientes interacciones río-acuífero:

- La zona alta del río, donde aflora en varios lugares el Mesozoico con elevado grado de fisuración y donde el río actúa como ganador ya que el cauce se encuentra por debajo del nivel freático regional. Esto permite el drenaje del macizo calcáreo al río, existiendo de este modo una fuerte componente subterránea.

- En la zona media, se produce la práctica total infiltración del caudal del río. Este hecho se evidencia por la existencia de un pónor (sumidero) situado en la zona de Molí de la Roca, que representa el afloramiento de las calizas fisuradas del acuífero Regional de la Plana de la Galera (ver Figura 15). Aquí se pueden llegar a infiltrar hasta 0.5 m^3/s.

- En el curso bajo, solo recarga el río al acuífero cuaternario en épocas de abundantes lluvias, recargando a través de las terrazas aluviales cuando se producen grandes crecidas.

La relación del riu Sénia con el acuífero superior cuaternario podemos verla en la siguiente piezometría.

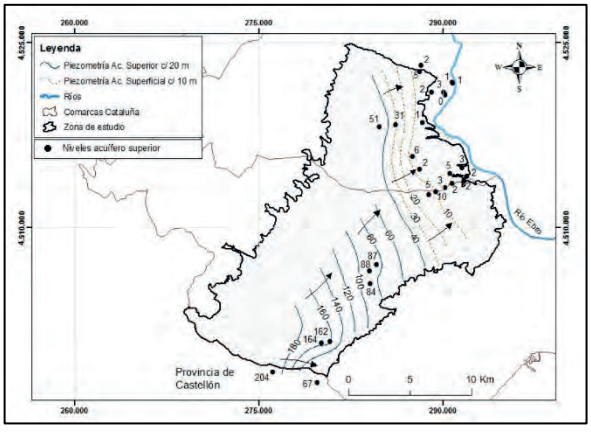


Figura 16. Piezometría del acuífero cuaternario de la Plana de la Galera (Fuente: 44 CIHS).

Vemos que en el tramo final el ríu Sénia no interactúa con el acuífero cuaternario superior ya que las isopiezas corren perpendiculares al río. En conclusión, podemos decir que el riu Sénia se encuentra desconectado del acuífero cuaternario, pero que tiene una clara relación con el acuífero regional mesozoico.

PARADA 4. CAP DE TIMBES EN LES CASES D'ALCANAR. YACIMENTO AMPOSTA

El Cap de Timbes en Les Cases d'Alcanar se encuentra frente a la plataforma Castor. El Proyecto Castor se desarrolla con el objetivo de convertir el antiguo yacimiento petrolífero Amposta en el mayor almacenamiento subterráneo de gas natural de España. Este yacimiento se encuentra en el mar Mediterráneo a unos 22 km de distancia frente a la costa de Alcanar (Tarragona) y Vinaròs (Castellón) y a unos 2000 metros de profundidad.

La serie de sismos registrados cerca de la costa entre septiembre y octubre de 2013 coincidiendo con las operaciones previas para la puesta en marcha del Proyecto Castor, generó además de alarma social, un replanteamiento total del proyecto.

Las instalaciones han permanecido en estado de "hibernación" y la decisión final sobre su uso fue adoptada por acuerdo del Consejo de ministros en 2019. Se acordó el desmantelamiento definitivo de las instalaciones y sellado de los pozos del Castor.

En 2015 se calculó el efecto que el desarrollo del Proyecto Cástor hubiera tenido sobre el sistema acuífero de la Plana de la Galera y por tanto también de la Plana d'Alcanar, mediante un modelo de flujo con Visual Transin (Barrero P, 2015). El primer paso fue establecer la geometría del acuífero en un perfil vertical (ver Figura 9).

DESCRIPCIÓN DEL ALMACÉN Y DEL YACIMIENTO AMPOSTA

El yacimiento Amposta está situado a unos 2000 metros de profundidad, bajo una lámina de agua de mar de 60 metros, y con unas dimensiones aproximadas de 5x3 km en planta. Por sus dimensiones y características geológicas, es comparado con la Sierra del Montsià, pero sumergida bajo el mar.

El campo petrolífero Amposta estuvo en explotación desde el año 1973 hasta el año 1989. En 2004 la empresa ESCAL UGS construyó el sondeo Castor 1 con el objetivo de validar las condiciones dinámicas del almacén y la integridad de su sello. La construcción de las instalaciones del Proyecto Castor comenzó en marzo de 2010 y se distribuyen entre tierra y mar. En tierra se construyó la planta de operaciones, en el término municipal de Vinaròs (Castellón) a 8 km de la costa. En el mar se instaló la plataforma de cabezas de pozos y la plataforma de procesos

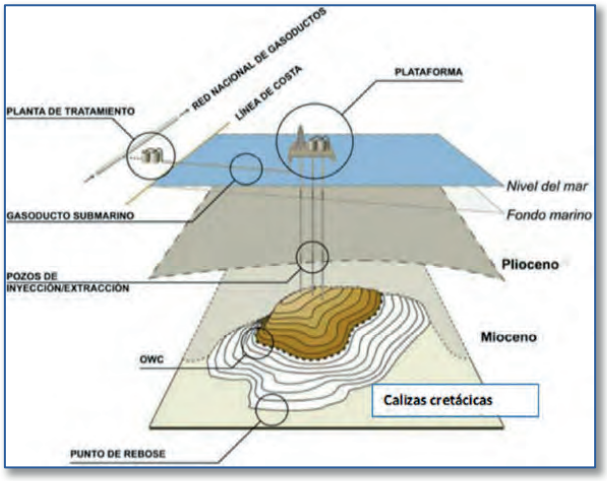


Figura 17. Croquis general de la estructura del Proyecto Castor (Fuente: Juárez, sin fecha).

Con respecto al yacimiento, el Grupo Ebro aporta la mayor parte de la columna sedimentaria de la zona, proporcionando la profundidad necesaria para posibilitar la maduración de la roca madre jurásica y facilitar la carga de petróleo en la estructura del yacimiento Amposta. La potente sección de lutitas de la base de esta secuencia parece constituir un sello regional extenso, dado que los hidrocarburos tienden a aparecer en esta región por debajo de su base. En el yacimiento, un horst inclinado constituye la trampa de tipo estructural (Figura 18). El cierre occidental es una falla normal, cuyo bloque hundido está formado por los materiales arcillosos de los grupos Castellón y Ebro. El resto de los cierres de la estructura los proporcionan los materiales de la formación Lutitas del Grupo Castellón. En la Figura 9 (corte geológico), la estructura Amposta se encuentra representada en el entorno del sondeo petrolífero Amposta Marino B-1.

El almacén de la estructura Amposta, está compuesto por unas calizas micríticas del Cretácico inferior (Barremiense). Estas calizas fueron sometidas a karstificación intensa durante la fase de elevación y erosión del Paleógeno, dando como resultado una porosidad secundaria muy importante.

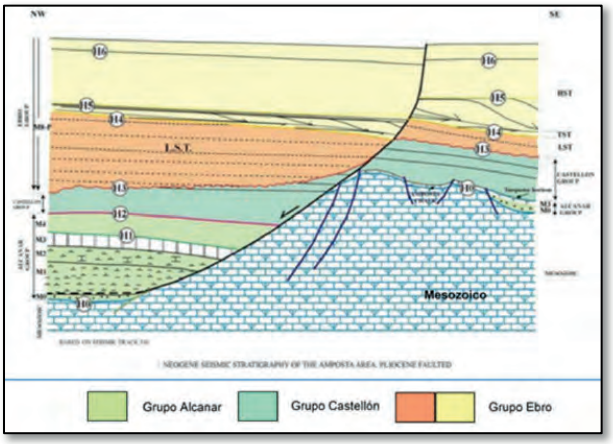


Figura 18. Estratigrafía del yacimiento Amposta (Fuente: Juárez, sin fecha).

SISMICIDAD Y EL PROYECTO CASTOR

La secuencia sísmica que se originó coincidiendo con las operaciones previas a la puesta en marcha del Proyecto Castor comenzó el 5 de septiembre de 2013 y duró

hasta octubre de 2013. La intensidad máxima de la serie fue alcanzada el 1 de octubre con un terremoto de 4.3 en la escala Richter.

En esta zona se encuentra el sistema de fallas denominado Fosa de Amposta, formado por varias fallas con una orientación en general NE-SO, prácticamente paralelas y cercanas a la línea de costa. Tres de estas fallas (Amposta Oeste, Amposta Central y Amposta Este) están situadas en las proximidades de la región en la que se concentraron los epicentros de los terremotos. Se trata de fallas normales, y relacionado con este sistema de fallas no había habido episodios sísmicos significativos y conocidos en el pasado

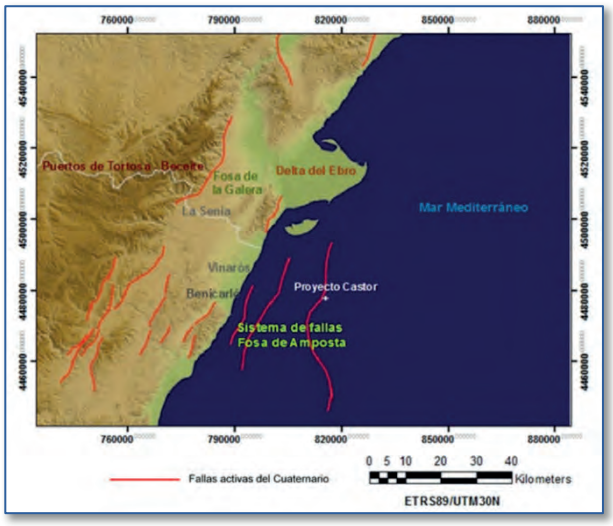


Figura 19. Sistema de fallas Fosa de Amposta (QAFI-IGME, 2015).

Las pruebas iniciales de inyección del gas colchón comenzaron en junio de 2013 sin que entonces se registrara actividad sísmica. El volumen total de gas inyectado fue de aproximadamente 100 hm3, en unas condiciones standard de 25 °C y 1 bar, de acuerdo con los protocolos que establece la legislación española. La sismicidad comenzó a incrementarse el 5 de septiembre con las últimas operaciones de inyección, pero los mayores episodios sísmicos tuvieron lugar a partir del 24 de septiembre, cuando la inyección había sido paralizada.

La actividad sísmica generada se concentró en una pequeña región de menos de 5 km de longitud y a poca profundidad (entre los 0 y los 3000 metros), en las cercanías de los pozos de inyección de gas del Proyecto Castor.

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

En la Figura 9 se muestra el esquema del funcionamiento hidrogeológico del acuífero, su estructura y su geometría. Este corte hidrogeológico está trazado siguiendo una línea de flujo del acuífero, desde los Puertos de Tortosa-Beceite hasta su descarga en el mar.

En todo este sistema acuífero se puede establecer que el flujo de agua subterránea se mueve en dirección NO-SE, y en este recorrido se pueden definir tres zonas claramente diferenciadas: la zona preferencial de recarga que son los Puertos de Tortosa – Beceite, la zona de transporte representada por la plana y la zona de descarga en la costa, donde las aguas vierten al mar Mediterráneo.

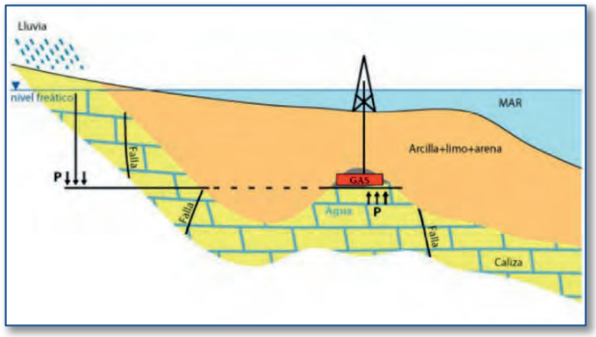


Figura 20. Yacimiento Amposta con empuje de agua (ESCAL UGS, 2008).

Se tienen datos del funcionamiento del acuífero en el entorno del yacimiento Amposta que proceden de la actividad petrolífera desarrollada en el mismo durante el período comprendido entre los años 1973 y 1989. De esta actividad petrolífera, se dedujo una fuerte actividad del acuífero subyacente,

ya que, durante los años de producción a máxima capacidad, la caída de presión del yacimiento fue únicamente de 4.8 bar recuperándose la presión original tan pronto cómo se redujo el caudal diario de producción en el año 1979.

Por la alta permeabilidad y conectividad del karst y la alta actividad del acuífero, se dedujo que el yacimiento se comporta como un pistón hidráulico, manteniéndose la presión constante a lo largo del mismo y ascendiendo el plano de agua uniformemente. A este tipo de almacén se le da el nombre de "water drive" o yacimiento con empuje de agua. Este mecanismo lo describió la empresa Shell durante la fase de producción (Barat, 2011).

MODELO NUMÉRICO

El objetivo final del modelo realizado fue poder valorar cuál hubiera sido el efecto sobre el acuífero regional de la Plana de la Galera de la puesta en marcha y desarrollo del Proyecto Castor, mediante la elaboración de un modelo de flujo en dos dimensiones. Para la realización del modelo se utilizó el método de los elementos finitos mediante el programa Visual Transin. Una de las características de este método es que la malla se ajusta perfectamente a la geometría del sector de estudio.

Tras realizar el modelo en régimen estacionario y calibrarlo manualmente, se planteó realizar el modelo en régimen transitorio simulando el efecto sobre el acuífero de las inyecciones de gas que se realizaron en el yacimiento Amposta entre junio y septiembre de 2013. Estas inyecciones generaron la serie sísmica registrada cerca de la costa de Alcanar y Vinaroz.

Una vez realizada esta simulación, se consultó documentación existente sobre el plan de explotación prevista para el Proyecto Castor, es decir, el ritmo y caudales de inyección y extracción de gas calculados por la empresa para el desarrollo del almacén al 100%. Visto que el calendario de explotación era muy detallado, se decidió realizar tres simulaciones más, también en régimen transitorio. Las simulaciones realizadas fueron:

- Inyección de todo el gas colchón en el almacén.
- Operaciones de inyección y extracción de gas correspondientes a la Fase 1.
- Desarrollo completo del almacén, es decir, desarrollo del Proyecto Castor.

CONCLUSIONES DEL MODELO DE FUJO REALIZADO

En lo referente a la piezometría, la puesta en marcha del Proyecto Castor hubiera tenido una gran incidencia en el entorno inmediato del antiguo yacimiento petrolífero Amposta. Es probable que se hubiera registrado un aumento piezométrico de orden milimétrico (5-10 mm) en la parte emergida de la zona de estudio, pero prácticamente en la línea de costa y no más al interior.

El modelo de flujo realizado es un modelo de tipo conceptual. Hay que recordar que el Proyecto Castor ha estado en "hibernación" porque se llegó a la conclusión de que la serie sísmica registrada entre septiembre y octubre de 2013 estaba relacionada con las operaciones previas iniciadas para la puesta en marcha del Proyecto. Es decir, que podríamos pensar que el desarrollo de un proceso sísmico más o menos intenso a pocos kilómetros de la costa hubiera podido tener también incidencia en la piezometría del sistema, que se hubiera sumado a los efectos del proceso de inyecciones y extracciones de gas en el antiguo yacimiento petrolífero Amposta.

PARADA 5. PLAYA DE L'ESTANYET. ACUÍFEROS COSTEROS Y SU GESTIÓN



Figura 21. Masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).

La Masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar es un sistema acuífero costero. Los acuíferos costeros son susceptibles de contener naturalmente o de forma inducida agua salina. El agua marina, que es más densa que el agua dulce, puede penetrar hacia el continente desde escasos metros hasta varios km, en función de las características hidrogeológicas (espesor de las formaciones permeables y conductividad hidráulica) y del caudal de descarga de agua continental en la costa.

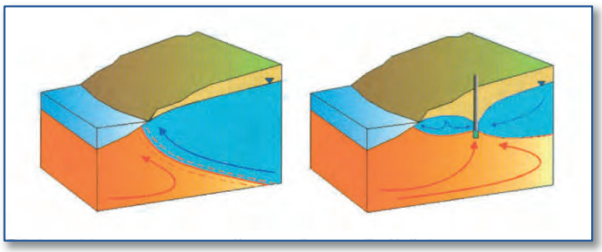


Figura 22. Flujo de agua dulce y agua salada en una sección de un acuífero costero libre idealizado con recarga y en estado natural (izquierda) y afectado por la extracción de un pozo (derecha). (Fuente: Custodio, E, 2020).

La descarga de agua dulce o salobre a lo largo de la costa tiene importancia para la existencia y características peculiares de los humedales costeros y de las aguas marinas litorales junto a la costa. Esa descarga crea determinadas condiciones de salinidad, composición química y contenido en nutrientes, que son importantes ecológicamente y que se asocian a servicios económicos de gran interés social.

ESTADO DE LA MASA DE AGUA

Las administraciones hidráulicas se encargan de realizar los controles para determinar el estado cualitativo y cuantitativo en el que se encuentran las masas de agua subterránea, mediante redes de calidad y redes piezométricas.

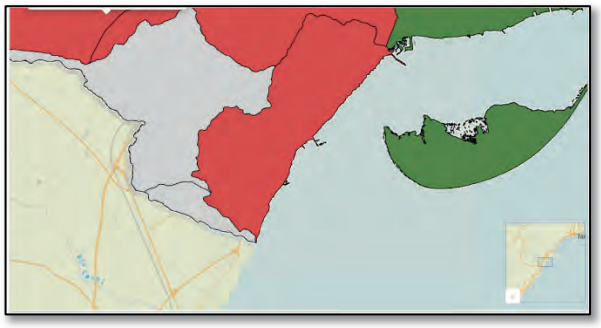


Figura 23. Estado general de la masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).

El estado de una masa de agua subterránea se establece a partir de la valoración del estado químico y del estado cuantitativo. El estado final resultante será la combinación de ambos: bueno o malo tomando la peor calificación de las dos valoraciones.

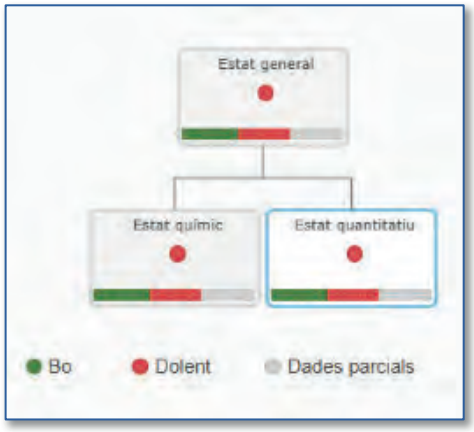


Figura 24. Informe de la masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar de 2021 para datos de 2016-2021 (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).

Como podemos ver en las Figuras 23 y 24, el resultado final del estado general de la Masa de agua subterránea de la Plana d'Alcanar es malo, porque incumple tanto en el estado químico (contenido en cloruros) como en el estado cuantitativo (test de intrusión salina y contenido en cloruros).

Los datos de valoración de cada una de las masas de aguas se obtienen de la información recogida en uno o varios puntos de muestreo. Aunque estos puntos son representativos, eso no significa que en la totalidad de la masa de agua se den estas condiciones. De hecho, se tiene constancia de que el problema importante de cloruros y de proceso de intrusión marina se encuentra en la parte norte de la masa de agua, hacia el término municipal de la Rápita.

RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO

L'Agència Catalana de l'Aigua tiene dos puntos de control piezométrico en la Plana d'Alcanar. Uno de ellos capta el acuífero carbonatado mesozoico (piezómetro Tío Pepe) y el otro el acuífero cuaternario (piezómetro Sol de Riu). En ambos piezómetros se tienen registros mensuales y continuos desde 1999 hasta la actualidad.



Figura 25. Situación de ambos piezómetros (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).

Se muestran a continuación de forma gráfica estos registros piezométricos a partir de los cuales se sacan conclusiones hidrogeológicas del funcionamiento del sistema acuífero en esta zona:

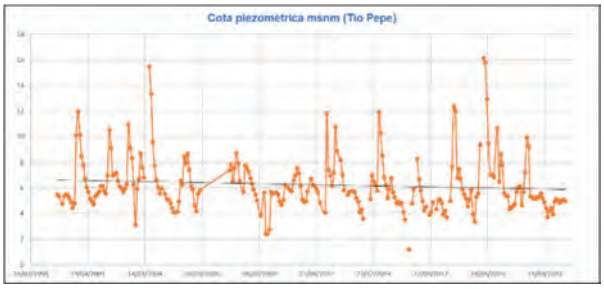


Figura 26. Registro piezométrico acuífero mesozoico (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).



Figura 27. Registro piezométrico acuífero cuaternario (Fuente: Agència Catalana de l'Aigua).

Gracias a esta red de control piezométrica, podemos afirmar que el acuífero inferior mesozoico es el que recarga al acuífero cuaternario. También podemos afirmar que entre 1999 y 2025 este registro muestra una tendencia descendente de la piezometría, que sigue una tendencia coherente con la secuencia climatológica.

Como conclusión diremos que la línea de costa supone una conexión con una masa de agua de volumen infinito, y que una excesiva explotación de las aguas subterráneas en este tipo de acuíferos costeros puede inutilizar los recursos a causa del proceso de salinización. El objetivo es contener la penetración de la cuña marina con la existencia de un flujo continuo de agua hacia el mar.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA TARRAGONA 2024

Pilar Barrero Justes (ACA)

Joan Gabriel Talarn Maigí (CETIT)

Jordi Marsal Lleberia (ACN)

PARA SABER MÁS....

Agència Catalana de l'Aigua (2025). *Estat de les masses d'aigua a Catalunya.*

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. (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.

Barrero, P. y Fabregat, S. (2015). *Modelo de flujo del sistema acuífero de la Plana de Alcanar.* Máster profesional en hidrología subterránea, 3ª Edición (2014-2015). FCIHS y UPC.

Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. (2009). *Hidrogeología. Conceptos básicos de hidrología subterránea.* Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Primera Edición. Barcelona.

Custodio, E. (2020). *Consecuencias de la intrusión marina en la España mediterránea e insular según el informe SASMIE.* Boletín Geológico y Minero, 131 (4): 775-794.

García Mollá, M. y Sanchis Ibor, C. (2009). *Las entidades de riego en común.* Agricultura: 448-452.

https://www.eldiario.es/economia/10-anos-caso-castor-agujero-multimillonario-contribuyente-responsables_1_10566838.html.

Instituto Geológico y Minero de España. (2009). *Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo.* Fundación Marcelino Botín.

Llamas, R., Hernández-Mora, N. y Martínez, L. (2000). *El uso sostenible de las aguas subterráneas.* Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas. Fundación Marcelino Botín.

Piñana, E. y Valleján, B. (1999). *Estudio Hidrogeológico de la cuenca del río de La Sènia (Castellón – Tarragona).* Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. 33 edición CIHS.



Teruel

HIDROGEODÍA Teruel 2025

22 DE MARZO

Excursión guiada gratuita

PLAZAS LIMITADAS

Un paseo hidrogeológico en los manantiales de Teruel. El viaje del agua bajo nuestros pies







- Itinerario: Zaragoza - Muniesa - Cortes de Aragón - La Hoz de la vieja - Alacón - Ariño - Albalate del Arzobispo - Zaragoza
- Punto de encuentro: Plaza San Francisco. Parada de bus en Fernando el Católico. Salida a las 08:30. Regreso aproximado a las 17:30
- Inscripciones: enviar e-mail con nombre y apellidos: a.delalosa@igme.es

Más información en: https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

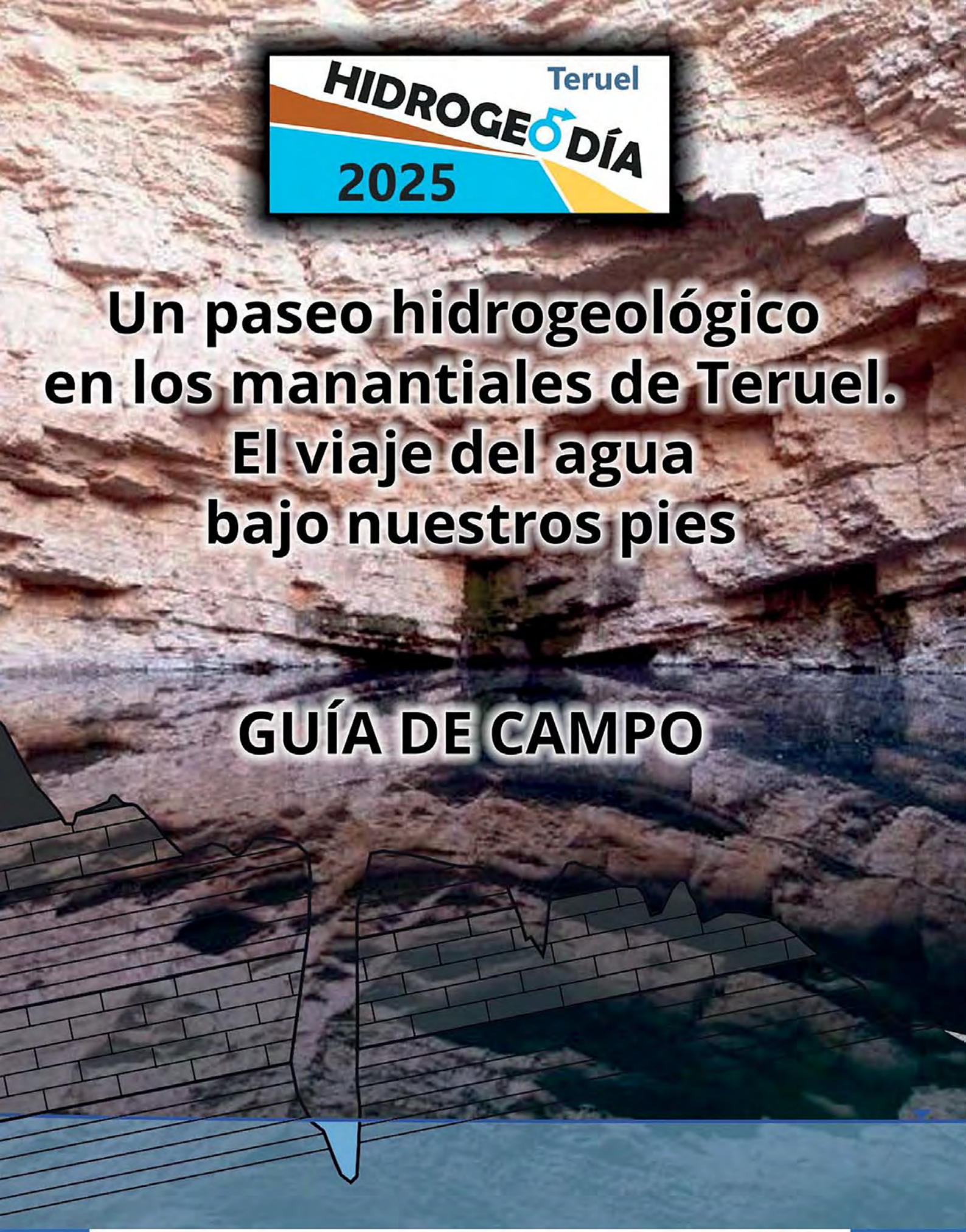
¿QUIERES COLABORAR?

APADRINA UNA ROCA

HIDROGEODÍA Teruel 2025

Un paseo hidrogeológico en los manantiales de Teruel. El viaje del agua bajo nuestros pies

GUÍA DE CAMPO



iah aih
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC IGME CSIC DELEGACIÓN EN ARAGÓN
Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza
1542
SAGE4CAN
AGENCIA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN

Crédito imágen: Grupo de Espeleología Huesos

EL HIDROGEODÍA

El Hidrogeodía es una jornada de divulgación dedicada a la hidrogeología y al papel fundamental que desempeña el agua subterránea en el medio ambiente y en nuestras vidas. En esta edición de 2025, los participantes tendrán la oportunidad de explorar algunos de los principales manantiales cársticos de la Cordillera Ibérica, conocer sus características hidrogeológicas y comprender su importancia en la gestión del agua en la provincia de Teruel.

El evento está dirigido a todos los públicos, sin necesidad de conocimientos previos en la materia, y contará con explicaciones a cargo de expertos en hidrogeología, quienes compartirán sus conocimientos sobre el funcionamiento de los acuíferos, la dinámica del agua subterránea y su relación con los ecosistemas.

Este Hidrogeodía 2025 promete ser una experiencia enriquecedora, combinando ciencia, naturaleza y divulgación en un entorno privilegiado (**figura 1**). ¡Una oportunidad única para aprender sobre el agua subterránea y su impacto en nuestro entorno!

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro para el Hidrogeodía 2025 será en la Plaza San Francisco, 50006 Zaragoza. Desde este lugar, dispondremos de un autobús gratuito que nos llevará a lo largo del recorrido por los manantiales cársticos de la Cordillera Ibérica, haciendo varias paradas de interés a lo largo del día.

Ubicación en Google Maps: Enlace google maps

🚌 Salida: El autobús partirá desde Plaza San Francisco (Zaragoza) y nos llevará a las distintas paradas del itinerario, donde realizaremos visitas guiadas en cada uno de los puntos clave del recorrido.

🍽️ Parada para comer en Oliete: Se podrá optar por llevar comida propia o comer en uno de los restaurantes del pueblo.

🔙 Regreso: Al finalizar todas las visitas, el autobús nos llevará de vuelta a Zaragoza.



Figura 1. *Manantial de Alarcón Valsa de San Miguel.*

QUÉ VEREMOS

En este recorrido por la provincia de Teruel se visitan dos importantes manantiales de la Cordillera Ibérica, ambos, con su origen y surgencia en materiales carbonatados jurásicos por lo que pueden calificarse de manantiales cársticos. La caracterización hidrogeológica de estos manantiales se realizó en los años ochenta del siglo pasado por la Cátedra de Hidrogeología de la Universidad de Zaragoza del Dr. Francisco Javier Martínez Gil, y en especial en los trabajos académicos y científicos del Dr. José Luis De Miguel. En distintas publicaciones viene sintetizado el movimiento del agua subterránea en la zona y la consideración del manantial de los Baños de Ariño como modelo del drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro; el de Alacón lo sería del drenaje interno de la Cordillera. Posteriormente, los organismos encargados de la administración del agua, especialmente el IGME y en esta zona de Teruel, la CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro), han recogido, sintetizado y actualizado toda la información hidrogeológica disponible y la que de forma continua se viene generando (nuevas captaciones de agua, mediciones de nivel del agua, datos hidroquímicos…).

Los manantiales considerados y la totalidad del recorrido que se realiza se encuentran dentro de la Masa de Agua Subterránea de la Cubeta de Oliete (ES091MSBT091), ver **figura 2**.

Información completa de la misma puede obtenerse en la dirección www.chebro.es, siguiendo el menú Gestión de la cuenca/Información hidrogeológica/Masas de Agua Subterránea.

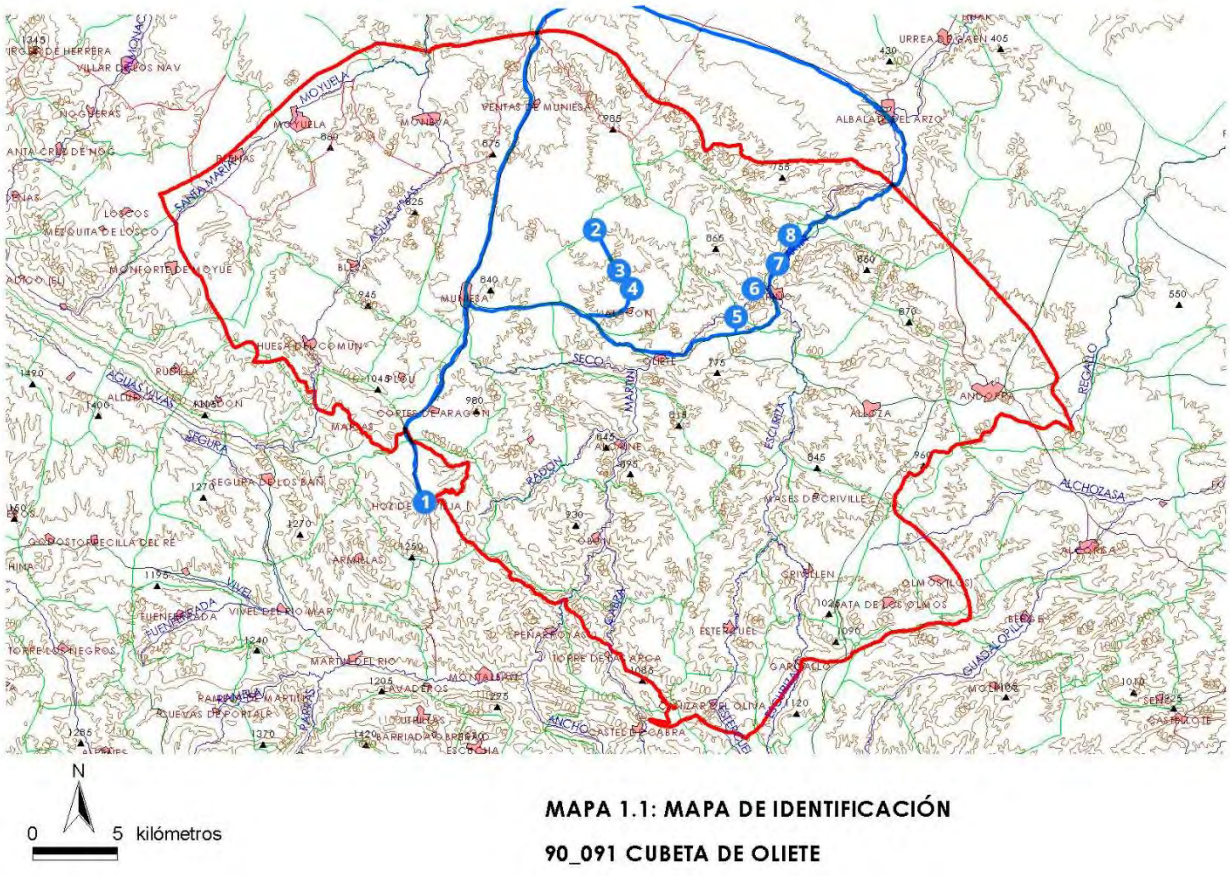


Figura 2. *Mapa de localización de la cubeta de Oliete y la paradas.*

ENTORNO GEOLÓGICO

En la MAS afloran materiales que de muro a techo van desde el Paleozoico (pizarras, cuarcitas y areniscas), Buntsandstein (conglomerados del Triásico inferior), calizas del Triásico medio (Muschelkalk) y arcillas y margas yesíferas del Triásico superior (Keuper); las formaciones carbonatadas del Jurásico; depósitos detríticos y carbonatados de las facies Weald e Urgon del Cretácico inferior; formaciones detríticas continentales del Terciario; y finalmente los depósitos aluviales del Cuaternario.

En el Mapa Geológico (**figura 3**) puede verse la disposición de los materiales paleozoicos y mesozoicos en láminas de cabalgamiento, anticlinales y sinclinales que siguen la alineación ibérica (NW-SW); así como la presencia de dos cuencas terciarias, las de Muniesa al nororoeste, y la de Alloza al sureste que fosilizan los materiales mesozoicos.

La estructuración geológica compartimenta hidrogeológicamente esta masa de agua en subunidades hidrogeológicas con áreas de recarga y descarga propias y separadas por accidentes estructurales (cabalgamientos y anticlinales) en los que afloran las formaciones de baja permeabilidad del Keuper, toda la zona visitada se encuentra en la unidad Muniesa-Sierra de Arcos (ES091MSBT091S03).

El acuífero principal corresponde a la serie carbonatada del Jurásico inferior (FGP-Grupo Renales). Esta formación se encuentra confinada en la mayor parte de la masa de agua y solo aflora el valle del río Martín (**figura 4**), dando lugar al manantial de Ariño, posee una elevada permeabilidad asociada a

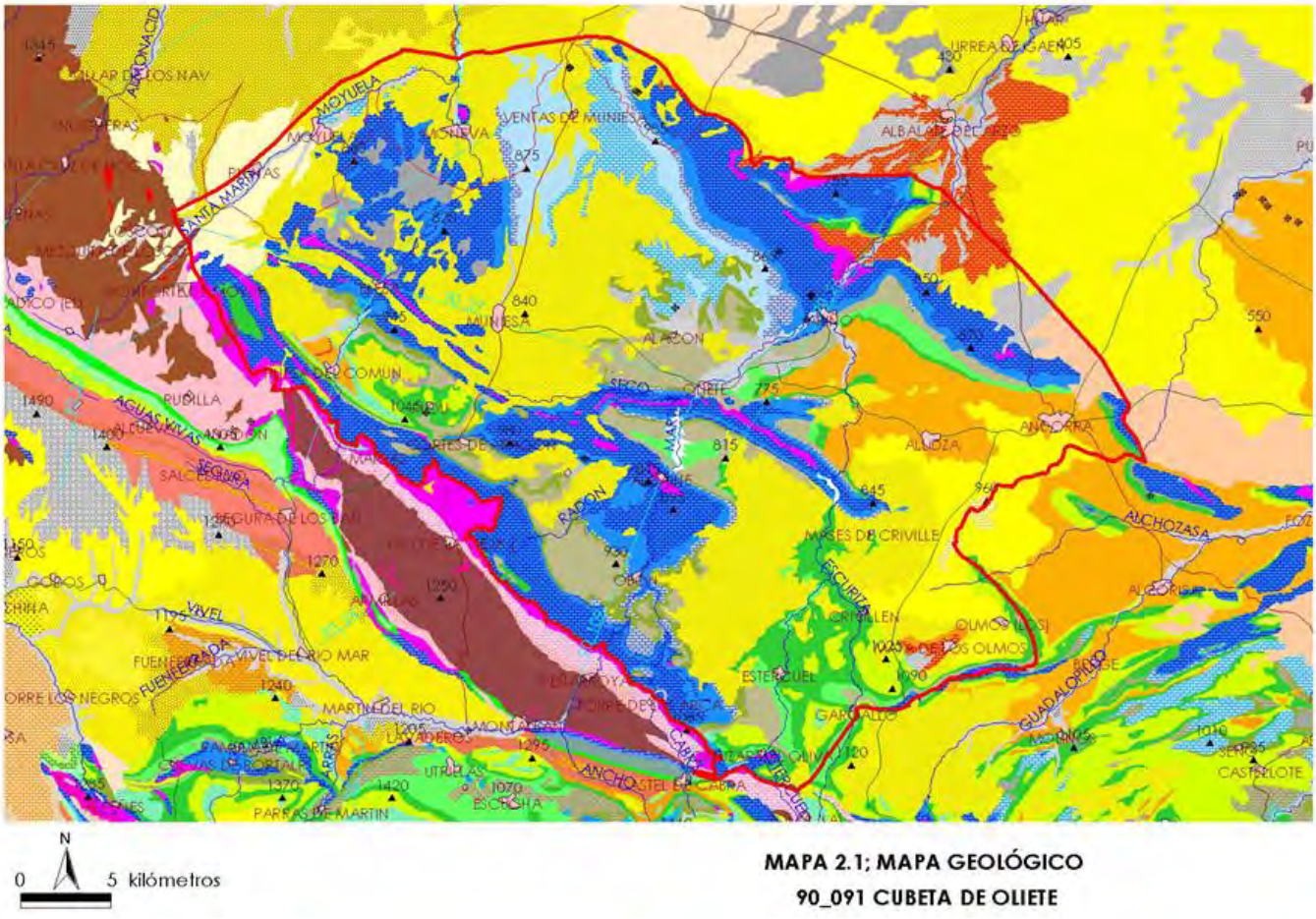


Figura 3. *Mapa geológico de la cubeta de Oliete.*

su elevada fracturación y karstificación. Otra formaciones acuíferas también asociadas a procesos de karstificación pero con una menor permeabilidad corresponde a las formaciones carbonatadas del Jurásico medio y superior (FGP-Fm Carbonatada de Chelva y FGP-Higueruelas), relacionadas con el manantial de Alacón El Cretácico Inferior está dominado por depósitos detríticos finos que actúan a nivel regional como un tramo de gran espesor y baja permeabilidad, que adquiere cierta relevancia local asociada a intercalaciones calcáreas algo más potentes (FGP- Barremiense-Aptiense).

Las formaciones detríticas del Terciario se encuentran formadas por conglomerados y areniscas con niveles de limos y actúan a escala regional como un gran acuitardo, con algunos niveles explotables (FGP-Terciario continental). Finalmente, los acuíferos cuaternarios corresponden a los depósitos aluviales y coluviales (FGP-Cuaternario aluvial), de poca entidad dentro de la zona visitada

Parada 01: Hoz de la Vieja

Pequeñas cuencas hidrológicas

La cuenca de la Hoz de la Vieja, por su tamaño es una pequeña cuenca (**figura 5**), de 48 km^2. Las pequeñas cuencas se caracterizan por: Son muy peligrosas (2 catástrofes principales siglo XX en Aragón: Biescas: 18 km^2. En agosto de 1996 provocó 89 víctimas mortales. Aguilón: 14 km^2. En septiembre de 1921 fallecieron 18 personas. Por todas partes hay cuencas pequeñas y peligrosas. Pero en una cuenca solamente el 2-10% de la superficie es peligrosa.

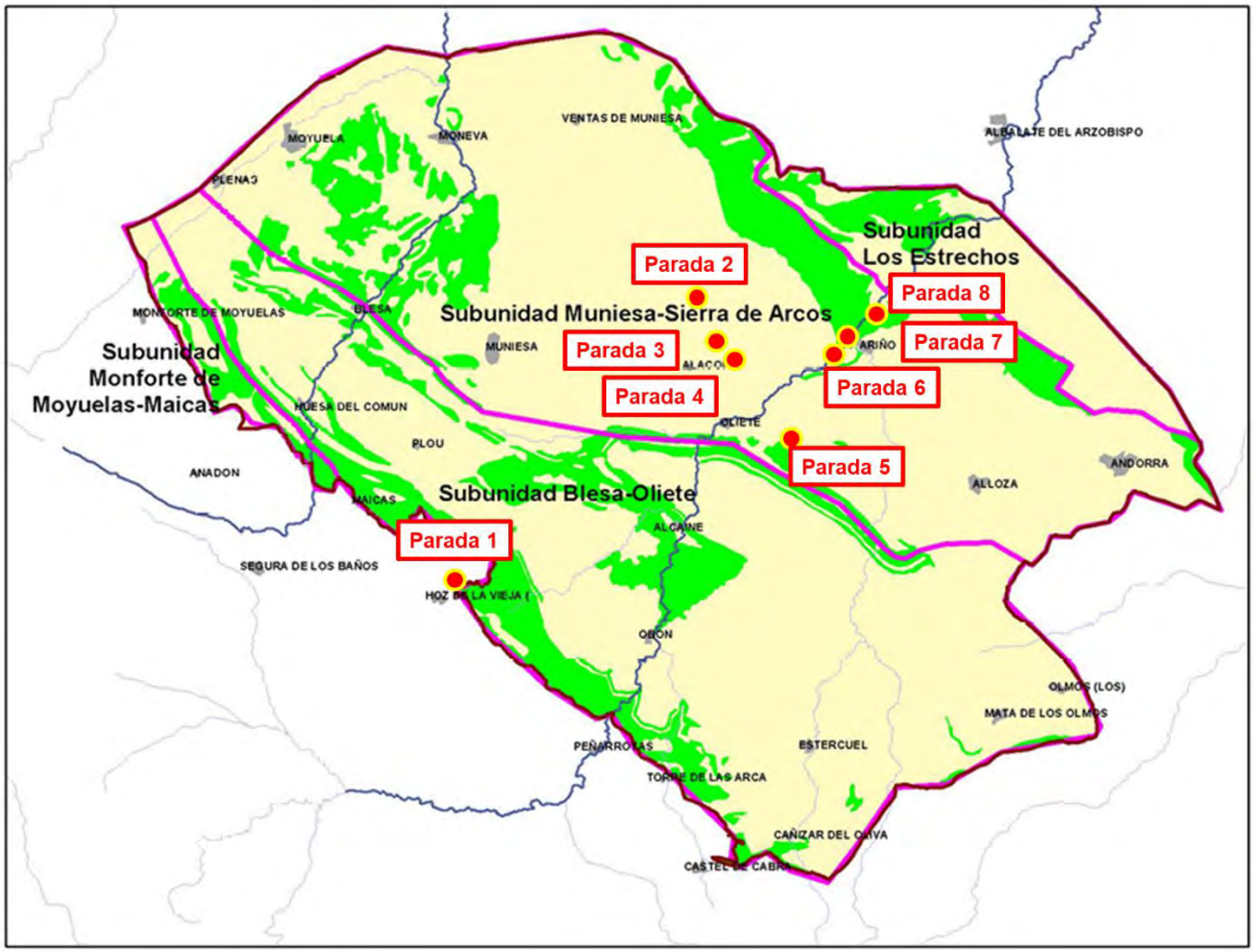


Figura 4. *Itinerario de paradas en la cubeta de Oliete.*

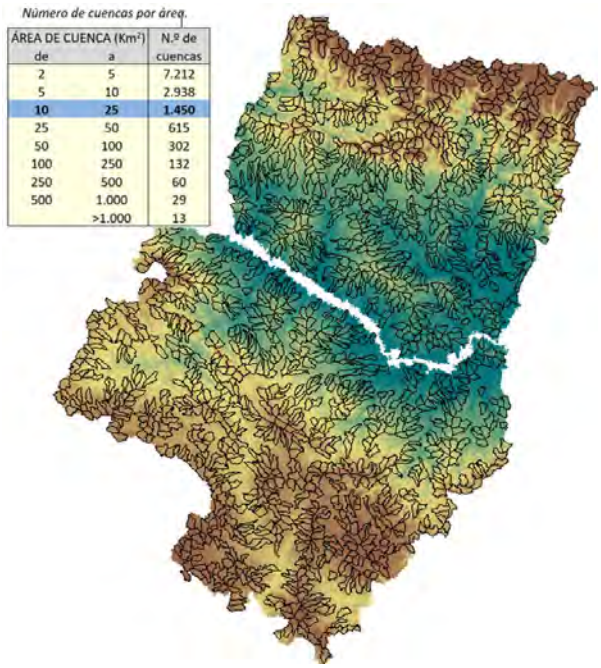


***Figura 5**. Pequeñas cuencas en Aragón, ejemplo con las de tamaño entre 10 y 25 km².*

Cuenca vertiente y Características en La Hoz de la Vieja

Tiene 48 km2 y se divide en 4 subcuencas (**figura 6**). Su tiempo de concentración se sitúa en torno a 1,5 horas con la fórmula de Kirpich. El umbral de escorrentía promedio es de 28,5 mm y el número de curva 64.

Tabla 1. Propiedades hidrogeomorfológicas

Cuenca		*AREA*	*LCP*	*Cotas (masl)*		J_c
		km²	km	Max	Min	%
1	Barranco Innominado	2	3	1.111	921	6 %
2	Río Armillas aguas arriba	38	11	1.189	920	3 %
3	Barranco de Vadiello	5	4,5	1.234	919	7 %
4	Barranco de Carra Martín	2	2,5	1.141	928	9 %
0	Río Armillas aguas abajo	48	11	1.189	861	3 %

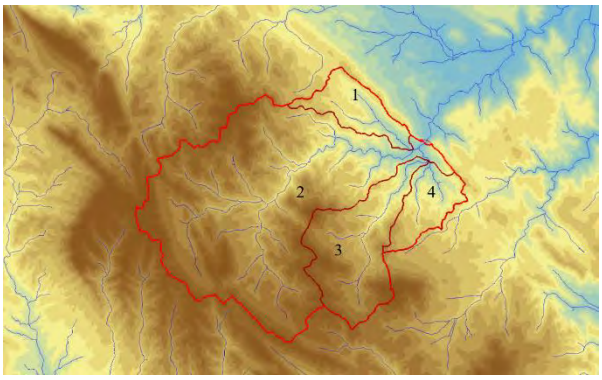


***Figura 6**. Subdivisión de cuencas sobre fondo con altimetría y red de cauces*

Sedimentología

Área fuente principal materiales paleozoicos: Anticlinal Carbonífero en facies Flisch. Ha sido deformado por orogenias Hercínica y Alpina. Materiales: Arenicas y argilitas (**figura 7**).

En bordes superior e inferior aflora mesozoico: Triásico (Bunntsandstein (arenisca roja), Muschelkalk (dolomías gris-azul) y Keuper (arcillitas y yesos), distalmente + Rhetiense (carniolas) y en cabecera Cretácico superior (calizas).

Estas últimas facies influyen poco como área fuente de sedimentos, siendo los materiales carboníferos los más influyentes por su mayor extensión. Se recomienda identificar cantos en los materiales de arrastre de los barrancos.

Hidrología

Metodología para predecir caudales

Más que predicción hay que verlo como una clasificación. Hay dos categorías o grupos de métodos: (1) Análisis de frecuencia: Ajuste de funciones estadísticas (2) Hidrometeorológicos: modelos RRR (Rainfall–Runoff–Routing models). Combinación de modelos (terreno, lluvia, escorrentía, circulación)

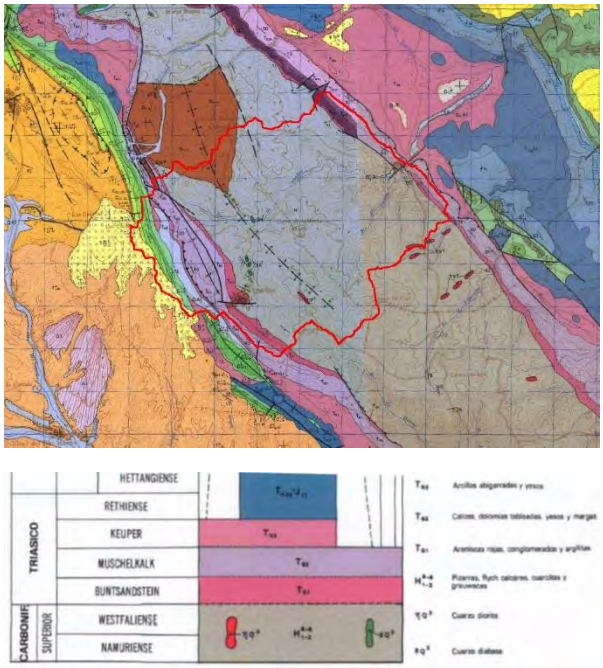


Figura 7. *Geología.*

<u>*Modelos oficiales en España*</u>

Hay dos: (1) CAUMAX: Análisis de frecuencia. Tiene profundas limitaciones: no permite investigar, cambio en usos del suelo, cambios en los cauces, etc. (2) 5.2-IC: Se basa en el método racional (Tc Mulvani, Irlanda 1851) y número de curva (SCS, USA, 1972 - 1949). La adaptación española introduce modificaciones que dan resultados muy bajos.

Resultados para la Hoz de la Vieja

La **Tabla 2** recoge resultados que presentan gran discrepancia según los distintos modelos. Se deduce: Gran horquilla de resultados. 5.2-IC: valores muy bajos. CAUMAX aún más bajos. El modelo distribuido A corresponde a precipitaciones aplicando curvas IDF de 5.2-IC. El modelo B se ha obtenido con curvas IDF corregidas, pero todavía no contrastadas para la zona de la Hoz de la Vieja.

Hidrodinámica

Tres tipos geomorfológicos:

- Barrancos encajados: En "V" y Fondo Plano,
- Cauces con llanuras de inundación
- Abanicos aluviales o conos de deyección (si sumergidos deltas)

Tabla 2. *Resultados de caudal pinta para distintos modelos*

MÉTODO	PERIODO DE RETORNO (años)							
	2	5	6,8	10	25	50	100	500
CAUMAX	3	5	5	7	11	14	20	41
5.2-IC/2016	3	7	9	11	22	32	45	81
RACIONAL	17	41	51	64	101	133	171	278
DISTRIBUIDO A	5	20	28	41	86	134	189	379
DISTRIBUIDO B	11	41	57	85	162	227	335	678

+ Transiciones o mixtos

EN la Hoz de la Vieja y en la mayor parte de la cuenca son cursos con sección en "V", sin llanura de inundación. Aguas abajo, el valle se abre y existe llanura de inundación (**figura 8**).

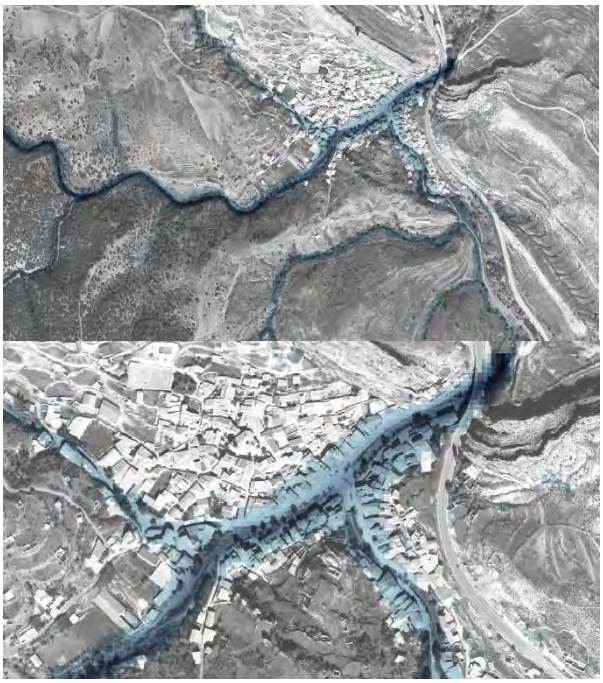


Figura 8. *Zonas inundables para la crecida de 500 años con el modelo distribuido A*

Conclusiones

Periodos de retorno se deben de interpretar como:

- Escala de referencia / probabilidad/ clasificación
- Criterios homogéneos para un territorio amplio

Puede ser necesaria una revisión de las metodologías españolas, normativas, guías, reglamentos, etc.

Facilitar acceso a datos en tiempo real de SAIH (muy avanzado), y AEMET, y procesado del Radar. Uso de plataformas WCS y APIs para desarrolladores

Puede ser muy interesante el abordar el estudio de pequeñas y medianas cuencas

Parada 02: Bco. del Mortero

La parada se realiza en el inicio brusco de un barranco cárstico de unos 30-40 m de profundidad y más de 3,5 km de longitud, que en dirección norte-sur se dirige hacia el barranco de la Muela confluyendo al Este del manantial de Alacón tal y como puede verse en la **figura 9**.

Las características principales de este barranco aparecen muy bien descritas por los geógrafos J.L. Peña, M. Sánchez y L. A. Longares en el libro Geográfia Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos, incluyendo un esquema geomorfológico detallado de la zona, que se acompaña (ver **figura 10**).

Tal y como puede verse en el esquema geomorfológico de M.V. Lozano, J-L- Peña, M. de Luis, y S. Vicente, figura 6, aguas arriba del punto de observación (parada 2) el barranco tiene una morfología de fondo plano desarrollada sobre materiales terciarios y cuaternarios de la depresión de Muniesa , y de forma brusca llega a una profunda incisión abierta en las calizas del Jurásico Superior, ruptura que se salva en forma de salto de agua de unos 20 m de altura. Al pie del salto existe una pequeña poza sobreexcavada y cerrada por materiales del propio barranco, con presencia de agua casi permanente lo que motiva el acercamiento de numerosa y variada fauna

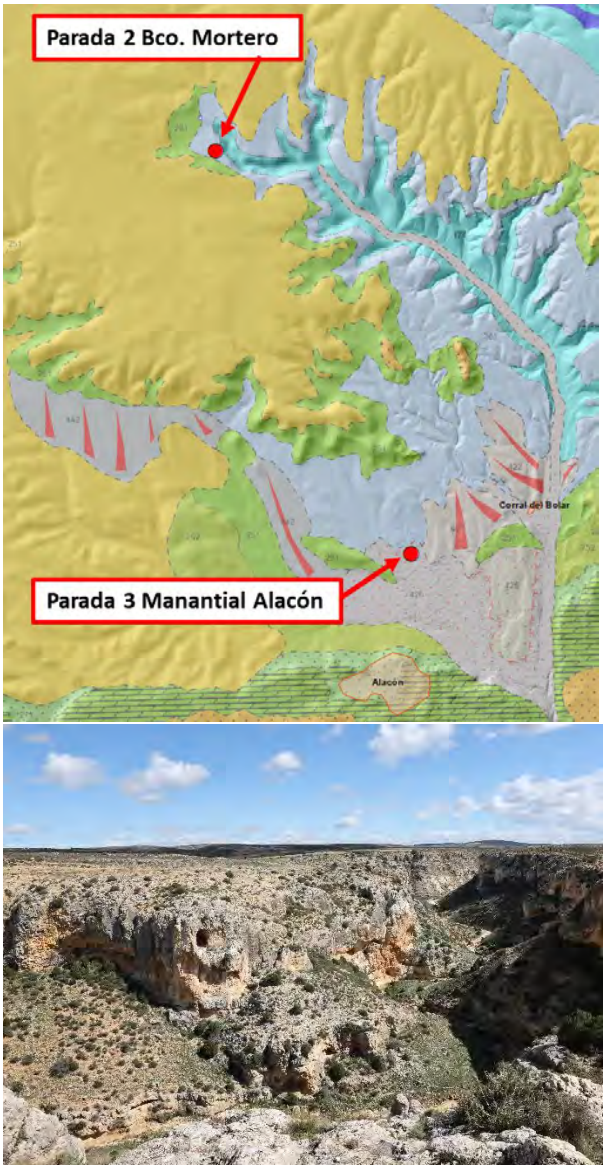


***Figura 9**. Superior: Localización del Barranco del Mortero y el manantial de Alacón. Inferior: Foto del Barranco del Mortero.*

.

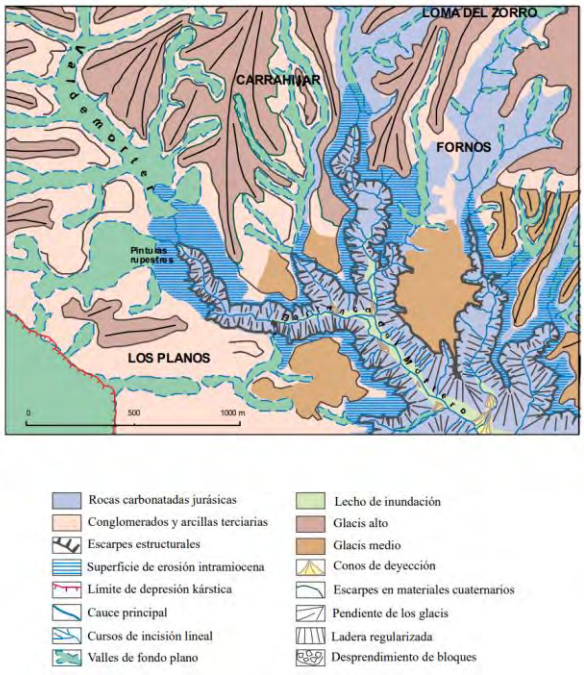


***Figura 10**. Localización del Barranco del Mortero y el manantial de Alacón. Mapa geomorfológico de detalle de la cabecera del barranco del Mortero (M.V. Lozano, J-L- Peña, M. de Luis, y S. Vicente (libro Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. 243-252 pp. ISBN 94-96214-29-X).*

La cascada presenta un pequeño "hilillo" de agua, y solo muy ocasionalmente muestra un volumen de agua relevante. Hacia el sur, el cañón se prolonga en un trazado suavemente curvo durante varios kilómetros, uniendo a otros barrancos afluentes de similares características, tal y como se muestran en el citado esquema geomorfológico)

En los márgenes del cañón, desde donde se hacen las observaciones, los materiales carbonatados aflorantes se muestran afectados por una intensa corrosión cárstica, con desarrollo de forma características como lapiaces, fisuras y oquedades que facilitan a la fácil infiltración del agua de las precipitaciones. Tanto al norte como al oeste, los materiales están cubiertos por materiales del Mioceno pertenecientes a la depresión terciaria de Muniesa o "cubeta" de Muniesa. La zona donde afloran los materiales carbonatados es una superficie erosiva, que correspondería con el techo de un karst cubierto o aluvial, desarrollado bajo los sedimentos terciarios que fosilizan las calizas jurásica.

Tal y como puede verse en la **figura 11** perfil transversal del cañón es bastante simétrico, distinguiendo una parte superior más abrupta, que forma el escarpe verticalizado y una ladera cóncava, con un fondo de barranco plano o suavemente inclinado. La zona de escarpe corresponde a los materiales de la Formación Higueruela formada por calizas masivas o estratificadas en nivel potentes, que presentan abundante contenido en fósiles, como los oncolitos. La ladera cóncava, corresponde a la Formación Loriguilla constituida por calizas micríticas y margas blanquecinas, que por tratarse de rocas menos competentes que las que tienen encima muestran fenómenos de socavamiento (erosión diferencial), dando lugar a oquedades donde se observables conductos casticos de disolución.

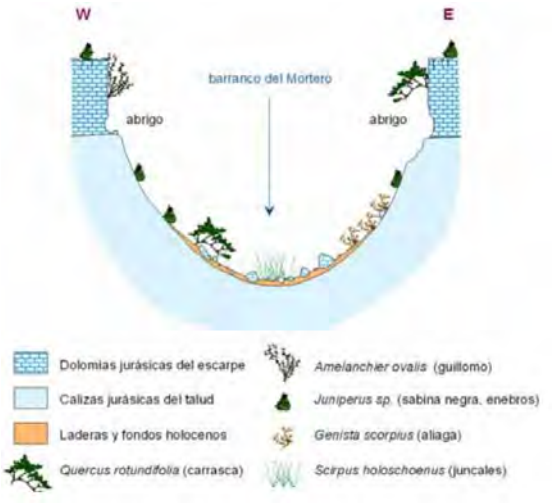


***Figura 11**. Sección vertical del barranco del Mortero en una zona próxima a la parada realizada M.V. Lozano, J-L- Peña, M. de Luis, y S. Vicente (enlace).*

El contacto entre las dos formaciones geológicos es especialmente relevante, tanto por el hecho de la formación de cavidades que constituyeren abrigos naturales, como por haber sido lugar preferente de circulación del agua subterránea, la forma circular de los tubos cársticos fósiles que se

observan indica que por ellos circulaba el agua a presión.

Al pie de los abrigos, y hasta el fondo del barranco, la ladera se suaviza y contiene grandes bloques caídos por gravedad desde la zona del escarpe. El fondo del barranco es pedregoso, sin circulación de agua, y con escasa presencia de vegetación freatofita, lo que indica que el nivel freático no es aflorante en la zona.

El objeto de la parada no es solo contemplar este impresionante cañón cárstico, sino también, intentar explicar su formación, lo que resulta complicado en unas condiciones ambientales como las actuales donde apenas se observa circulación de agua superficial y/o subterránea. Surge así la discusión de considerar para su origen unas condiciones climáticas notablemente más húmedas, o/y bien unas condiciones geológicas-hidrogeológica distintas a las actuales.

La cabecera del cañón que se observa, señala M.V. Lozano, J-L- Peña, M. de Luis, y S. Vicente que sería un buen ejemplo de erosión fluvial regresiva o remontante y su morfología activa serviría de modelo para explica el excavado del cañón. Pero los mismos autores precisan que si bien el río cae en cascada salvando un importante desnivel, en su parte superior lo hace mediante una incisión de unos pocos metros a través de la cual se filtra parte del caudal, que circula internamente y sale hacia una oquedad basal del escarpe. Resulta evidente que los caudales efímeros circulantes por el este barranco difícilmente pudieran justificar esa erosión remontante. Estos autores señalan que la evolución del cañón se habría producido por proceso de formación de galerías endocárstica, que junto a la incisión superficial por abrasión y disolución favorecería los colapsos y el aumento progresivo de su longitud aguas arriba. Esta interpretación sería coherente y serviría de base para la explicación que aquí se propone relacionando este cañón con la actual surgencia de la ermita de San Miguel (manantial de Alacón) y de otros manantiales similares situados en su proximidad (**figura 12**).

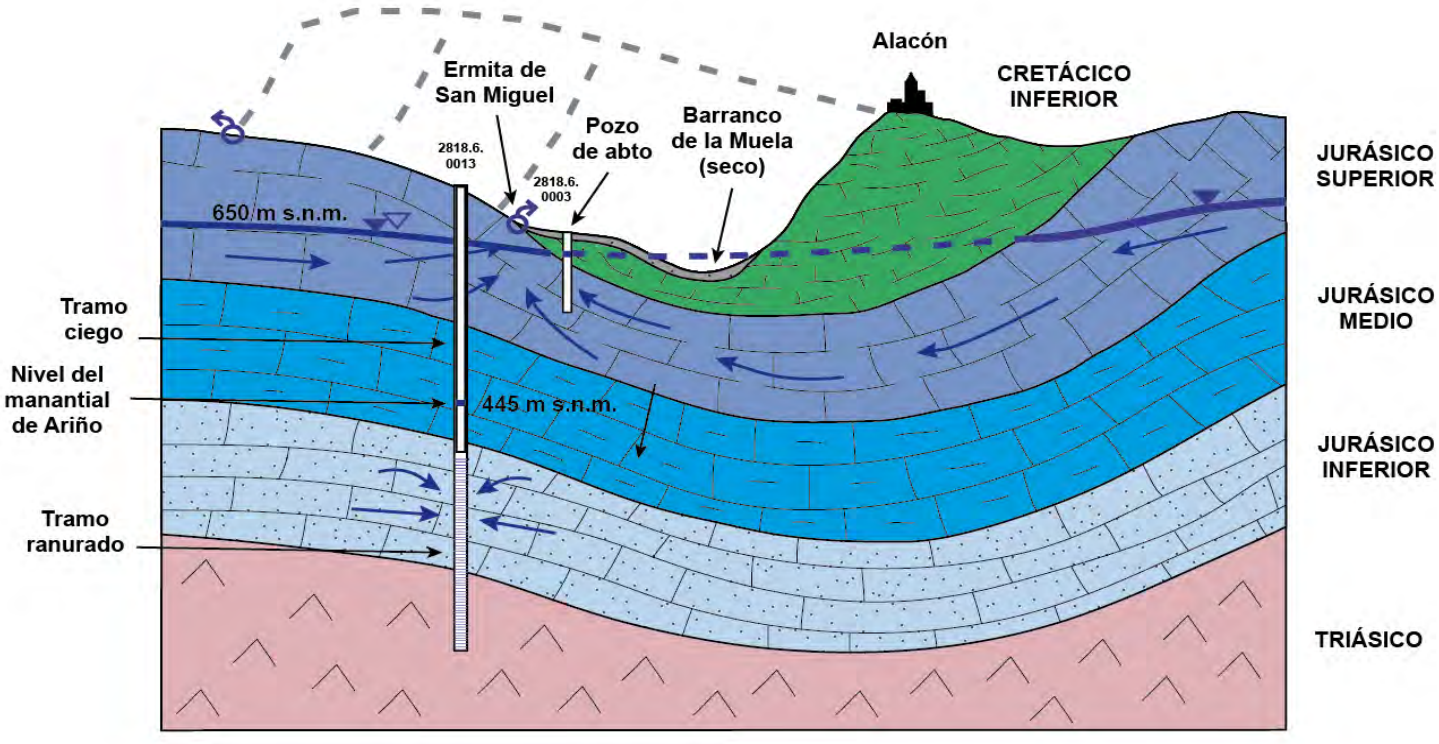


***Figura 12**. Corte hidrogeológico.*

Como puede verse en el corte hidrogeológico, figura 8) el manantial surge en los mismos materiales que constituyen el escarpe del cañon, (Fm Higueruela), justo en el contacto con materiales poco permeables del Hauterviense (Cretácico inferior) que dispuesto por encima confinan el acuífero carbonatado. Se trata de un manantial de desbordamiento, el agua surge al exterior cuando la unidad acuífera queda desprovista del material impermeable que le confina por encima.

En tiempo geológicos recientes, el confinamiento del acuífero carbonatado, se situaría más al norte, y a mayor altura topográfica que actualmente; el manantial se situaría cerca de la cabecera del actual barranco del Mortero, por lo que a las comentadas formas endocarsticas activas, que serían origen de colapsos y de la formación del cañón, habría que añadir la presencia del caudal continuo de los manantiales. El barranco se iría progresivamente profundizando según el manantial se desplazaba hacia el sur, por el encajamiento de la red fluvial (río Martín y afluentes) que haría desaparecer por erosión el material impermeable confinante.

Parada 03: Sondeo piezométrico

Este sondeo, realizado con testigo continuo (**figura 13**), permite a los científicos estudiar en detalle las diferentes unidades geológicas de la zona incluyendo el Jurásico Medio y Superior, el Toarciense, el Lias, y llegando hasta el Keuper (**figura 12**). Este sondeo es clave para entender el funcionamiento hidrogeológico de la zona ya que el sondeo llega hasta el acuífero regional y la cota del agua es coincidente con la del manantial de Ariño, unos 440 msnm.

Aún hoy se pueden ver en la explanada los restos de la infraestructura utilizada en la perforación: la base donde se instaló la torre de perforación y la antigua balsa de lodos. Además, el sondeo sigue teniendo una función relevante, ya que se emplea como punto de control en la red de monitoreo hidrogeológico.



***Figura 13**. Arriba: Torre de perforación y la balsa de lodos utilizada en la ejecución del sondeo de investigación de Alacón. Abajo: se pueden ver las cajas con los testigos de sondeo, que permiten analizar la geología del subsuelo.*

Para proteger el equilibrio hídrico de la zona, el sondeo cuenta con una tubería ciega en los niveles del Jurásico Medio y Superior (**figura 14**), evitando así cualquier interferencia con el manantial de Alacón, un recurso vital para la localidad.

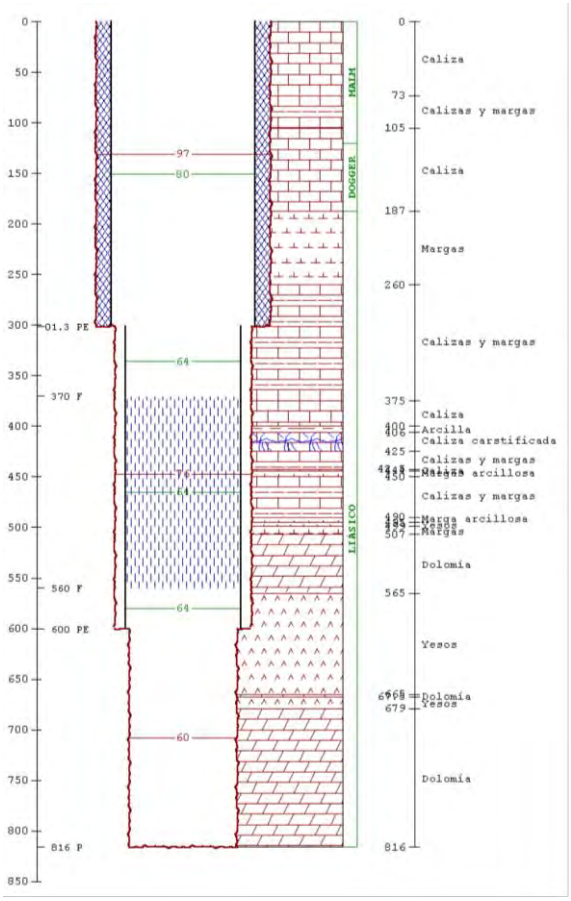


***Figura 14**. Arriba: Torre de perforación y la balsa de lodos utilizada en la ejecución del sondeo de investigación de Alacón. Abajo: se pueden ver las cajas con los testigos de sondeo, que permiten analizar la geología del subsuelo*

Los testigos de roca extraídos del sondeo ofrecen una oportunidad única para que los estudiantes y geólogos en formación puedan observar las litologías atravesadas. Cada año, visitantes y alumnos recogen fragmentos de estos testigos, y en una ocasión reciente, un afortunado estudiante encontró un ammonites fósil excepcionalmente bien conservado, una ventana directa a los mares jurásicos que cubrían esta región hace más de 150 millones de años

La **figura 15** muestra la evolución de los niveles piezométricos (referencia IPA 2818-6-0013. El nivel piezométrico oscila a lo largo del año, con valores máximos que superan los 446 m.s.n.m. y mínimos cercanos a los 440 m.s.n.m. Se observa una estacionalidad clara, con máximos en los meses de noviembre y junio y mínimos en octubre, abril y agosto. Los promedios (línea roja discontinua) se mantienen relativamente estables, con una ligera tendencia descendente en los primeros meses del año y una leve recuperación en verano. Los cambios en el nivel piezométrico pueden

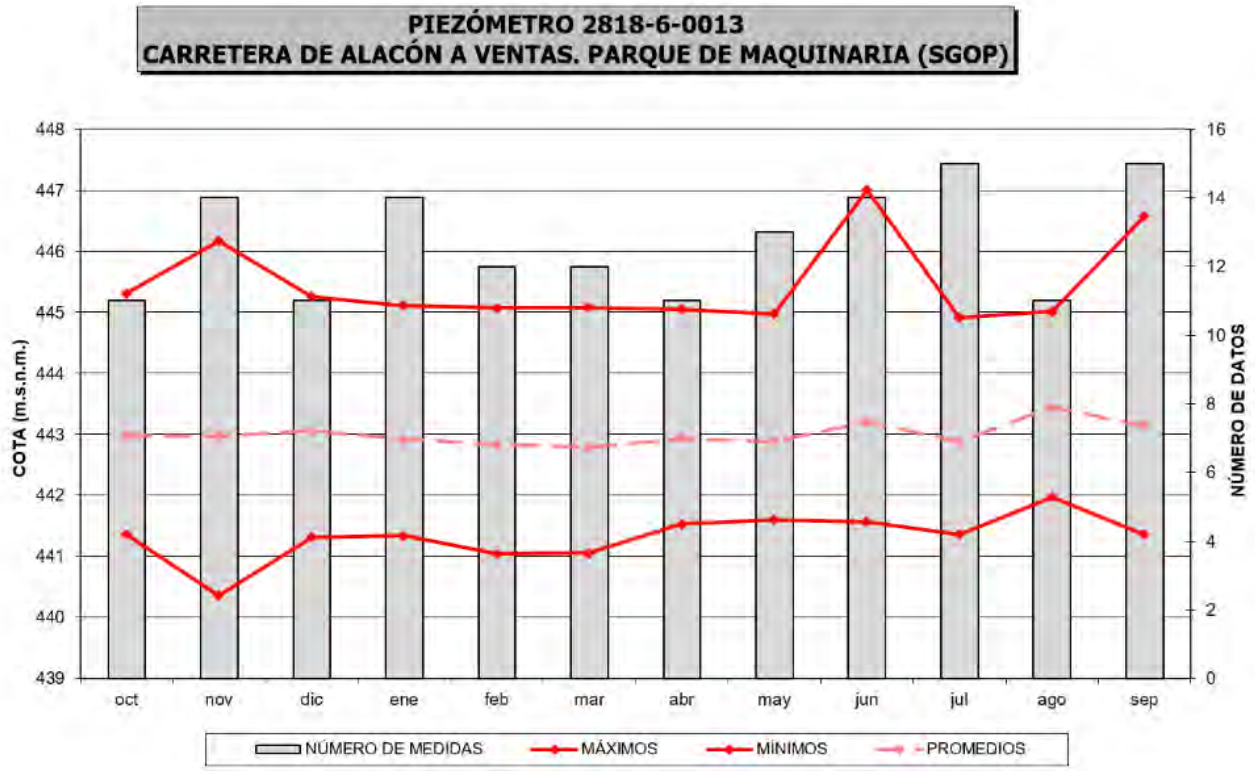


***Figura 15**. Evolución de los niveles piezométricos en el piezómetro 2818-6-0013.*

estar influenciados por precipitaciones estacionales, bombeos o recarga natural del acuífero.

Parada 04: Manantial de Alacón

El manantial de Alacón de referencia IPA-281860005 (UTM X:693745, Y:4544879), se sitúa junto a la ermita de San Miguel, término municipal de Alacón, al SE de la Subunidad Muniesa-Sierra de Arcos; lo hace a una cota de 650 msnm, en una cavidad cárstica por la que sale el agua directamente a una pequeña balsa, donde se realiza una regulación diaria para el uso en unos regadíos tradicionales de unas 100 has (unas 75 ha serían de huerta). El manantial drena materiales carbonatados del jurásico superior, tanto de los aflorantes al norte del manantial (barranco del Mortero), como de otros situados al sur de la localidad de Alacón, tal y como puede verse en el corte hidrogeológico de la figura 13. Destacar que el manantial se encuentra en una ladera, y no en el fondo del valle (barranco de la Muela) que sería lo más habitual.

En la **figura 12** puede verse como la surgencia coincide con la zona donde el acuífero carbonatado deja de estar confinado por materiales impermeable del Cretácico inferior; es decir, se trata de un manantial de "desbordamiento", lo que permite afirmar que dispone de un importante volumen de agua almacenado por debajo de la cota de surgencia, lo que permitiría su aprovechamiento con sondeos que en la zona del barranco de la Muela serían surgentes, hecho comprobado en el sondeo de referencia IPA-281860009, que actualmente sirven para el abastecimiento de agua a la población de Alacón, y que tiene su nivel de agua prácticamente aflorante.

El manantial tiene un caudal variable que puede estimarse en un valor medio de anual de 3,1 hm^3/año, lo que supone un caudal cercano a los 100 l/s; en estiaje su caudal no supera los 60 l/s, y en ocasiones excepcionales ha llegado prácticamente a secarse. Observar este caudal resulta difícil ya que sale de la balsa por distintas acequias y/o canalizaciones, y otras veces rellena la balsa, después del aprovechamiento realizado. En muchas ocasiones una gran parte del caudal del manantial puede observar en el "lavadero" de Alacón que está junto al manantial adaptado para su visita. Hay que señalar que en la misma disposición hidrogeológica existen otros manantiales en dirección a Oliete, si bien de mucho menor caudal.

La composición química del agua es la típica de un acuífero carbonatado (**Tabla 3**), es decir "bicarbonatada cálcica", su mineralización no es muy elevada, con una conductividad 457 uS/cm, y un residuo seco de 494uS/cm. En el cuadro se acompañan los datos físico-químicos de una muestra tomada en el año 1994, el interés de la misma es que puede compararse con el agua recogida en la misma fecha en el barranco del Mortero (algo especialmente difícil, ya que raramente circula agua), observándose unas facies químicas similares, con una menor mineralización en el manantial, lo que indicaría la posible dilución por agua procedentes del sur del manantial.

De los datos de los análisis se destaca, el elevado pH del agua (mayor de 8), y el elevado contenido en nitratos ya en cada fecha, observándose valores muy elevados tanto en el manantial como en el barranco. El

DATAOS ANALÍTICOS		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/
F_Toma	Muestra	DQO	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH	C.E.	R_S	NO2	NH4	PO4	SiO
17-02-94	Virgen de Arcos manantial		100,7	1100,0	241,6	3,0	20,4	80,2	62,7	451,7	4,1	8,3	2209,0	2064,0			3,6	11
17-02-94	Alacón manantial		27,7	16,1	259,9	19,2	53,8	18,0	21,6	77,0	0,9	8,3	457,0	494,0			1,1	10
17-02-94	Barraco del Mortero		33,3	19,8	350,2		44,2	20,7	37,7	86,2	1,4	8,3	550,0	593,2		0,0	1,2	10

***Tabla 3**. Analítica del agua del manantiales.*

origen de estos nitratos parece estar en la actividad agrícola principalmente en la zona de Muniesa, y también en el entorno del manantial, considerando el abonado como principal causante de este problema.

Estos datos físico-químicos puntuales pueden compararse con más de 25 análisis completos que aparecen en la ficha IPA del manantial (descargable en www.chebro.es), confirmando valores de nitratos siempre por encima de 45-50 mg/; en los años ochenta ya existen análisis de agua de este manantial, todos ello con valores en nitratos de 48 a 76 mg/l. El valor de la conductividad (equivalente aproximado a las sales disueltas en el agua) muestran valores que de media oscilan entre 450 y 500 uS/cm, que es similar al observado en el año 1994.

Parada 05: Sima de San Pedro

La Sima de San Pedro, en el municipio de Oliete (Teruel), es una de las formaciones kársticas más notables de la Cordillera Ibérica. Con una profundidad de 120 metros y un diámetro de boca de 90 metros, esta dolina en pozo se ha formado por el colapso de cavidades subterráneas en calizas jurásicas. Su singularidad radica en la presencia de un lago en su interior y en su relación hidrogeológica con el río Martín, un claro ejemplo de río colgado.

El desarrollo de la sima es resultado de la disolución de las calizas del Jurásico y la progresiva inestabilidad estructural del macizo rocoso. Los procesos kársticos han facilitado la creación de grandes cavidades subterráneas, que al perder soporte han colapsado, dando lugar a esta impresionante dolina en pozo. Este tipo de estructuras son menos comunes en la Cordillera Ibérica en comparación con las dolinas en artesa o embudo.

Los depósitos detríticos observados en los alrededores, junto con la morfología del barranco que la alberga, sugieren que en el pasado existió un sistema kárstico de mayor extensión, que se redujo tras el hundimiento progresivo del techo de las cavidades.

Uno de los aspectos más fascinantes de la Sima de San Pedro es su relación con el nivel freático regional. En su fondo se encuentra un lago de 22 metros de profundidad, cuya presencia indica la intersección con el acuífero subterráneo. Sin embargo, el rasgo más notable es que el río Martín se encuentra colgado, es decir, su cauce fluye a una cota superior al nivel freático regional.

Tal como se muestra en la **figura 16**, el nivel piezométrico regional se encuentra por debajo del lecho del río Martín, lo que implica que en este tramo el río no recibe aportes directos del acuífero, sino que, por el

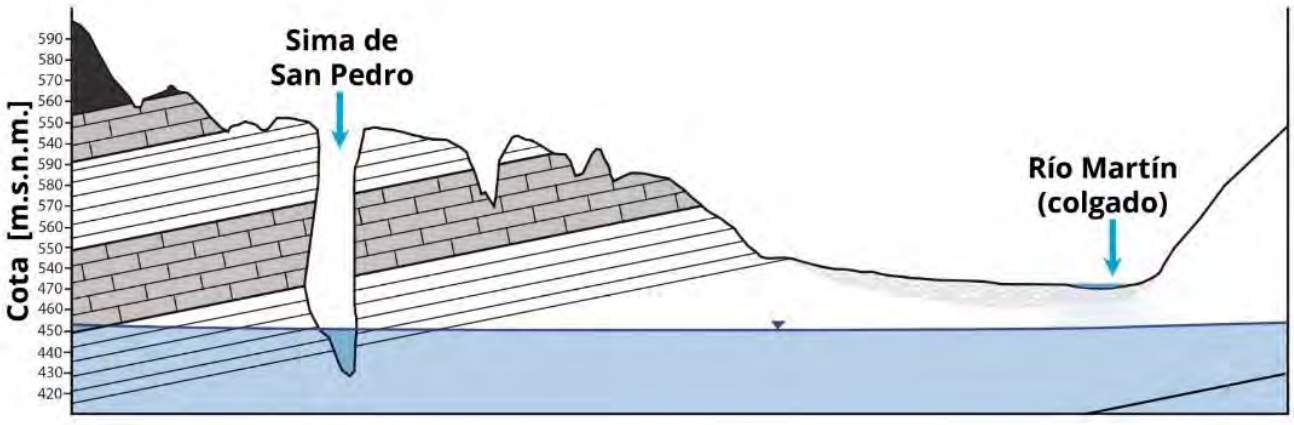


***Figura 16**. Corte hidrogeológico de la sima de San Pedro.*

contrario, puede estar perdiendo agua por infiltración en la red kárstica. Esta disposición hidrogeológica refuerza la hipótesis de que parte del agua que alimenta la laguna en el fondo de la sima proviene de infiltraciones laterales y de aportes del barranco que la alberga.

Este tipo de configuración es característico de zonas donde la erosión fluvial ha incido más rápido que el ajuste del nivel freático, dejando el río en una posición elevada respecto a la línea de saturación de los acuíferos subyacentes.

La Sima de San Pedro no solo destaca por su interés geológico e hidrogeológico, sino también por su importancia ecológica. Sus paredes verticales ofrecen refugio a numerosas especies de aves, entre ellas la chova piquirroja (Pyrrhocorax pyrrhocorax), el vencejo real (Apus melba), la graja (Corvus frugilegus) y el estornino negro (Sturnus unicolor). Además, hasta siete especies de murciélagos encuentran en la sima un hábitat con condiciones microclimáticas estables.

Parada 06: Museo Minero Ariño

Con el cierre de las minas de carbón de SAMCA, un grupo de antiguos mineros y trabajadores decidió preservar la memoria de su oficio. Así nació la Asociación Pozo Corral Negro, cuyos miembros recopilaron herramientas, documentos y maquinaria utilizada en la extracción del carbón para dar forma a una exposición permanente en las antiguas instalaciones del economato.

El Museo Minero de Ariño (**figura 17**) no solo exhibe la historia del carbón en la región, sino que también ofrece una reconstrucción de una galería subterránea, donde los visitantes pueden experimentar de cerca cómo era el trabajo en el interior de la mina.



Figura 17. *Información del Museo Minero de Ariño.*

A diferencia de otros museos, este espacio es gestionado por los propios mineros, quienes comparten sus vivencias en visitas guiadas con cita previa. Su testimonio convierte cada recorrido en una experiencia única, donde la historia y la tradición minera de Ariño cobran vida a través de quienes la vivieron en primera persona.

Parada 07: Manantial de Ariño

El manantial de Baños de Ariño, también denominado Virgen de Arcos, tiene de referencia IPA-281880001(UTM X:702591, Y:4546507), se sitúa en el término municipal de Ariño, al sur de la localidad, y cerca del recientemente construido balneario de Ariño; el agua surge a una cota de 433 msnm, a ambas márgenes del río Martín, pero especialmente dentro de su cauce, es un manantial subacuático. El manantial drena materiales carbonatados del Jurásico Inferior (Lías) y Suprakeuper, constituyendo el ejemplo hidrogeológico más característico del definido como drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro, Sánchez et Al., (1990, 1992) y Coloma López, P. et Al., (1997)

Como puede verse en el corte hidrogeológico de la **figura 18**, y también en el campo, el agua surge en el contacto entre los materiales calizos intensamente karstificados (brechas dolomíticas y dolomías oquerosas o carniolas) con el sustrato impermeable de lutitas y yesos del Triásico Superior (facies Keuper), se trata por tanto de un manantial típico de contacto entre formaciones de distinta permeabilidad.

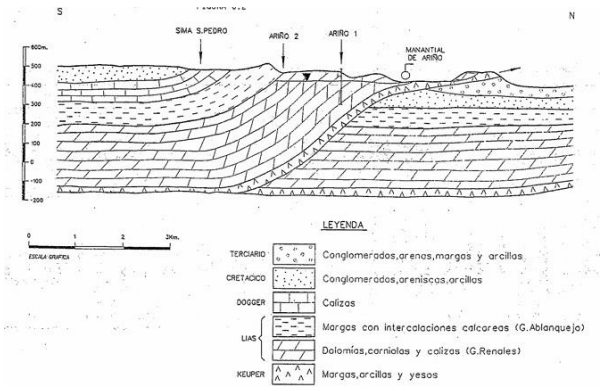


Figura 18. *Corte hidrogeológico del manantial Baños de Ariño.*

El caudal de este manantial se estima en unos 700-800 l/s, pero es muy difícil de ver en el lugar ya que la mayor parte del agua surge dentro del cauce, por ello su medición requiere de la realización de aforos diferenciales, es decir medir el caudal del río agua arriba del afloramiento de los materiales acuíferos (junto a Ariño, por ejemplo) y medir aguas abajo del manantial, ya dentro de los materiales impermeables; la diferencia entre los caudales medidos nos dará la aportación completa de este manantial al río. Un dato para destacar es que el caudal es muy constante, apenas mostrando variaciones entre el invierno y el verano; en periodo muy secos, el río Martín aguas arriba del manantial puede quedar prácticamente sin agua, mientras que la surgencia mantiene su caudal.

Característico de este manantial es su elevada mineralización (sales en disolución), mostrando el agua valores de conductividad del orden de 2500 uS/cm, (la ficha IPA de la CHE incluye casi un centenar de mediciones); su composición química es sulfatada-cálcica, con altos contenidos en magnesio y sodio; al igual que con el caudal, su composición apenas varia con el tiempo, por lo que hidrogeológicamente cumple la normativa para su clasificación como agua minero-medicinal. También es relevante señalar que el agua, surge a una temperatura de 22-24°C (**figura 19**) puede definirse como termal de bajo grado (un agua es termal cuando surge a más de 4°C por encima de la temperatura media del aire en el lugar).



Figura 19. *Medición de conductividad eléctrica y temperatura en el manantial Baños de Ariño (fecha 12-03-2025).*

Todo lo descrito anteriormente sirve para definir a esta surgencia como característica de un flujo regional activo, tal y como se define en los modelos de Hubbert y Toth; este flujo subterráneo se canaliza preferentemente por las formaciones de Rethiense y Lías (Dolomías Tableadas de Imón y Carniolas de Cortes de Tajuña)

constituyendo el principal acuífero regional de la cordillera Ibérica.

Tal y como puede verse en la **figura 20** el drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica viene determinado por condicionante estructurales, pero también hidroestratigráficos, como son los contactos entre formaciones geológicas que presentan un brusco cambio de permeabilidad tal y como sucede entre los materiales carbonatados del Lías y las lutitas y arcillas del Keuper. El efecto barrera que se produce en ese límite, provoca una acumulación del flujo subterráneo en la base del Lías con la consiguiente carstificación profunda, que favorece una mayor circulación del agua. El corte nº 3 correspondería al que explica el manantial de Baños de Ariño, como puede verse se trata del afloramiento del acuífero en relación con una estructura de cabalgamiento que corta el flujo de agua subterránea debido al afloramiento del Keuper. Disposiciones estructurales similares se producen a lo largo del río Martín y en otros cortes paralelos.

Las características que los materiales del Jurásico inferior (Lias) tienen como nivel de drenaje regional de la cordillera Ibérica (zona topográficamente elevada) en la depresión del Ebro (zona situada a meno altura) se conoce en toda la zona del NE de España, y está plasmada en el mapa de isopiezas y direccione de flujo de este acuífero que se muestra en la **figura 21**, enmarcada aparece la zona visitada. Se destaca como el flujo subterráneo hacia el manantial llega desde el río Aguasvivas en la zona del embalse de Moneva, a través de la Sierra de Arcos, siendo esto motivada por la acción de barrera de los materiales del Keuper, y por el profundo encajamiento del río Martín en la zona.

La realización de perforaciones para el abastecimiento de poblaciones, como Muniesa, Lécera, Moyuela, Alacón han permitido corroborar este modelo,

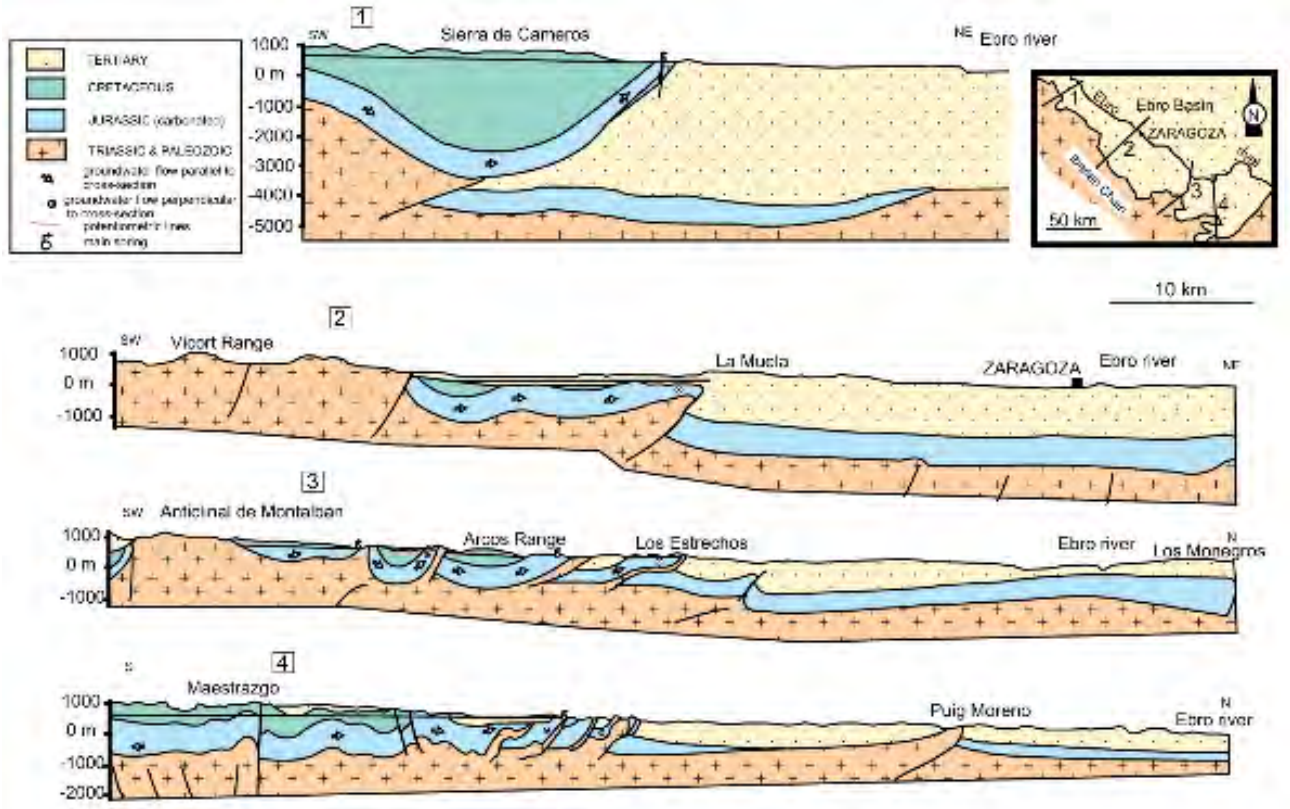


Figura 20. *Cortes hidrogeológicos explicativos del drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica en la depresión Terciaria del Ebro.*

pudiéndose medir el nivel del agua del acuífero regional (Jurásico Inferior), y el nivel del Jurásico medio y superior que claramente está siempre muy por encima del regional, ver **Tabla 4**: por ejemplo, el sondeo de Alacón que solo está abierto en el acuífero regional (Lias) tiene la cota el agua a 443 msnm, mientras que el manantial de Alacón, y el sondeo de abastecimiento tienen la cota del agua a 650-660 msnm

Como puede verse en la tabla, todos los sondeos que captan agua del acuíero regional tienen el nivel del agua similar al del manantial Baños de Ariño, resulta extraordinariamente relevante que sondeos como el del embalse de Moneva, a más de 25 km tenga una diferencia de cota de tan solo 10 m, esto implica un gradiente hidráulica bajísimo (menos del 0,04 %) consecuencias de la muy elevada permeabilidad del acuífero.

En la tabla se acompaña los valores de nivel del agua en sondeo que captan agua de los acuíferos del Jurásico Medio y Superior, destacando que todos ellos están muy por encima del acuífero regional, lo que indica que hidraúlicamente lo recargan en toda su extención; esta recarga viene condiciona por las formaciones poco permeable que les separan (acuítardos).

Los manantiales han sido siempre lugares de actividad humana, especialmente en zonas secas, la surgencia constante de agua especialmente en la época estival que es cuando mayor demanda hay y menos agua se dispone les ha dado un carácter mágico, que todas las religiones han sabido "encauzar ".

Aquí, en la Cordillera Ibérica, asociados a los manantiales se encuentran ermitas, como sucede en Alacón, en Mediana de Aragón, en Tarazona, en Muel en el manantial mostrado

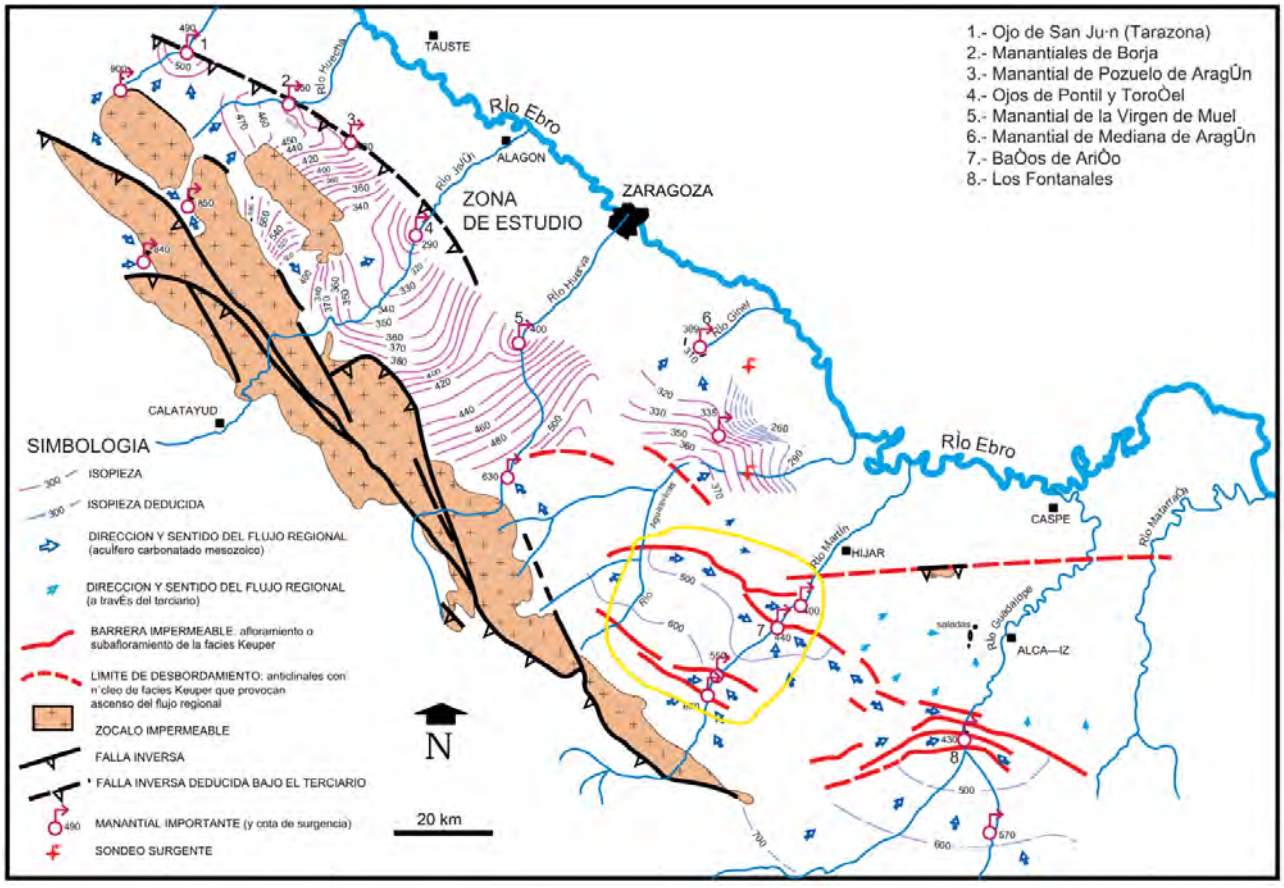


Figura 21. *Mapa hidrogeológico del drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica en la depresión Terciaria del Ebro.*

Tabla 4. *Datos piezométricos en la zona y acuífero a que corresponden.*

número IPA	denominación	cota agua	acuífero
281880001	Manantial de Ariño	435	Acuífero regional - Lias
281870004	Sierra de Arcos 2 (Ariño 2)	440	Acuífero regional - Lias
281870005	Sierra de Arcos 1 (Ariño 1)	439	Acuífero regional - Lias
281820003	Sondeo de Lécera (Corral Manolitas	441	Acuífero regional - Lias
281810007	Sondeo Cola embalse Moneva	443	Acuífero regional - Lias
271840006	Pozo DPZ abto. a Moyuela	441	Acuífero regional - Lias
281860005	Manantial de Alacón	650	Jurásico Superior
281660014	Sondeo abto. a Alacón	660	Jurásico Superior
281860013	Sondeo parada Alacón a Ventas	443	Acuífero regional - Lias
281820007	Sondeo Cuesta Blanca, abto. Lecera	617	Jurásico Superior
281820002	Sondeo SGOP Muniesa-1	557	Jurásico Medio y Superior
281820008	Sondeo Muniesa Cantera	620	Jurásico Superior

es evidente que su lugar de surgencia ha imposibilitado, con un buen criterio de riesgo, la existencia de una ermita, pero cerca existen un impresionante monasterio que sin duda aprovecha sus aguas (monasterio de la Virgen de Arcos), y también existe un antiguo abrigo, posiblemente cueva por donde salía parte del agua del manantial, ver foto realizada con IA sin valor científico, que actualmente está totalmente rellena de sedimentos y que ha sido estudiada por arqueólogos que datan en actividad en ella hace unos siete a ocho mil años en relación con cazadores-recolectores epipaleolíticos, Utrilla, P., Rodanés, J.M. (2002), yacimientos similares se han estudiado en el valle del Matarraña.

Que la surgencia se encuentre en el cauce del río y en su márgenes inundables ha tenido como consecuencia que todas las actuaciones realizadas para su disfrute in situ se hallan visto destruidas por las frecuentes avenidas del río Martín, este hecho tiene también expresión geológica en la falta de depósitos carbonatados (tobas calcáreas) que son muy frecuentes en los ríos de la cordillera Ibérica con manantiales como el visitado, se les denomina ríos o/y manantiales petrificantes, un ejemplo es el río Piedra. En la siguiente parada veremos como este manantial debido a su composición si ha dado lugar a la formación de tobas calcáreas, pero que estas son destruidas por las avenidas y que solo se conservan los restos de estas, pero no su morfología.



Figura 22. *Abrigo cueva junto manantial Baños de Ariño, realizada con IA.*

Parada 08: Las tobas

En el curso medio del río Martín, la interacción entre aguas subterráneas y superficiales ha dado lugar a un sistema sedimentario complejo. Se han analizado tres

perfiles sedimentarios en el entorno del manantial de los Baños de Ariño, con el objetivo de comprender la evolución ambiental y sedimentaria de este sector a lo largo del Holoceno temprano.

Para caracterizar los depósitos, se han llevado a cabo análisis sedimentológicos, granulométricos y mineralógicos, junto con dataciones radiométricas (14C) realizadas en laboratorios especializados. Estos análisis han permitido correlacionar los perfiles, identificar las facies sedimentarias, y comprender los procesos de formación de los depósitos tobáceos.

Los tres perfiles analizados (**figura 23**) se encuentran en distintas ubicaciones a lo largo del río Martín y revelan una secuencia estratigráfica de hasta 17,2 metros de espesor, con una cronología comprendida entre 9.700 y 7.100 años cal BP.

Se han identificado cinco facies sedimentarias principales:

Gravas: Con cantos de caliza y cuarcita, presentan estructuras típicas de ambientes fluviales.

Arenas: Deposiciones de grano fino a grueso, con estructuras de estratificación cruzada.

Lutitas: Capas con restos carbonosos, bioturbación y fósiles de gasterópodos y ostrácodos.

Margas: Con alta presencia de carbonatos, a veces con yeso y fragmentos de toba.

Tobas: Formaciones por precipitación de carbonato cálcico, generadas por el agua del manantial.

1. Perfil Chopera (CH)

Situado aguas arriba, muestra una mayor presencia de cuarzo en sus arenas, lo que

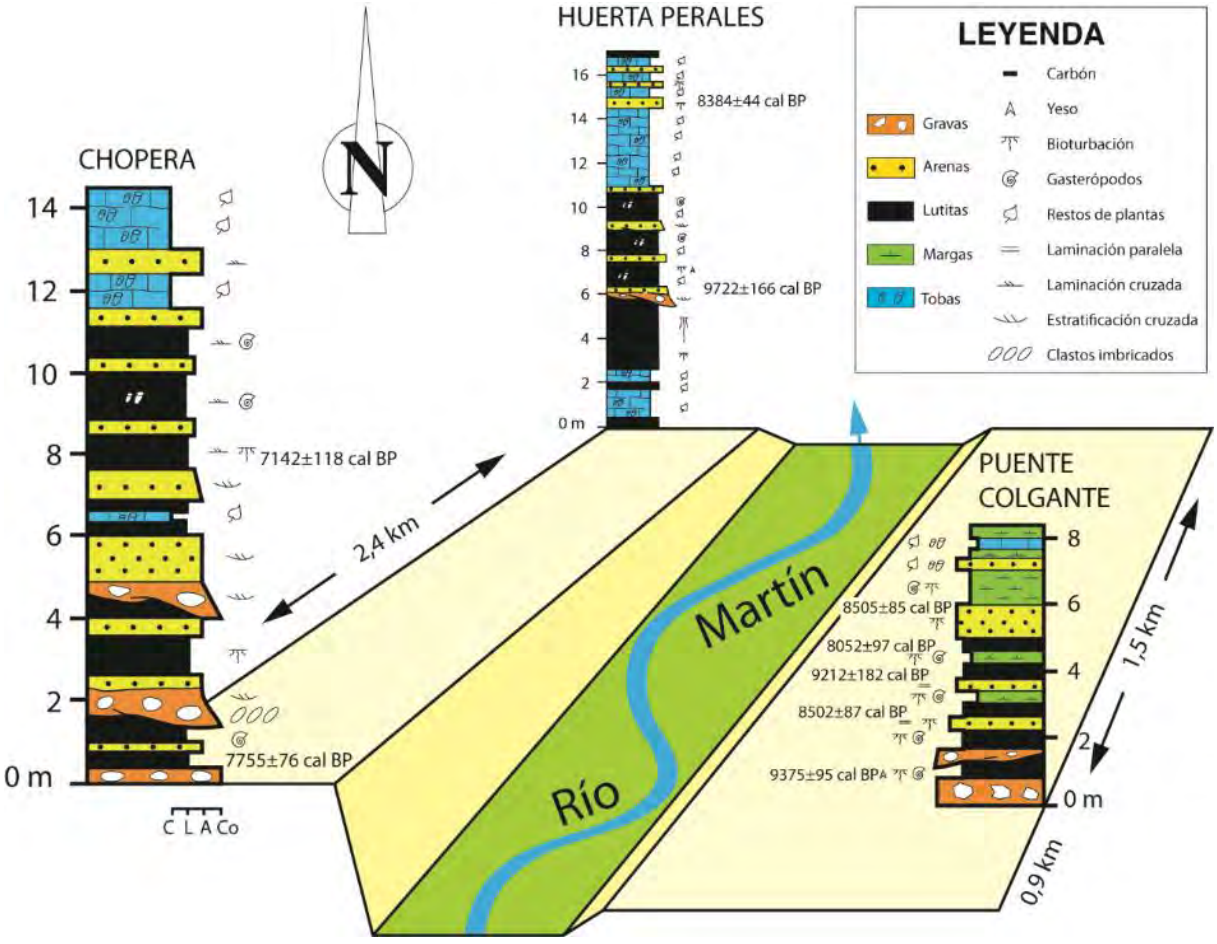


***Figura 23**. Caracterización litológica, edad y esquema de correlación de perfiles.*

indica una mayor influencia de aportes externos al sistema. También contiene tobas con mayor cantidad de siliciclásticos.

2. Perfil Puente Colgante (PC)

Ubicado en la margen derecha del río, presenta margas menos carbonatadas y arenas con menos calcita que en otros perfiles. Se observa un patrón de deposición más relacionado con la dinámica fluvial del río Martín.

3. Perfil Huerta Perales (HP)

Este perfil, situado en la margen izquierda, es el de mayor espesor sedimentario y posee los niveles de toba mejor desarrollados. Presenta fragmentos de toba dispersos en las arenas y una correlación con las dataciones de 14C que lo vinculan a la presencia humana en la zona.

Uno de los descubrimientos más significativos del estudio es la coincidencia temporal entre la formación de los depósitos de toba y la presencia de actividad humana en la zona. En la parte superior de la serie sedimentaria, datada en 7.000 años, se han encontrado cenizas de hogueras prehistóricas, lo que sugiere que estos grupos humanos aprovecharon el manantial de Ariño como fuente de agua y alimento en un periodo más húmedo y estable.

La existencia de barreras de toba en el paisaje habría favorecido la creación de pequeñas piscinas naturales, donde la vida acuática era abundante, proporcionando un entorno próspero para la subsistencia de estos cazadores-recolectores.

El manantial de Ariño: un oasis de vida para los últimos cazadores-recolectores.

Hace 7.000 años, en lo que hoy es un paisaje semiárido, el manantial de Ariño era un vergel (**figura 24**). El agua que brotaba del subsuelo formaba barreras de toba que, con el tiempo, creaban piscinas naturales llenas de peces y otros recursos acuáticos. Estas aguas permanentes fueron un imán para los últimos grupos de cazadores-recolectores, que encontraron aquí un refugio ideal.

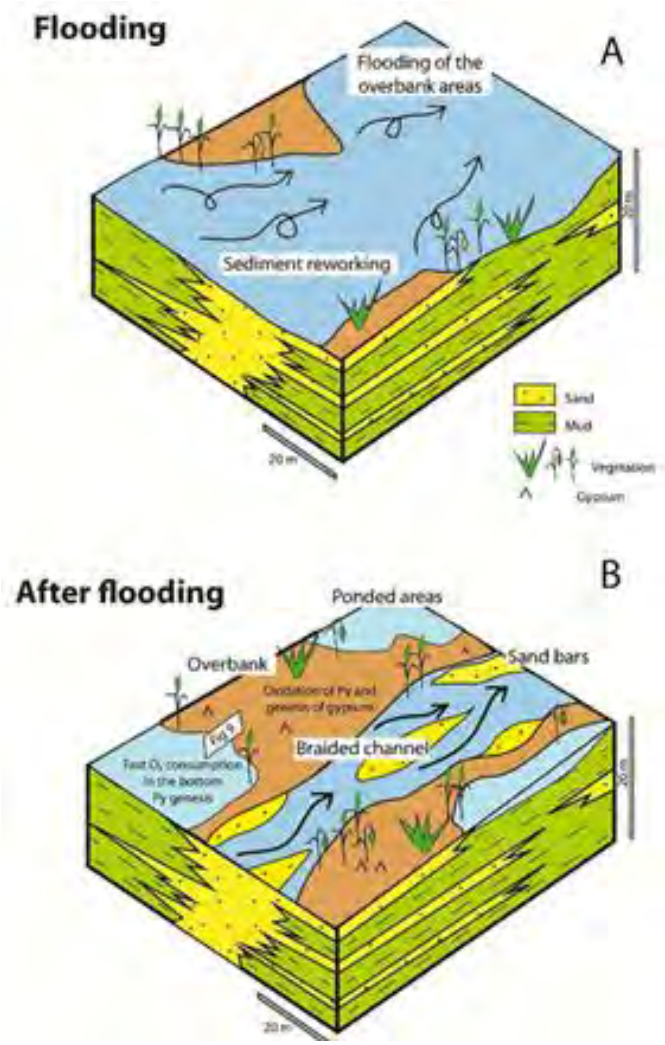


***Figura 24**. Modelos sedimentológicos que muestran las dos situaciones paleoambientales opuestas y las características sedimentarias asociadas, inferidas para el valle del río Martín durante el Holoceno.*

Las dataciones de cenizas de hogueras en la misma cota que las tobas sugieren que estos humanos prehistóricos convivieron con este entorno exuberante, estableciendo campamentos estacionales donde el agua y la comida nunca faltaban. Mientras el río Martín serpenteaba entre sus terrazas, aquellos grupos encendían sus hogueras en las orillas, cocinaban su pesca y disfrutaban de un

periodo de gran bonanza y prosperidad, todo gracias a la generosidad de un manantial que, durante milenios, ha dado vida a esta región.



***Figura 25**. El manantial de Ariño: un oasis de vida para los últimos cazadores-recolectores. Recreación IA.*

AGRADECIMIENTOS

La organización de es este evento divulgativo de hidrogeología ha sido financiado por el proyecto SAGE4CAN PID2020-114218RA-100 a través de la Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA TERUEL 2025

-Alejandro García Gil

-José Ángel Sánchez Navarro

-Antonio Pérez García

-Jesús Mateo Lázaro

-Jon Jimenez Beltrán

BIBLIOGRAFIA

Coloma López, P., Sánchez Navarro, J.A., Martínez Gil, F.J., y Pérez, A. (1997): El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro. Rev. Soc. Geol. España 10(3-4): 2015-218.

Sánchez Navarro, J.A.; San Román, J.; De Miguel, J.L. y Martínez Gil, F.J. (1990): El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresiónb del Ebro: aspectos geológicos. Geogaceta, 8: 115-118

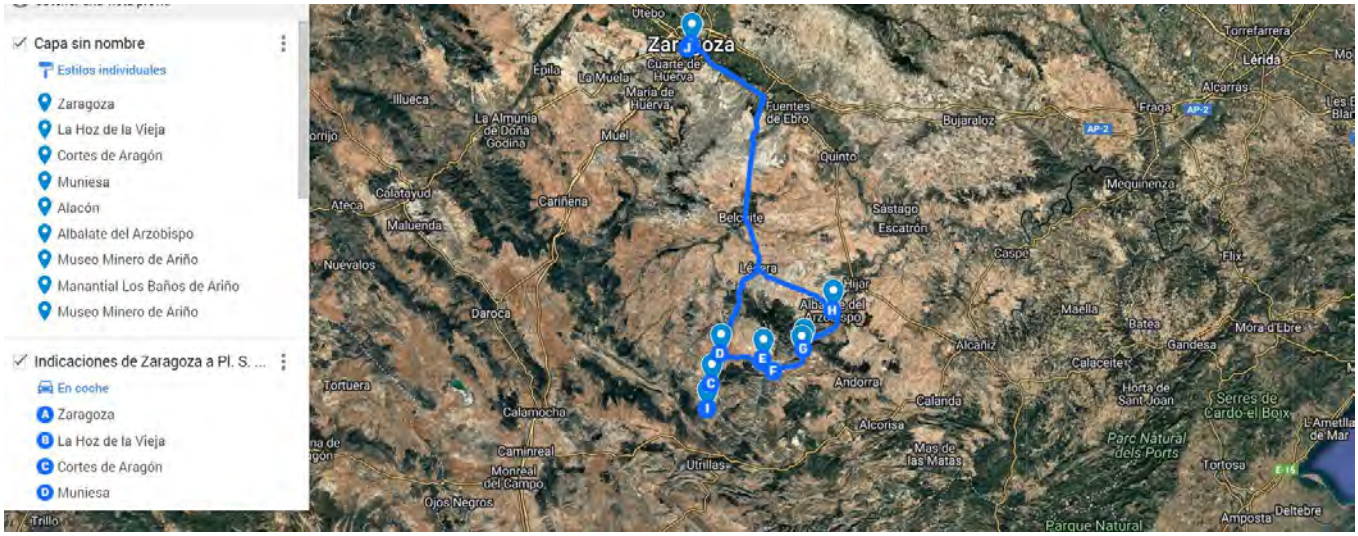
Sánchez Navarro, J.A.; San Román, J.; De Miguel, J.L. y Martínez Gil, F.J. (1992): Isopiezas y direcciones de flujo regional en el acuíferos carbonatado mesozoico del margen Ibérico de la Depresión del Ebro, Geogaceta, 11: 122-124

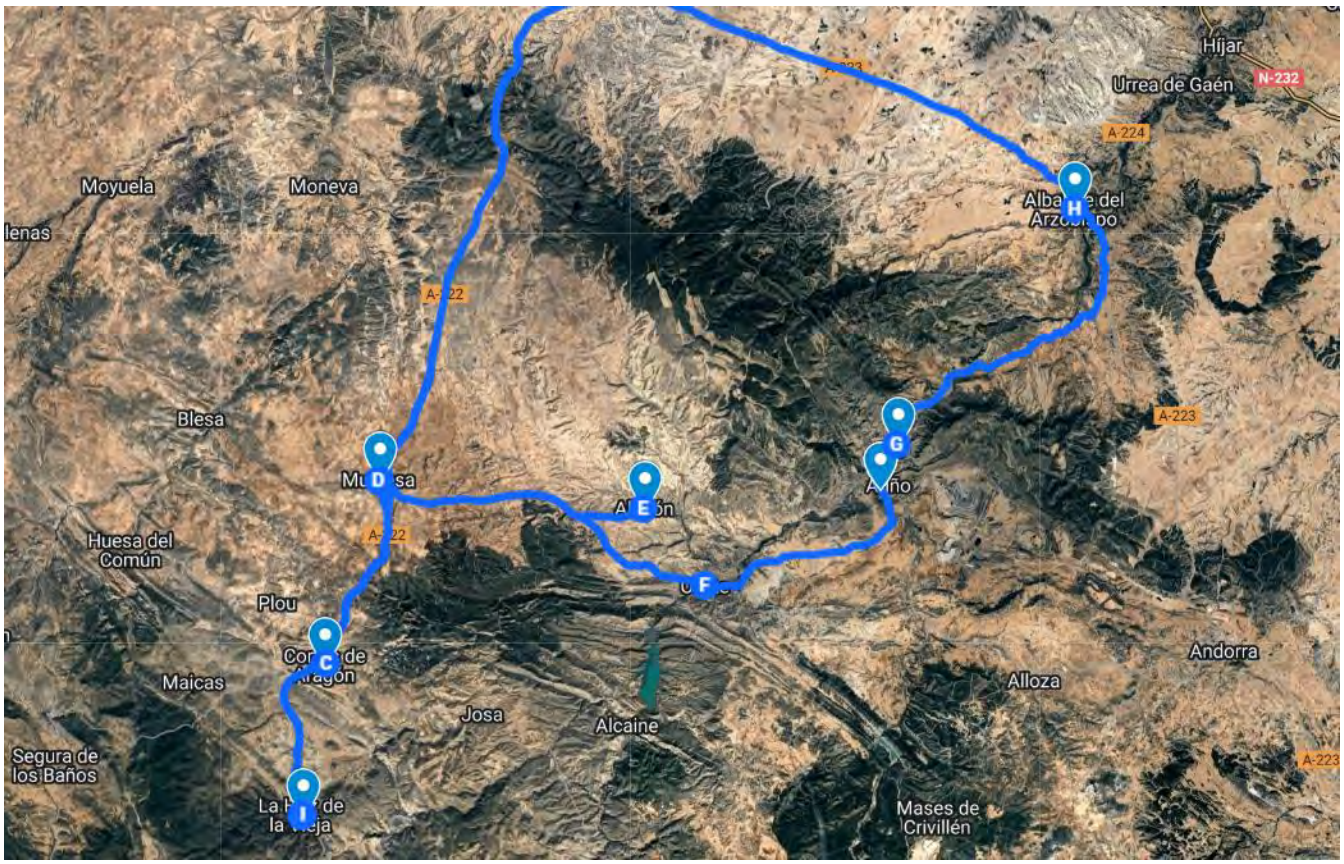
M.V. Lozano, J-L- Peña, M. de Luis, y S. Vicente (2004) In: Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. 243-252 pp. ISBN 94-96214-29-X).

Utrilla, P., Rodanés, J.M. (2002): el yacimiento epipaleolítico de los Baños (Ariño, Teruel). Saldvie II (2001-2002) pp. 307-322

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA TERUEL 2025







Crédito imágen: Grupo de Espeleología Huesos



Valencia


HIDROGEODÍA
2025 VALENCIA
EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA
Plazas limitadas
FECHA: 22 de marzo de 2025
PUNTO DE ENCUENTRO:
Azud de Malany, Bellús
GPS: 38.9499440, -0.4844404)
RECORRIDO A PIE: 3.5 km (IDA)
DIFICULTAD: Baja
HORA DE SALIDA: 10:00
HORA DE LLEGADA (estimada) : 15:00
Se ruega puntualidad.
IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA
Silvino.Castano@cedex.es
+info:
http://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/
Necesario:
- Ropa y calzado de campo
- Comida y agua
LA TRANSFORMACIÓN DE UN RÍO:
EL ALBAIDA EN L'ESTRET DE LES AIGÜES
COLABORA
¿QUIERES COLABORAR?
CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO
https://www.aih-ge.org/apadrina-un-lig-hidrogeologico/
APADRINA UNA ROCA
CSIC
IGME 175
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
DEEPMED
UNIVERSIDAD D SEVILLA 1505
Ajuntament de Bellús
Xàtiva Ajuntament
APX
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR


HIDROGEODÍA
2025 VALENCIA
LA TRANSFORMACIÓN DE UN RÍO:
EL ALBAIDA EN L'ESTRET DE LES AIGÜES
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CEDEX
UNIVERSIDAD D SEVILLA
Ajuntament de Bellús
Xàtiva
APX
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Monitores del Hidrogeodía 2025 de Valencia:

- Castaño Castaño, Silvino
- Celis Pozuelo, Alberto

Colaboradores:

- Castellano Castillo, Juan José
- García Reig, Julio
- Peiró Arnau, Francesc

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.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

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

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

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

EL HIDROGEODÍA 2025 EN VALENCIA

En la provincia de Valencia, el Hidrogeodía 2025 se llevará a cabo en **l'Estret de les Aigües**, pequeño desfiladero originado por el **río Albaida** en varias sierras calcáreas como la Serra Grossa y la Serra de la Creu. En él confluyen los municipios de Bellús, Xàtiva, Benigánim y El Genovés (Fig. 1).

El estrecho es la conexión natural entre dos comarcas valencianas, la Vall d'Albaida y La Costera, y ha sido utilizado como punto de comunicación entre esas zonas durante milenios.

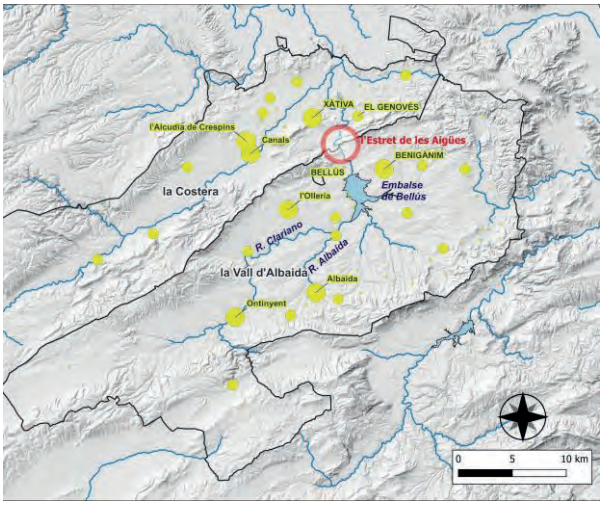


Figura 1. Situación de l'Estret de les Aigües entre las comarcas de la Vall d'Albaida y La Costera.

El paso natural del río Albaida por l'Estret de les Aigües ha originado un paraje de alto valor medioambiental, tanto desde el punto de vista paisajístico (desfiladeros, cuevas y abrigos), como de flora (bosque de ribera alternando con el bosque mediterráneo) y fauna, muy diversa.

A ello hay que sumar su riqueza hídrica, dada por las descargas de aguas subterráneas al río Albaida, que ha propiciado que las aguas de esta zona se hayan utilizado directa o indirectamente desde el Paleolítico hasta la actualidad.

En el Hidrogeodía 2025 de Valencia se pretende comprobar los cambios que se originan en el río Albaida en l'Estret de les Aigües provocados por esas descargas de aguas de acuíferos que lo hacen ganador. Dichos cambios se traducen en un incremento en el caudal del río y en la modificación de la calidad de las aguas, que mejora de forma evidente. Una parte esencial de la actividad presta atención a la ocupación humana de la zona y al aprovechamiento de los recursos hídricos a lo largo del tiempo.

CÓMO LLEGAR

El recorrido se realizará en el sentido del flujo del río Albaida, es decir, de sur a norte. El punto de encuentro para la actividad se halla a las afueras de la localidad de Bellús, junto al río Albaida en su margen izquierda (Coord.: 38.949940, -0.484404), muy cerca del azud del Molí de Malany.

En la figura 2 se muestra un acceso cómodo para vehículos desde Bellús. Desde la rotonda de acceso a esta localidad en la CV-620, en dirección a Xátiva se toma un camino ancho que lleva al aparcamiento de l'Estret de les Aigües. A unos 200 metros se atraviesa el vado del Barranc del Salido y a unos 100 metros más allá se toma a la derecha un camino ancho. Unos 200 metros adelante existe una zona donde es posible aparcar vehículos.

QUÉ VEREMOS

En la actividad se realizará un recorrido a pie por una parte de l'Estret, dónde el río Albaida corta el principal acuífero de la zona y donde aparecen, de forma más evidente, las descargas de aguas subterráneas que lo hacen ganador.



Figura 2. Ortofoto con itinerario de acceso al punto de encuentro desde la localidad de Bellús.

Durante el recorrido, de escasa dificultad (Figs. 3 y 4), además de conocer el contexto hidrogeológico general, se observarán distintos aspectos relacionados con el flujo del agua subterránea, como la aparición de manantiales y sondeos surgentes, y los cambios en la composición química del agua del río, para lo que se pueden utilizar distintos parámetros de medida fácil, como la temperatura y conductividad eléctrica. Aunque se realizarán medidas de este tipo "in situ", se propone a los asistentes realizar un ejercicio de comparación de diferentes parámetros en agua de distinta naturaleza con una serie de datos reales que se aportan.

Como se ha comentado anteriormente, la zona ha presentado ocupación humana de forma intermitente desde la Prehistoria, y sus recursos hídricos son proverbiales y utilizados desde antiguo. Esta ocupación y distintos tipos de aprovechamientos serán visibles a lo largo del recorrido.



Figura 3. Perfil del recorrido por l'Estret de les Aigües.

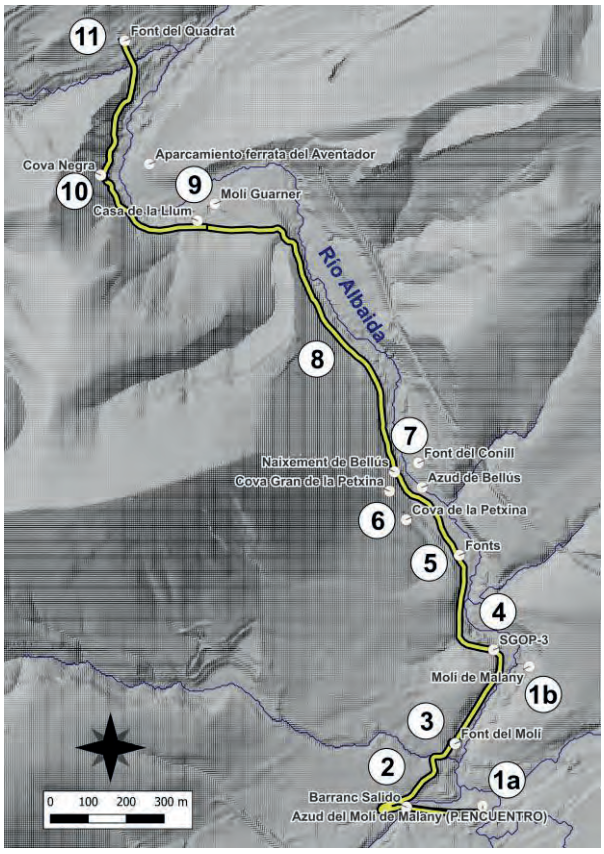


Figura 4. Itinerario de la actividad del Hidrogeodía 2025 Valencia en l'Estret de les Aigües.

Contexto hidrogeológico

L'Estret de les Aigües fue originado por el río Albaida al abrir su paso transversalmente hacia el Júcar a través de un conjunto montañoso dominado por la Serra Grossa (Figura 5). En este sector, los materiales que originan los relieves son predominantemente de naturaleza carbonatada (calizas, calcarenitas, dolomías).

Esta zona se sitúa en el ámbito geológico ibérico del Prebético externo, que está constituido fundamentalmente por materiales de edad mesozoica, mayoritariamente calizas cretácicas, que forman anticlinorios, más o menos uniformes, de dirección SO-NE, con valles sinclinorios principalmente con depósitos de materiales de edad miocena, en general en la llamada facies "tap" (margas blancas con esporádicas intercalaciones de calcarenitas), y cuaternaria.



Figura 5. Macizo carbonatado de la Sierra Grossa en l'Estret de les Aigües desde el Tossal de Benigànim.

Los materiales mesozoicos presentan estructuras originadas por un empuje general de Sur a Norte que provoca, además de los plegamientos de dirección SO-NE, que los flancos Norte de los pliegues estén frecuentemente cabalgantes sobre materiales más jóvenes del Mioceno, mientras los flancos Sur presentan, aunque no siempre, fallas directas. Posteriormente se han originado fallas de dirección N-S. En la figura 6 se muestra un mapa geológico de la zona del itinerario propuesto.

En cuanto a las aguas subterráneas, el estrecho se sitúa en un gran sistema acuífero de más de 700 km^2 que comprende al norte una alineación montañosa que discurre desde las proximidades de Fuente La Higuera (extremo occidental) hasta Gandía, y al sur el valle terciario margoso de la Vall d'Albaida (Fig. 7). Ocupa parte de las comarcas de la Safor, la Vall d'Albaida y la Costera. En esta extensión, los materiales permeables ocupan cerca de 450 km^2.

Los principales acuíferos son de naturaleza carbonatada y corresponden fundamentalmente a materiales de edad cretácica. También constituyen acuíferos de interés local tramos de

calizas y rocas calcodetríticas terciarias, y materiales detríticos cuaternarios. La mayor parte de los terrenos permeables carbonatados constituyen las zonas de relieve más acusado, donde es posible observar formas de paisaje kárstico, como simas, dolinas, cuevas y lapiaces.

En este gran sistema acuífero se han diferenciado hasta 8 acuíferos principales, siendo el más importante el de **Sierra Grossa**. Algunos de estos acuíferos han sido separados en diferentes masas de agua subterránea por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) desde el punto de vista de la gestión hídrica.

L'Estret de les Aigües se sitúa en la **Masa de Agua Subterránea** denominada Sierra Grossa (Fig. 7), de gran interés hidrogeológico, integrada por materiales carbonatados del Cretácico, aunque existen niveles margosos que pueden actuar como acuitardos (zonas que dificultan el flujo subterráneo). A pesar de la existencia de esos materiales menos permeables, de plegamiento y fallas, el comportamiento espacial es relativamente homogéneo y no se aprecian sectores independientes significativos.

El sentido de flujo subterráneo es desde el sudoeste al noreste en el sector occidental de la masa de agua subterránea, de acuerdo con las direcciones predominantes de las estructuras geológicas. Los potenciales hidráulicos disminuyen hacia el río Albaida, donde se producen las principales descargas a través de manantiales, y en el propio lecho del rio. En el sector oriental, el sentido del flujo subterráneo es variable, con potenciales hidráulicos decrecientes hacia los ríos Albaida y Bernisa.

En las revisiones del último Plan Hidrológico del Júcar, a esta masa de agua subterránea se le ha unido otra denominada Vall d'Albaida, muy poco permeable, salvo por algunas formaciones de areniscas calcáreas, y que cubre el 70% de la superficie de la masa de agua subterránea de Sierra Grossa. Su drenaje, aunque con pequeños caudales, tiene lugar principalmente hacia el rio Albaida en el entorno del embalse de Bellús y a través de manantiales también de escasa importancia.

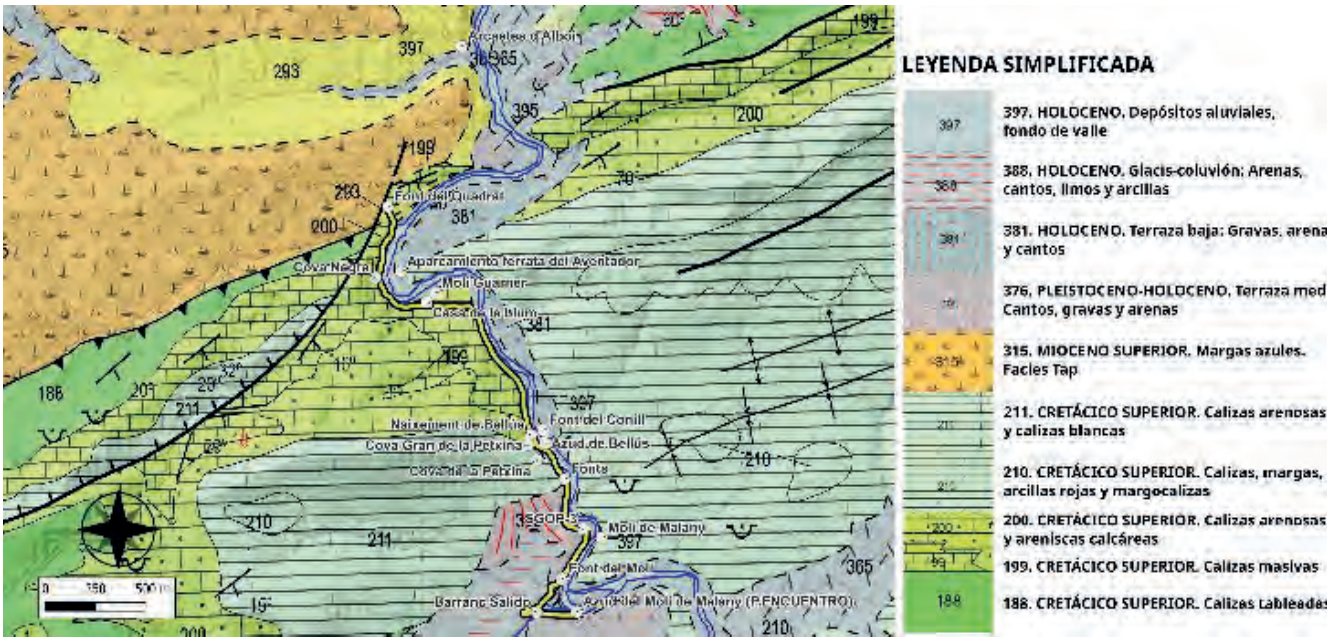
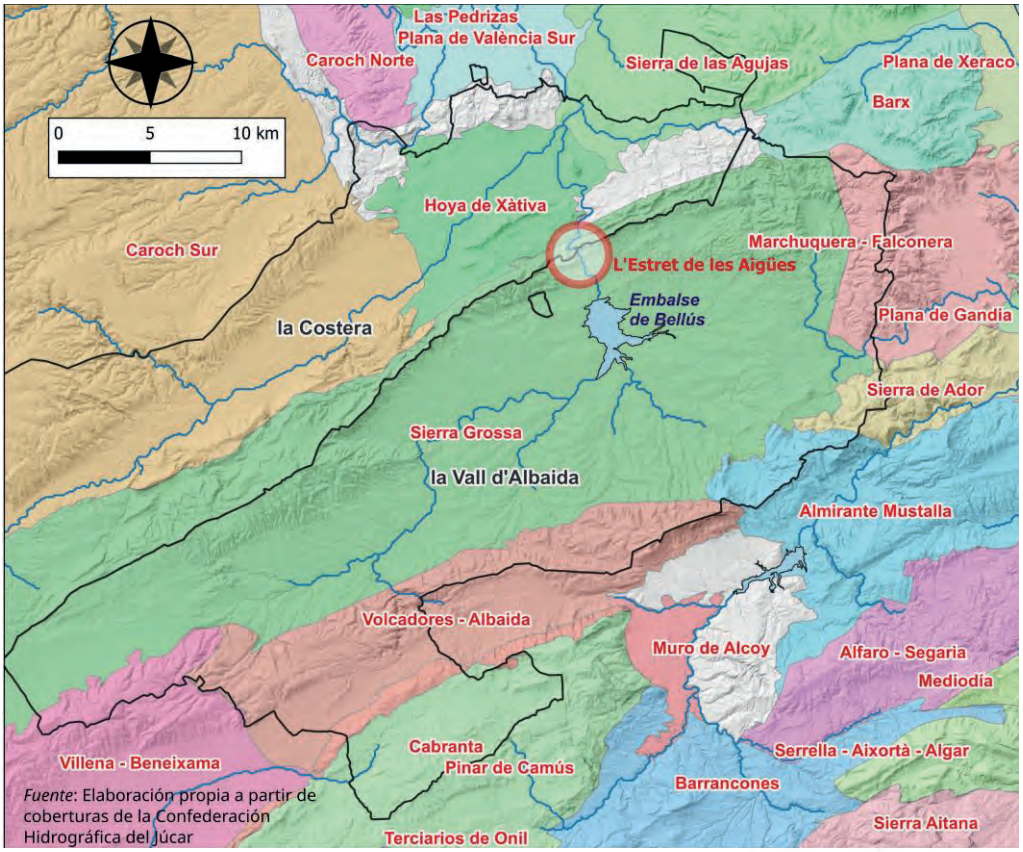


Figura 6. Mapa geológico del entorno de l'Estret de les Aigües. Base cartográfica: GEODE - Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).



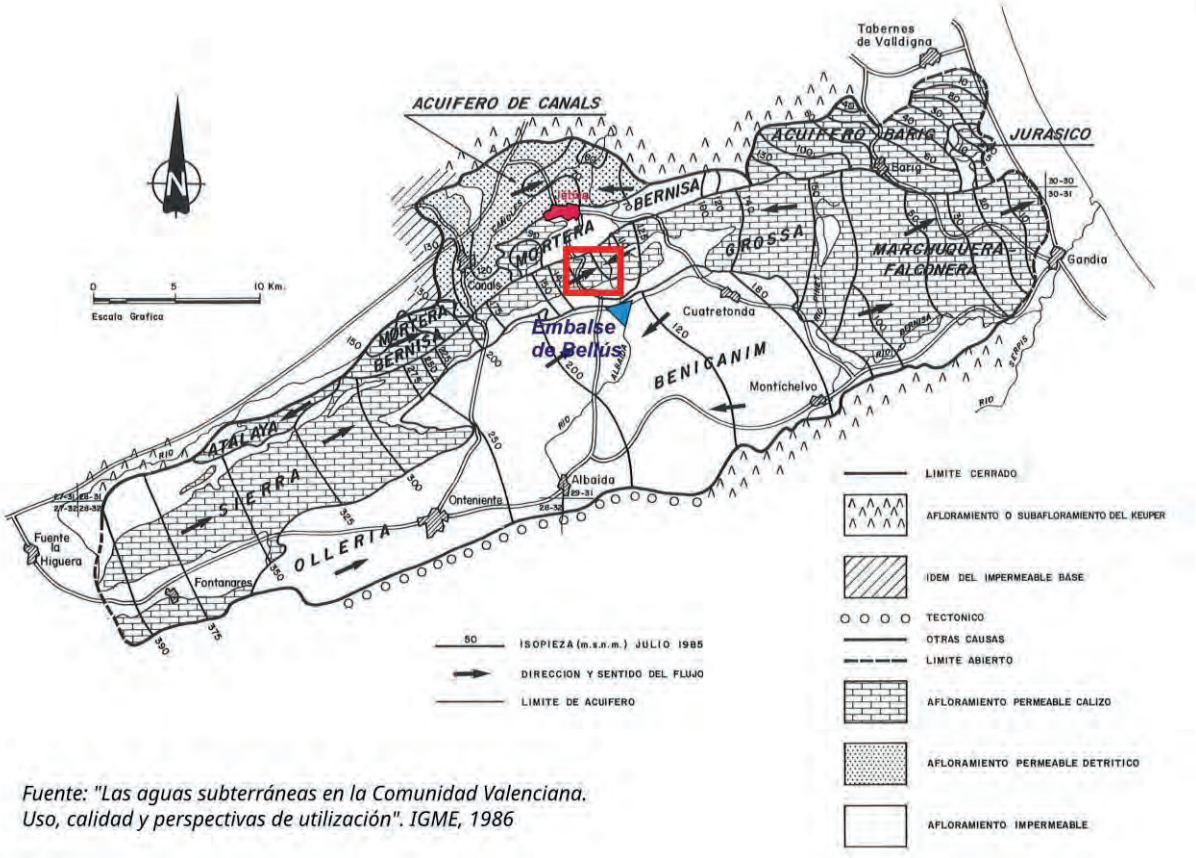


Figura 7. Masas de agua subterránea del sur de la provincia de Valencia en la planificación hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar (arriba), y características hidrogeológicas generales del subsistema acuífero de la Sierra Grossa.

1 (a, b). Azud y Molí de Malany

El punto de encuentro se sitúa muy próximo a la localidad de Bellús, conocida históricamente como "el pueblo de las aguas". El nombre de Bellús es un topónimo de origen incierto y se han planteado diversas hipótesis, algunas de las cuales suponen que es un hidrónimo por su estrecha relación con las aguas. Así, según algunos estudios derivaría de un término árabe que vendría a significar "lugar por donde evacuan las aguas", quizá referido al propio estrecho (Plan General de Ordenación Urbana de Bellús). Según otros, el nombre Bellús habría evolucionado de la palabra latina "Paludes" (humedal, pantano), en el sentido de que el territorio próximo a Bellús, especialmente l'Estret de les Aigües y el tramo fluvial del río, era antiguamente una zona acuática y pantanosa, de difícil drenaje (Soler, 2025). A este concepto podría contribuir el que en la zona se cultivó arroz durante siglos. También es llamativo que más de la tercera parte de los topónimos del término de Bellús están relacionados con el agua.

En cuanto al azud de Malany, formaba parte de una estructura hidráulica significativa de la zona junto con el molino del mismo nombre, el molí de Malany (también molí de Mal Any, Malanya, Malaña o de Borrera, Fig. 8), y el canal que los unía, de unos 800 m de longitud. Según la tradición, su nombre de Malany se debe a que era una instalación a la que nunca le faltaba el agua, incluso en tiempos de sequía, cuando otros molinos de la Vall d'Albaida cesaban su actividad. El azud del molino recogía los sobrantes y aguas no aprovechadas de casi todo el valle, asegurando un buen caudal.

La primera construcción de este sistema parece remontarse al último cuarto del siglo XVI, aunque ha sufrido múltiples modificaciones, debido a las riadas del Albaida (al menos en 1797 y 1864) y también a los cambios de usos que ha tenido a lo largo de su existencia. Su larga historia muestra la adaptación de una instalación industrial a diferentes usos en función de las necesidades sociales.



Figura 8. El molino de Mal Any en enero de 2025. Arriba, vista del molino al comienzo del l'Estret de les Aigües. Abajo, vista próxima del molino desde la margen izquierda del río Albaida

El sistema hidráulico nació como molino harinero y arrocero, aprovechando la energía hidráulica de un salto de 12 m. A principios del siglo XX se transformó en central eléctrica, que abasteció a una docena de poblaciones de la Vall d'Albaida. Posteriormente, hacia 1930 se convirtió en borrera, un taller textil dedicado a procesar la lana, que incluida la instalación de batanes. Para estas últimas funciones, la energía hidráulica se combinó con otros tipos de energía, como gas y vapor. Hacia 1980 el molino quedó en desuso.

Aunque el molino se encuentra en mal estado de conservación, se observa que es de considerables dimensiones, como consecuencia de varias ampliaciones realizadas a lo largo de su historia.

Por su parte, el azud era de argamasa, con dimensiones de 61 m de longitud y 1,4 m de ancho. Fue destruido parcialmente por la Confederación Hidrográfica del Júcar en 2022 para asegurar la continuidad fluvial del río Albaida, dentro de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, manteniéndose los estribos con el fin de preservar un testimonio de la arquitectura hidráulica de la zona.

La dilatada historia y la multitud de usos dados de este dispositivo hidráulico le hacen un ejemplo prototípico de aprovechamiento de la energía del agua en la zona.

Azud y molino se ven separadamente durante el recorrido, el primero al comienzo y el segundo, desde la orilla opuesta, tras pasar el molí de Bellús.

2. Barranc del Salido

El barranc del Salido (o barranc del Salt) es un cauce que discurre paralelo a las estructuras geológicas de la Sierra Grossa, es decir, del sudoeste al noreste, y termina en el Albaida, por su margen izquierda, a la entrada de l'Estret de les Aigües. De forma natural recogía las aguas de los pequeños barrancos de la sierra y de la llanura situada al sur, y de pequeños manantiales, ahora regulados, por lo que habitualmente se encuentra seco, salvo en su parte final, donde el itinerario propuesto corta el trazado del barranco (Fig. 9).

En este sector, los principales acuíferos de Sierra Grossa son cubiertos por materiales mesozoicos y cenozoicos menos permeables en los que se han desarrollado las principales labores agrícolas durante siglos, al igual que sobre pequeños acuíferos locales de edad reciente (cuaternaria).

Del mismo modo, las aguas que aparecen en este punto son una mezcla de aportes de aguas subterráneas de las partes menos productivas del acuífero carbonatado, de los retornos o sobrantes de riego de aguas del embalse de Bellús y, quizá, de pérdidas del núcleo urbano de Bellús. Los iones disueltos, la molécula del agua y la edad aparente del agua sugieren ese hecho.



Figura 9. Aparición de agua en el barranc del Salido, muy próximo a su desembocadura en el Albaida.

3. Font del Molí y Molí de Bellús

Junto a la desembocadura del Barranc del Salido se encuentra un conjunto de edificaciones de una antigua granja de cerdos, una de las cuales ha aprovechado los restos de un antiguo molino, conocido como Molí de Bellús o de Saoret. A corta distancia, se encuentra un pequeño estanque rellenado por el agua de un manantial, la Font del Molí (Figs. 10 y 11).

El molino era de menor entidad que el de Malany al disponer de menor volumen de agua y peores condiciones hidráulicas. Recibía el agua sobrante de una acequia de riego, del manantial del Molí y de otros del barranc del Salido. Consta que, a mediados del siglo XIX, solo operaba tres meses al año.

Hasta el siglo XIX fue propiedad de los señores de Bellús, y su historia parece remontarse hasta el siglo XIV, dejando de funcionar en 1946. Se utilizó fundamentalmente para moler trigo y blanquear arroz, y moler puntualmente maíz,

aunque en sus orígenes también se pudo utilizar como batán y lavadero de tejidos.



Figura 10. Font del Molí de Bellus en primer término y, al fondo, restos de diferentes sucesiones de edificios de molinos y granja de cerdos.



Figura 11. Vista del estanque de la Font del Molí junto al río Albaida.

Como el cercano Molí de Malany, fue destruido por riadas del Albaida, al menos en los siglos XVIII y XIX, y reconstruido tras ellas. Hace unas décadas fue transformado en granja de cerdos, aunque el edificio antiguo se conserva parcialmente.

La fuente situada junto al molino se puede considerar el primer manantial de entidad del estrecho, y ha tenido un papel fundamental en la vida cotidiana de Bellús, al utilizarse para el molino, abastecimiento tradicional, abrevadero y lavadero.

Más recientemente, fue el primer suministro de agua potable al núcleo urbano de Bellús. Así, en la década de 1950, se ejecutó un proyecto para bombear agua desde el nacimiento de la Font del Molí hasta una fuente en el pueblo. El proyecto se amplió posteriormente para llevar agua potable a las casas particulares entre 1958 y 1961.

Sin embargo, en esta zona las aguas sufrieron contaminación con origen en las porquerizas cercanas, por lo que el suministro al núcleo urbano de Bellús se cambió a un sondeo situado a unos 200 m al sudoeste, en el paraje del Paller. Según la información disponible en la base de Puntos de Agua del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), este sondeo se realizó en 1986, alcanzando los 200 m de profundidad y cortando diferentes niveles de calizas y conglomerados cretácicos. (https://info.igme.es/BDAguasReport/Rpt/PointInfo.aspx?id=2931-1-0038#agli).

Dejando la Font de Molí y siguiendo la senda paralela al río Albaida hacia aguas abajo, aparecen multitud de salidas de aguas subterráneas desde los materiales calcáreos karstificados por los que se transcurre. Estas salidas se producen en forma de puntual (manantiales, Fig. 12) o dispersa. Existen también algunos manantiales que descargan en la margen derecha del Albaida.



Figura 12. Uno de los múltiples pequeños manantiales que aparecen junto al río Albaida aguas abajo de la Font del Molí de Bellús.

4. Sondeo del SGOP (SGOP-3)

Los manantiales son prácticamente la única manifestación accesible de las aguas subterráneas. La posibilidad de observación directa también se puede realizar en determinados sectores de paisajes kársticos, aunque estos se originan solo en los casos de la existencia de materiales solubles.

Pero la mayor parte de la información hidrogeológica se realiza de modo indirecto, bien utilizando técnicas geofísicas, bien con accesos puntuales mediante pozos o sondeos. Estos pueden ser para aprovechamiento del recurso agua o bien para investigación, en cuyo caso se suelen usar sondeos de menor diámetro especialmente preparados para medidas de parámetros físicos o químicos, a veces llamados piezómetros.

En el sector cercano a l'Estret de les Aigües se realizaron diversos estudios que incluían perforación de sondeos, por parte de servicios públicos con el fin de mejorar el conocimiento y aprovechar las aguas subterráneas de la zona. Fueron fundamentalmente el Instituto Nacional de Colonización (INC)/Instituto para la Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), y el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP). Este último organismo, junto con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) fueron grandes impulsores del conocimiento de los acuíferos y los recursos hídricos subterráneos durante varias décadas.

El Servicio Geológico realizó, al menos, cuatro sondeos en la margen izquierda del río Albaida en el entorno de Bellús durante la construcción de la presa de ese nombre en 1995. Tres de ellos tienen más de 100 m de profundidad y otro es más corto. Con estos sondeos se pretendía conocer mejor la geología y la hidrogeología del llano de Bellús entre el embalse y la Serra Grossa.

Al sondeo más alejado de la presa se le dio el número 3 y es el que se visitará durante la actividad del Hidrogeodía (Fig. 13). Tiene una profundidad de 273 m y corta diversos materiales del Cretácico superior, fundamentalmente rocas carbonatadas.



Figura 13. Sondeo surgente junto al río Albaida perforado por el antiguo Servicio Geológico de Obras Públicas en 1995 y reacondicionado por la Confederación Hidrográfica del Júcar en 2019.

En casi toda su longitud posee una tubería metálica preparada para permitir el paso del agua subterránea. Este hecho limita su uso para determinadas investigaciones hidrogeológicas específicas porque puede mezclar aguas de distintas características que fluyan por distintos niveles, pero ofrece una información general del agua subterránea en ese punto.

Un ejemplo de esto último es el hecho de que el agua brota por la boca del sondeo sin necesidad de bomba. Se trata de un sondeo surgente, lo que indica que, en el conjunto del sondeo, la presión del agua es mayor que la atmosférica. La presión es una expresión de la energía del agua que circula por el acuífero y, en este caso, es mayor en la parte baja del sondeo que en la parte alta, por lo que, si fuese posible, el agua fluiría preferentemente con una componente vertical ascendente, lo que ocurre en los lugares de descarga de aguas subterráneas, como es el caso del río Albaida en esta zona. Este sondeo está acondicionado para evitar la salida continua

de agua por su boca, y tiene un manómetro que mide la presión del agua que suele medir unos 0,2 bar, lo que indica que el agua podría alcanzar cerca de 2 m de altura desde la boca del sondeo si no existiesen impedimentos ni pérdidas de energía.

Entre el embalse de Bellús y la Serra Grossa existen varios sondeos surgentes. Algunos de ellos lo son permanentemente, mientras que otros lo son cuando el embalse de Bellús alcanza niveles altos.

Por lo que se refiere a la calidad del agua en el sondeo SGOP-3, es buena, con baja concentración de iones disueltos, siendo uno de los puntos con la conductividad eléctrica más baja en el entorno.

Por otro lado, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha realizado para la CHJ varios estudios sobre las características químicas e isotópicas del agua en la zona, incluyendo este sondeo. En ellos, los datos correspondientes al decaimiento del isótopo radiactivo del agua, denominado tritio, indican que el agua que vierte el sondeo fue recargada mayoritariamente hace más de medio siglo, con anterioridad al pico de alta actividad radiactiva en la lluvia provocado por las pruebas termonucleares atmosféricas de la Guerra Fría. Ese bajo valor de la actividad de tritio es consecuencia del largo recorrido del agua subterránea que corta el sondeo, siendo uno de los puntos con valor más bajo de la zona y también con menor oscilación de ese valor por la escasa influencia de recargas más recientes.

5 y 6. Zona Recreativa del azud de Bellús y de la Cova de la Petxina

A unos 300 m aguas abajo del sondeo del Servicio Geológico, en la zona próxima al aparcamiento accesible desde Bellús, se encuentra una zona recreativa donde aparece, en una superficie muy reducida, un resumen de los principales aspectos de la actividad. Por una parte, se encuentran aquellos relacionados puramente con la hidrogeología, como es la presencia de varios manantiales, y por otra, el aprovechamiento humano de recursos relacionados con el agua en diferentes épocas, desde la Prehistoria (cuevas de la Petxina y Gran de la Petxina), hasta tiempos recientes (azud de Bellús-Guarner-Fábrica de la Luz), pasando por algunos utilizados ininterrumpidamente desde la Edad Media (abastecimiento a la ciudad de Xàtiva). Por su importancia en el funcionamiento de las aguas subterráneas de la zona y su uso, los elementos del abastecimiento de Xàtiva (Naixement de Bellús y canal de Bellús) se describirán en apartados propios posteriormente.

Los manantiales que se encuentran en la zona son una continuación de los vistos desde el Molí de Bellús, aunque tienen mayor caudal y sus características químicas presentan ligeras diferencias. Surgen en el contacto de las rocas carbonatadas con el aluvial del río, y alguno está acondicionado para facilitar la salida del agua hacia el Albaida. El caudal que presentan es mucho más reducido que el del Naixement de Bellús, pero las características del agua, que se verán más adelante, son muy similares en cuanto a edad y composición química. Puede que las aguas de estos manantiales menores presenten menos variación temporal, quizá debido que la influencia de recargas recientes sea menor.

En alguno de estos manantiales se observan pequeños arrastres de sólidos por desgasificación y salidas puntuales de agua a mayor presión (Fig. 14).

Por otro lado, en las paredes de la margen izquierda del estrecho, frecuentadas por escaladores, y sobre algunos de los manantiales, se encuentran dos oquedades muy próximas originadas por erosión y modificación química del cantil de calizas. Se les conoce como Cova de la Petxina (la situada más aguas arriba) y Cova Gran

de la Petxina, aunque en algunos de los documentos consultados estas denominaciones son equívocas y pueden conducir a confusiones.



Figura 14. Uno de los manantiales próximos a la zona recreativa del azud de Bellús, en el que se aprecia desgasificación y salida de sólidos.

La Cova de la Petxina se suele asociar a la Cova Negra porque también sirvió de refugio a homínidos neandertales. Se ha encontrado material lítico y restos de grandes herbívoros, que datan al yacimiento como Paleolítico medio, entre 125000 y 30000 años a.C. Hacia 1930, cuando se comenzó a estudiar, ya se comentó que el yacimiento era limitado y que parte de los materiales se encontraban en campos de cultivo cercanos, quizá por haberse utilizado como enmienda de suelos.

A unos 75 m al norte, se encuentra un abrigo mayor, la Cova Gran de la Petxina, actualmente vallada para su protección (Fig. 15). En ella se encontraron pinturas rupestres, aunque su uso como redil, pintadas y grafitis, la existencia de vías de escalada, así como la acción natural de creación de concreciones calcáreas deterioraron esta manifestación artística prehistórica. En sus paredes se han definido 4 paneles de pinturas, aunque solo se han podido estudiar dos de ellos, en los que parece existir la coexistencia en un mismo yacimiento de pinturas de tipo levantino y esquemático, de los últimos siglos del V milenio a.C. Como parte del conjunto del arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica es un bien cultural perteneciente al Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO.



Figura 15. *Izquierda*: Vista exterior de la Cova Gran de la Petxina. *Derecha:* Figura humana de tipo esquemático en las. pinturas rupestres de uno de los paneles encontrados en la Cova Gran de la Petxina (Hernández Pérez, et al. (1986)).

Justo debajo de la Cova Gran de la Petxina, en el río Albaida se encuentra una infraestructura hidráulica que lo atraviesa. Se trata de un azud que desviaba agua del río, por su margen izquierda, hacia un canal que suministraba agua primero al Molí de Guarner y después a una central hidroeléctrica (Casa de la Llum), situados unos 1200 m aguas abajo. Este azud o assut es conocido como azud de Bellús, del Molí Guarner o de la Fábrica de la Luz (Fig. 16).

7. Naixement de Bellús

A menos de 100 metros aguas abajo del Azud de Bellús se encuentra el manantial más caudaloso y conocido de l'Estret de les Agües, el Naixement de Bellús, aunque también se han encontrado en la literatura las denominaciones de Font o Brollador de Bellús. De él parte, desde hace siglos, el abastecimiento urbano a la ciudad de

Xàtiva. En la actualidad, sus aguas suponen aproximadamente el 90% del suministro de agua a la ciudad, y una pequeña parte se dedica a riegos.

arranque del Canal de Bellús hacia Xátiva. Existe también un partidor que permite controlar las salidas del manantial hacia el río Albaida.



Figura 16. Azud de Bellús-A la derecha, arranque del canal para llevar el agua al Molí Guarner y a la Casa de la Llum.

El manantial aparece en una pequeña cueva situada en niveles de calizas arenosas y areniscas calcáreas de diferentes espesores y durezas (Fig. 17) del Cretácico superior, que son anteriores a la formación de calizas y calizas dolomíticas que forman las grandes paredes donde se sitúan los refugios de la Cova de la Petxina y la Cova Gran de la Petxina.

La captación del manantial consta de un canal de cemento al final de la cueva, donde se pueden realizar muestreos y medidas (Fig. 18), y el



Figura 17. Vista general desde la Font del Conill de la localización de la instalación de la captación de agua para abastecimiento de Xátiva en cuyo interior se sitúa el Naixement de Bellús.



Figura 18. Naixement de Bellús en la captación de aguas para abastecimiento de Xàtiva

El caudal que surge del Naixement ha sido medido en diferentes períodos y circunstancias, principalmente por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Desde 2007 se puede

estimar que el caudal medio del manantial es de algo más de 280 l/s, aunque oscila, entre 200 y 375 l/s en función de las precipitaciones. Existen registros de nivel del agua que indican caudales enormes de agua bajo circunstancias excepcionales, como ocurrió con la borrasca Gloria en enero de 2020, lo que pudo originar que el caudal medio de este año fuera de algo más de 330 l/s.

Se ha estimado que el caudal medio aportado por el manantial de Bellús a la ciudad de Xàtiva fue de unos 260 l/s en el pasado. Tras diferentes reparaciones realizadas en las décadas de 1990 y 2000 el caudal de abastecimiento se acerca a los 225 l/s de media.

El agua del manantial de Bellús tiene una excelente calidad, con bajo contenido en nitratos, nitritos y plaguicidas y no se somete a ningún tratamiento excepto la cloración obligatoria. En este punto, el estudio del decaimiento del isótopo radiactivo tritio, indica, como ocurre en el sondeo SGOP-3, que el agua del manantial fue recargada mayoritariamente antes del pico radiactivo en las precipitaciones de mediados de la década de 1960 originado por las pruebas termonucleares, indicando el largo recorrido del agua subterránea que aparece en el Naixement. Se encuentran también algunas oscilaciones en los valores que indican una cierta influencia de aguas de recarga más reciente.

Sin embargo, registros de parámetros como la conductividad eléctrica y la temperatura del agua en el propio manantial han mostrado que, bajo ciertas condiciones excepcionales de fuertes precipitaciones, como en el caso de la mencionada borrasca Gloria, el agua muestra temporalmente influencia de aguas de recarga rápida y flujo corto, por lo que existe una vulnerabilidad potencial a la contaminación del manantial.

Enfrente del Naixement de Bellús, en la margen derecha del Albaida, se sitúa la Font del Conill, de un caudal mucho menor. Este manantial es uno más de los que vierten su agua por esa margen al Albaida.

8. Canal de Bellús

Desde el Naixement de Bellús, el itinerario transcurre junto a la obra hidráulica más significativa de la zona en cuanto al aprovechamiento de las aguas subterráneas, el canal histórico de Bellús a Xàtiva, que contribuyó a que esta localidad sea conocida como "la ciudad de las mil fuentes". Este antiguo canal fue declarado Bien de Interés Cultural (BIC) en 2005 (Decreto 95/2005, de 20 de mayo, BOE núm 161 de 7 de julio de 2005).

Como se ha comentado, el canal antiguo parte del Naixement de Bellús y termina en la Fuente de los 25 Chorros (Fig. 19), que le servía y sirve de rebosadero, junto a la antigua puerta de Concentaina de Xàtiva, con un recorrido de algo más de 7 km.



Figura 19. Los 25 Chorros de la fuente que sirve de rebosadero a las aguas que llegan a Xàtiva por el canal de Bellús.

Esta obra data, según algunos autores, del siglo XI y, en la mayor parte de su recorrido, se trata en realidad de una tubería formada por una sucesión de tubos de cerámica de 84 cm de diámetro encajados. La obra se reforzó en el exterior con argamasa. Contaba también con respiraderos que facilitaban la entrada para

limpiar y reparar las tuberías, y también para evitar que la conducción entrara en carga (Fig. 20).

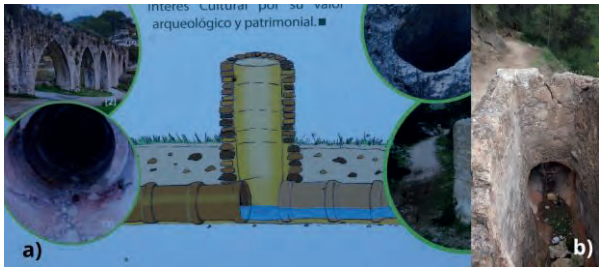


Figura 20. Antiguo Canal de Bellús a Xàtiva. b) Sistema constructivo general. b) Vista actual.

Los accidentes topográficos encontrados a lo largo del trazado del canal (barranc de la Casa del Quadrat, barranc del Pont Sec, barranc de Angeliu o barranc de Sant Antoni) se salvan mediante arcadas. Las otras dificultades orográficas son salvadas mediante excavaciones en el terreno y resueltas con bóvedas de ladrillo tabicadas. Las arcadas más conocidas son las del barranc del Pont Sec o Arcaetes d'Alboi, una sucesión de nueve arcos apuntados con dimensiones desiguales, de época gótica, realizados con sillares y mampuesto con argamasa; su longitud total es de unos cien metros y la altura de unos veinte metros sobre el punto más bajo (Fig. 21). Las Arcaetes d'Alboi no se verán durante la actividad, situándose a unos 1200 m al norte del final del recorrido propuesto (Fig. 6).

Al llegar a Xátiva, el agua se dividía en varios sistemas de distribución para su uso en el abastecimiento de domicilios con derecho, numerosas fuentes públicas y privadas en las zonas de la ciudad donde la cota del canal lo permitía, y también para parte de la huerta, alimentación de una balsa y un molino arrocero. Los sobrantes se empleaban para riego. En la actualidad solo una pequeña parte del agua del canal y los sobrantes de la Fuente de los 25 Chorros se utilizan para regadío.



Figura 21. Las arcadas del Barranc del Pont Sec o Arcaetes d'Alboi.

La antigua conducción de agua desde el manantial de Bellús sufrió numerosas reparaciones a lo largo de su historia, y estuvo en uso hasta la década de 1940, cuando fue reemplazada por un nuevo canal, que comparte una pequeña parte con el canal original, ya en las inmediaciones de la Fuente de los 25 Chorros. En este punto se sitúan bombas de impulsión a varios depósitos para poder abastecer a todas las cotas de la ciudad de Xàtiva. La nueva conducción, también modificada varias veces por mantenimiento, tiene una longitud de unos 6400 m. Se puede seguir durante una parte del recorrido de la actividad a la izquierda de la senda.

9. Molí Guarner y Casa de la Llum

Siguiendo hacia el norte el camino del estrecho por la margen izquierda del Albaida se pueden observar restos de algunos azudes en el río, el canal procedente del azud de Bellús y los trazados del canal de Bellús y del nuevo abastecimiento a Xátiva, y también uno de los símbolos de l'Estret de las Aigües, la Peña del Aventador, esta en la margen derecha.

A poco de atravesar el Barranc de la Creu, antes de alcanzar el Molí Guarner, se encuentra la gradería de lo que parece ser una cruz de

término que delimitaba los territorios del realengo de Xàtiva y del señorío de Bellús (Fig. 22). Aunque apenas se conservan algunos restos de traza moderna, parece que el origen de la cruz original estaría en la Baja Edad Media, como otras que existían en la zona. Aparece referida como "Creu dels Armaus" (Molochí, 2008) y "Creu dels Dalmaus" (Soler, 2025). Esta cruz servía también como hito en el antiguo camino real de Valencia a Alicante en el tramo Xàtiva-Bellús.



Figura 22. Gradería de la Creu dels Armaus o dels Dalmaus, junto a la zona recreativa del Molí Guarner-Casa de la Llum.

Al sobrepasar el resto de la cuz, la senda se divide en dos. Una de ellas se dirige hacia la derecha, hacia el río Albaida y Alboi. En esta se encuentran dos edificaciones anexas, el molí Guarner y la Casa de la Llum (Fig. 23). Ambas fueron industrias alimentadas por el agua del Albaida procedente del azud de Bellús a través de un canal paralelo al río que, en esta zona, se transforma en túnel.

El edificio más antiguo es el molí Guarner que fue primero fábrica de papel blanco, al menos a finales del siglo XVIII y principios del XIX, molino harinero y arrocero, y fábrica de papel de fumar en la última mitad del siglo XIX. Varias crecidas del río Albaida afectaron considerablemente al edificio y a su fuente de alimentación condicionando la rentabilidad y duración de las actividades que allí se asentaron.



Figura 23. Edificios restaurados del molí Guarner y de la Casa de la Llum junto al puente que atraviesa el río Albaida. Al fondo, la Peña del Aventador.

La Casa de la Llum fue construida en el primer tercio del siglo XX. Funcionaba como una pequeña central hidroeléctrica para alimentar una fábrica (Fábrica de Mompó) en Xàtiva. Aprovechó los conductos de agua ya existentes del molí Guarner para transportar el agua. Esta llegaba a la casa a través del canal y se reducía en un paso más estrecho para impulsar las turbinas. La central funcionó hasta mediados del siglo XX y dejó de utilizarse en la década de 1960. Antes de su abandono total en la década de 1970, se utilizó como albergue para ancianos.

Los edificios del Molí Guarner y la Casa de la Llum fueron restaurados en 2008 para su uso como un albergue y centro de interpretación, cerrados a la fecha de este Hidrogeodía.

A unos 50 m del molí Guarner se encuentra un puente que cruza el río Albaida y lleva al aparcamiento de la vía ferrata del Aventador y al núcleo de Alboi (Fig. 24). En este puente se pueden observar visualmente las diferencias de las aguas del río con las observadas al comienzo de la actividad. También se pueden comparar datos de parámetros físco-químicos tomados en diferentes puntos aguas arriba del río y de diferentes manifestaciones de aguas subterráneas y se comprobará un cambio evidente en los

valores. En general, la conductividad eléctrica del río se reducirá de acuerdo por la progresiva influencia de las aguas subterráneas descargadas, que suelen tener valores menores, consecuencia de su menor contenido en elementos disueltos. Esto mismo pasará con diferentes iones disueltos y con los datos isotópicos (ver los datos del apartado "Otra Información" de esta guía). La diferencia de los parámetros del agua del Albaida en el tramo de l'Estret de les Aigües puede variar en función de la estación del año, de la meteorología previa y de la regulación del embalse de Bellús.



Figura 24. El río Albaida en el puente que lo atraviesa junto al molí Guarner y la Casa de la Llum.

A partir de esa variabilidad y diferencias entre aguas superficiales y subterráneas entre el embalse y el puente del molí Guarner, y utilizando modelos de mezclas de aguas, se ha estimado que la aportación de aguas subterráneas entre la presa de Bellús y el molino Guarner es del orden de 800-1000 l/s (no considerando el agua derivada hacia Xàtiva desde el Naixement de Bellús), pudiendo constituir cerca del 60% del agua que circula por el río en ese sector. El mayor incremento de aportación subterránea se produce en el entorno del Naixement de Bellús.

10. Cova Negra

Constituye uno de los puntos de mayor interés de l'Estret de les Aigües, ya que contiene un yacimiento de suma importancia en la cronología de distintas ocupaciones humanas en la Prehistoria, especialmente en el Pleistoceno, no solo a escala local, sino europea (Fig. 25). Por ello, fue declarado Monumento Histórico Artístico en 1983, teniendo, por tanto, actualmente la figura de Bien de Interés Cultural (BIC).

La Cova Negra se localiza a unos 17 m sobre el nivel actual del río. La cueva tiene una superficie de unos 500 m^2 lo que permite dar refugio cómodo a las poblaciones que la ocupaban. La proximidad al cauce fluvial y a un gran número de surgencias permitiría aprovechar agua y alimentos ligados al recurso del agua.

Las primeras excavaciones arqueológicas realizadas en la cueva se llevaron a cabo en 1928 y después se han sucedido otras, de modo intermitente, desde la década de 1930. En la campaña de 1933 se produjo el trascendental descubrimiento de un fragmento de cráneo, concretamente un parietal izquierdo de un Neandertal. Hasta el momento, se han encontrado restos óseos atribuibles, al menos, a siete neandertales, con predominio de niños.

La Cova Negra ofrece una de las secuencias del Paleolítico medio más completas de la Península Ibérica, datándose la primera ocupación del yacimiento a hace 220.000 años, y concluyendo aproximadamente hacia el 30.000 a.C., durante el Pleistoceno superior. Para la datación y estudio de la forma de vida de los ocupantes tiene importancia el excelente grado de conservación de los restos arqueológicos.

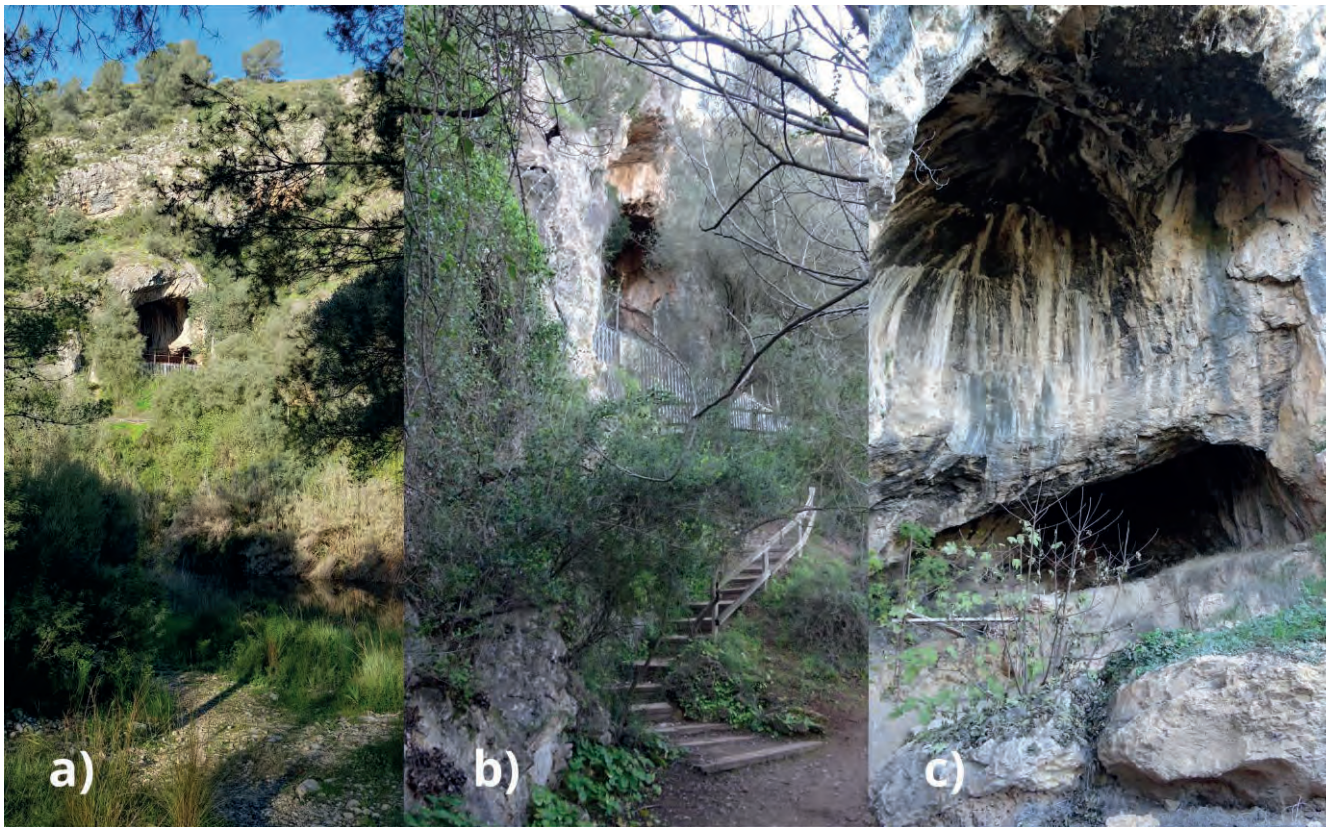


Figura 25. Distintas vistas de la Cova Negra. a) Desde la margen derecha del río Albaida; b) Desde el camino de l'Estret de les Aigües en la margen izquierda del río Albaida; c) Entrada a la Cova Negra.

La cueva fue ocupada intermitentemente como un refugio temporal para una población nómada. Los útiles encontrados de la actividad de los neandertales, así como los numerosos restos óseos de herbívoros de tamaño medio y grande han permitido conocer la actividad cazadora y carroñera de los neandertales, además del empleo del fuego.

Se han encontrado también restos de carnívoros que utilizaron la cueva como refugio o cubil en las etapas en las que la cueva no estuvo ocupada por los homínidos. Estos restos permiten conocer la fauna existente en el entorno de l'Estret de les Aigües e, indirectamente el paisaje y el clima en los que vivieron.

11. Font del Quadrat. Fin del recorrido

Hacia el norte la senda se dirige, paralela al río Albaida, hacia un barranco denominado "del Quadrat", "del Quadrado" o de "la Font Quintana", que se encuentra a unos 350 m de la Cova Negra. Antes de alcanzar el barranco, en el río Albaida se puede ver el azud de la acequia de Murta, aún en uso.

El barranco se cruza por un puente compuesto por dos arcos de diferente tamaño (Fig. 26). Por este puente salvan el barranco las conducciones de agua hacia Xàtiva: la de arcilla roja cocida, de posible origen árabe, y la conducción actual de abastecimiento. Debido a la vegetación y a la existencia de una casa, no es fácil observar el puente en el recorrido.

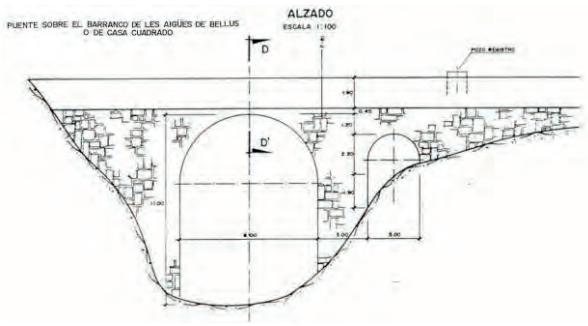


Figura 26. Alzado del puente sobre el barranc del Quadrat. Origen: Ajuntament de Xàtiva.

Finalmente, al acabar el puente, en su parte izquierda, se encuentra una fuente, la Font del Quadrat, que se alimenta directamente del canal por un surtidor y vierte hacia una balsa que desborda hacia el barranco (Fig. 27).

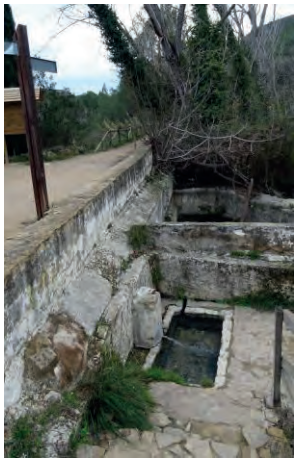


Figura 27. Font del Quadrat y, al fondo, puente sobre el barranco.

AGRADECIMIENTOS



CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA VALENCIA

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

El recorrido se realizará a pie, por caminos estrechos, en algunos momentos, elevados, y junto al cauce del río Albaida. Coincide también con una vía muy utilizada por caminantes, ciclistas y escaladores. Es necesario considerar que se compartirá un espacio común con otras personas ajenas a la actividad.

Además, se visitará el Naixement de Bellús, que tiene un espacio de visita reducido. En todo el recorrido es, pues, necesario, tener precaución para evitar percances.

Por otro lado, para comprender mejor la evolución y cambios producidas en la calidad del agua del río Albaida en l'Estret de les Aigües por las aguas subterráneas se realizará un ejercicio sobre modificaciones en la composición o parámetros químicos del agua, tanto medidos "in situ" como procedentes de análisis químicos o isotópicos. Aunque este apartado es voluntario, es importante la participación de la mayor parte de asistentes.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA 2025 DE VALENCIA

Silvino Castaño Castaño es doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, especialista en hidrogeología, actualmente en el CEDEX. Desde su ingreso en este Organismo, ha realizado trabajos en el entorno del Embalse de Bellús, especialmente en aspectos relacionados con la

estanqueidad del embalse y la relación aguas superficiales-aguas subterráneas.

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

Han realizado una colaboración especial en el desarrollo de la actividad, **Julio García Reig**, responsable del departamento del Ciclo Hídrico del Ajuntament de Xàtiva, **Juan José Castellano Castillo**, arqueólogo del Ajuntament de Xàtiva, y **Francesc Peiró Arnau** de Ingenieria Ambiental F. Peiró S.L.

PARA SABER MÁS

A continuación, se mencionan algunos de los trabajos utilizados en la redacción de esta guía:

Confederación Hidrográfica del Júcar-CHJ (2019): *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Revisión de tercer ciclo (2021-2027). Documentos iniciales. Anejo 3. Revisión y actualización de la delimitación de las masas de agua Subterránea*. 51 pp. (https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan-Hidrologico-cuenca-2021-2027/Documentos-iniciales/PHJ2127_DI_PostCP_Anejo_3_Rev_MasSub.pdf en 2025)

Conselleria de Educación, Cultura, Universidades y Empleo de la Generalitat Valenciana. *Inventario General del Patrimonio Cultural Valenciano. Sección 1ª. Bienes de interés cultural. Canal de Bellús a Xàtiva*. (https://ceice.gva.es/patrimonio-cultural/ficha-inmueble.php?id=4289&lang=es, en 2025)

Conselleria de Educación, Cultura, Universidades y Empleo de la Generalitat Valenciana. *Molí de Malany, Mal Any o de Borrera*. (https://ceice.gva.es/patrimonio-cultural/ficha-inmueble.php?id=21998&lang=es, en 2025)

Hernández Pérez, M. S., Ferrer i Marset, P., & Catalá Ferrer, E. (1986). Arte rupestre en el Estret de les Aigües (Bellús-Xàtiva, Valencia). Lucentum, (5), 7–15. (https://lucentum.ua.es/article/view/2445, en 2025)

Instituto Geológico y Minero de España – IGME (1989): Las aguas subterráneas en la comunidad valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. IGME-Colección Informe. 298 pp. (https://web.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros1_HR/libro21/lib21.htm en 2025)

Instituto Geológico y Minero de España – IGME (2010): *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. 081.156 Sierra Grossa*. 27 pp. y anexos. (https://info.igme.es/SidPDF/148000/14/148014_0000006.pdf en 2025)

Instituto Tecnológico Geominero de España - ITGE (1994): *Análisis del abastecimiento y de los residuos en áreas de tolerancia industrial de la Comunidad Valenciana. Unidades hidrogeológicas: 07, 32 y 44. Tomo II: Unidad Hidrogeológica 08.32.- Sierra Grossa*. Informe Técnico, 127 pp. (https://info.igme.es/SidPDF/038000/799/Tomo%20II/38799_0002.pdf en 2025)

Mocholí, M.E. (2008): Xàtiva en la encrucijada. La cruz del camino de Valencia. *Ars Longa*, 17, 13-23. (https://roderic.uv.es/items/3be3970f-cb47-408c-b991-ce7c77ac5985, en 2025)

Soler, A. (2025): *El Llibre de Bellús*. Ajuntament de Bellús, 299 pp. (https://bellus.es/wp-

content/uploads/sites/10/2025/06/El-Llibre-de-Bellus_.pdf en 2025)

Villaverde, V; Eixea, A. (2017): Materiales del Paleolítico superior en Cova Negra (Xàtiva) y su interés para establecer los procesos de su secuencia estratigráfica. *Zephyrvs*, 80, 15–32. https://doi.org/10.14201/zephyrus2017801532.

OTRA INFORMACIÓN

- Tabla cronoestratigráfica
- Resumen del informe del sondeo 8010 del antiguo Servicio Geológico de Obras Públicas
- Ejemplo de cambios de las características del agua del río Albaida en l'Estret de les Aigües

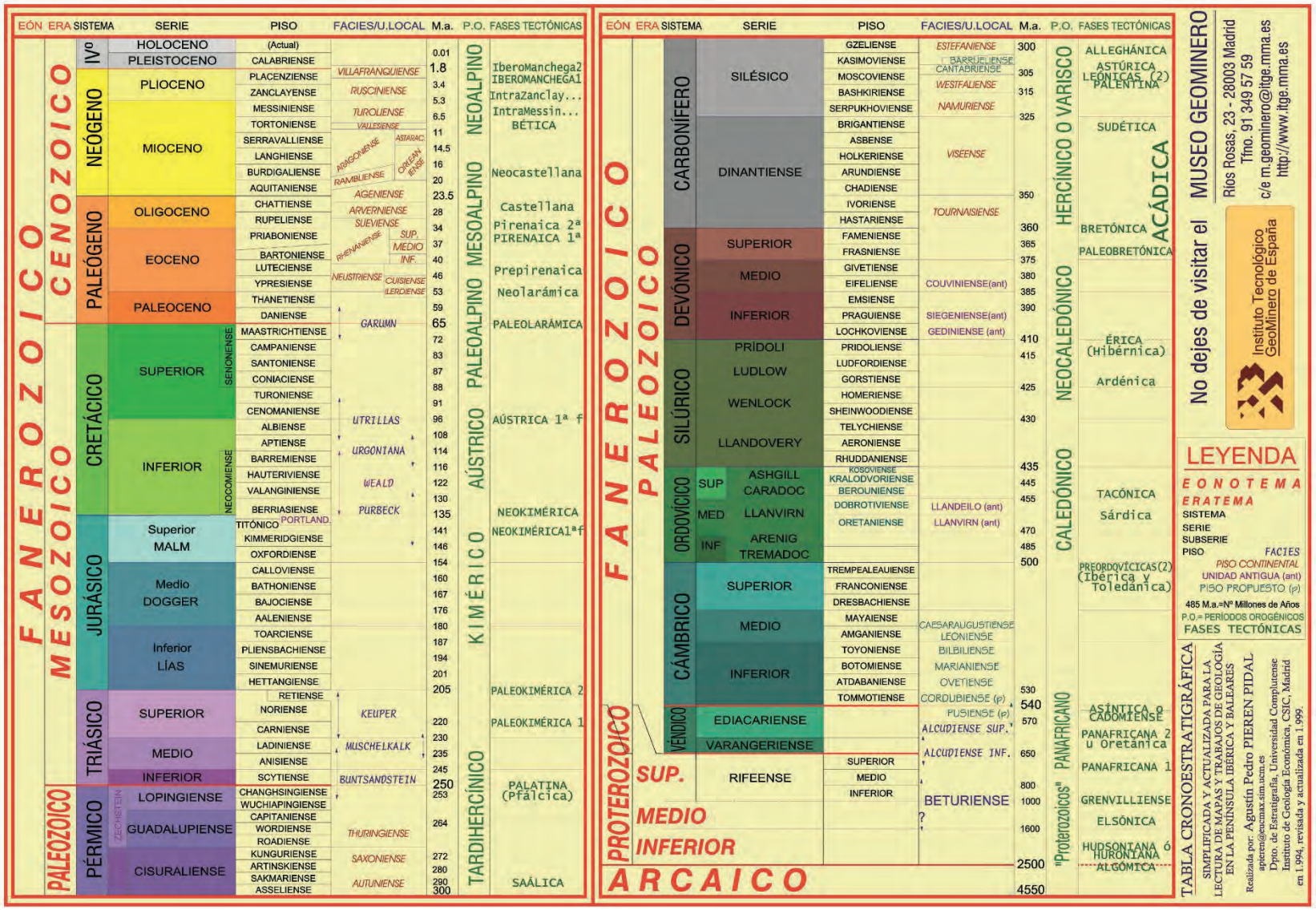


TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA (Instituto Geológico y Minero de España)

RESUMEN DEL INFORME DEL SONDEO 8010 DEL ANTIGUO SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS

1. DATOS ADMINISTRATIVOS

Nº Sondeo	8010
Hoja E.1:50000 (IGN)	795
Naturaleza Sondeo	PIEZOMETROS. SONDEO HIDROGEOL.
Medida	ESTIMADA MAPA E:<1:50.000
Año Construcción	1995

2. DATOS GEOGRÁFICOS

Provincia	Valencia
Municipio	Beniganim
Demarcación Hidrográfica	JUCAR
Coordenada X (UTM)	718.050
Coordenada Y (UTM)	4.314.855
Huso	30
Cota (msnm)	120

3. DATOS TÉCNICOS DEL SONDEO

Método de perforación	ROTACION A CIRCULACION DIRECTA
Profundidad del sondeo (m)	273,00
Nivel del agua (m)	
Fecha nivel	31/05/1996
Análisis agua	S
Pruebas permeabilidad	S

Litología

De (m)	Hasta (m)	Edad	Material
0,00	23,00	DESCONOCIDO	OTRAS LITOLOGIAS Y CALIZAS
23,00	68,90	DESCONOCIDO	CALCOARENITAS Y CALIZAS KARSTIFICADAS
68,90	158,70	CRETACICO SUPERIOR	CALIZAS
158,70	171,00	CRETACICO SUPERIOR	ARENISCAS
171,00	273,00	CRETACICO SUPERIOR	LIMOS Y DOLOMIAS

Tramos Filtrantes

De (m)	Hasta (m)
0,01	260,00
260,00	273,00

Entubaciones

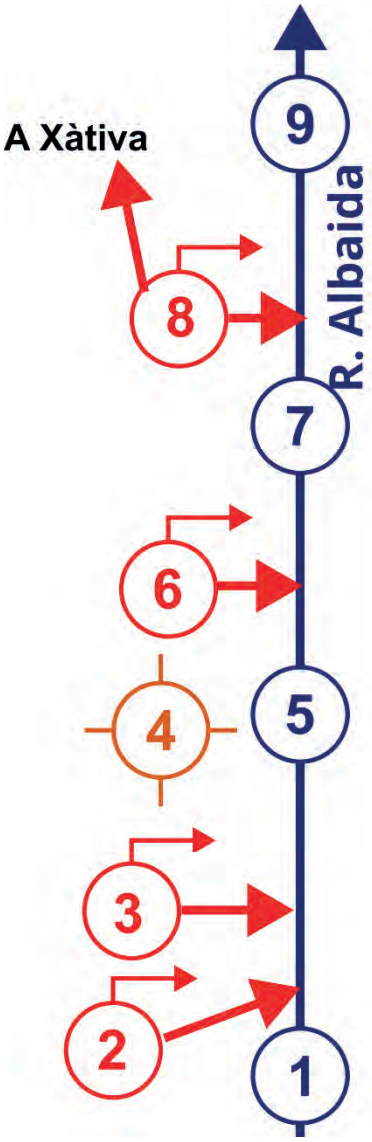
De (m)	Hasta (m)	Diámetro (mm)	Tipo
0,01	260,00	90	HIERRO. METALICAS
260,00	273,00		NO ENTUBADO

Cementación

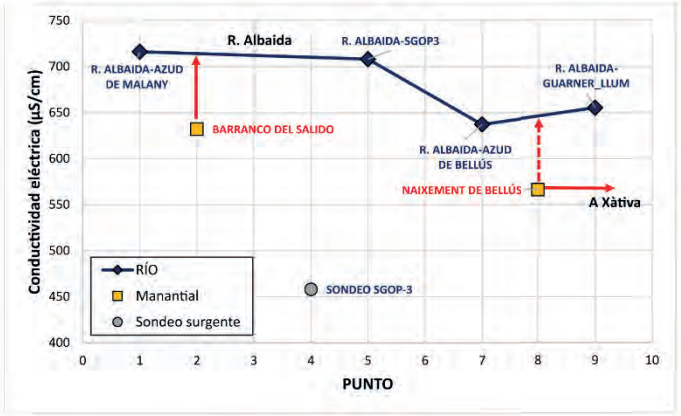
De (m)	Hasta (m)

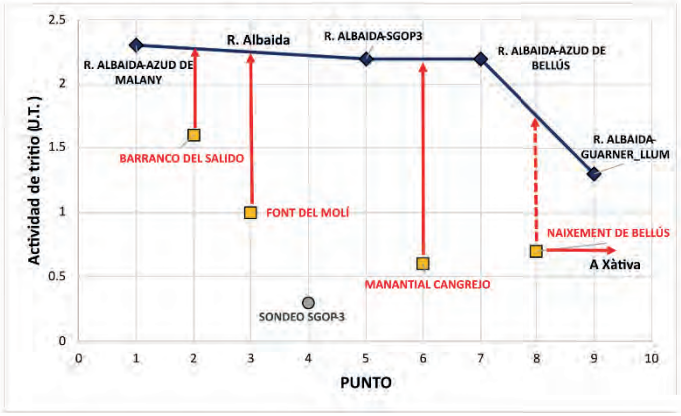
Fuente: Catálogo de sondeos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

EJEMPLO DE CAMBIOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DEL RÍO ALBAIDA EN L'ESTRET DE LES AIGÜES



Nº	NOMBRE	C.E. (µS/cm)	Cl (mg/l)	Act. Tritio (UT)	GRUPO
1	R. ALBAIDA-AZUD DE MALANY	716	59	2.3	RÍO
2	BARRANCO DEL SALIDO	632	46	1.6	MANANTIAL
3	FONT DEL MOLÍ			1	MANANTIAL
4	SONDEO SGOP-3	458	21	0.3	SONDEO
5	R. ALBAIDA-SGOP3	708	56	2.2	RÍO
6	MANANTIAL CANGREJO			0.6	MANANTIAL
7	R. ALBAIDA-AZUD DE BELLÚS	637	53	2.2	RÍO
8	NAIXEMENT DE BELLÚS	566	31	0.7	MANANTIAL
9	R. ALBAIDA-GUARNER_LLUM	655	51	1.3	RÍO





NOTA: Los valores presentados en la figura, facilitados por la Confederación Hidrográfica del Júcar, lo son como ejercicio para comprobar cambios producidos en el río Albaida por las aguas subterráneas en l'Estret de les Aigües. Son valores puntuales y, por tanto, no corresponden a una realidad permanente.



Zaragoza

HIDROGEODÍA 2025 ZARAGOZA

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC

IGME

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

Sábado 22 de marzo de 2025

Ejea de los Caballeros
(Salida desde Zaragoza)

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

Ven a visitar el **humedal experimental** construido para la depuración de las aguas de retorno de riego de la cuenca de Lerma





PLAZAS LIMITADAS
Reserva en: zaragoza@igme.es

PUNTO DE ENCUENTRO:
Parking de Macanaz
Aparcamiento de Autobuses
C/ García Arista-Avda. Pirineos (Zaragoza)

Salida: 8:30 h.
Regreso (estimado): 14:30 h.



MÁS INFORMACIÓN:

APADRINA UNA ROCA

COLABORAN:

GeoAp
Grupo de investigación en Geología Aplicada

GOBIERNO DE ARAGON

MAiMA
ISÓTOPOS ESTABLES I MINERALOGÍA

tecnio catalonia ACCIÓ

UNIVERSITAT DE BARCELONA

AgroSOS

CSIC DELEGACIÓN EN ARAGÓN

NPP-SOL Non-Point Pollution Solutions

PRIMA IN THE MEDITERRANEAN AREA

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

Cofinanciado por la Unión Europea

AGENCIA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN

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). En esta edición se ha contado con la colaboración del Grupo de Investigación MAiMA isótopos estables, mineralogía y geoquímica, de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Barcelona; el máster de Hidrogeología y Modelización MHM (UB-IDAEA); el proyecto NPP-SOL, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU) y por la Unión Europea con el programa PRIMA; el proyecto AgroSOS (MICIU); el Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GeoAp) del Gobierno de Aragón; y con la Delegación en Aragón del CSIC.

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 2025** se celebra el 22 de marzo en la localidad de Ejea de los Caballeros y tiene como temática "Soluciones basadas en la naturaleza. El humedal experimental construido para la depuración de las aguas de retorno de riego de la cuenca de Lerma".

Se llevará a cabo una visita guiada en el entorno de la pequeña cuenca de Lerma situada a pocos kilómetros de Ejea de los Caballeros, en la que se han previsto tres actividades destacadas:

1) Visita del museo Aquagraria.
2) Presentación de los proyectos AgroSOS y NPP-SOL.
3) Recorrido por la cuenca del barranco de Lerma (Ejea de los Caballeros).
4) El humedal experimental de la cuenca de Lerma.

ITINERARIO

El punto de encuentro será en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses (C/ García Arista-Avda. Pirineos) (Figura 1).



Figura 1. Vista del punto de encuentro en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses en C/ García Arista-Avda. Pirineos.

Recepción. 8:30 h. En el punto de encuentro se realizará una pequeña explicación de la jornada. Allí estará esperando el autobús que nos llevará al punto de inicio de la visita en Ejea de los Caballeros (Salida 8:45 h.).

Parada 1. Sobre las 9:45 horas iniciaremos una breve visita guiada al museo Aquagraria en Ejea de los Caballeros. La visita permitirá tomar conciencia del papel que ha tenido el agua y el Canal de Bardenas en el desarrollo social y económico de la zona y se verá la exposición de maquinaria agrícola.

Proyectos AgroSOS y NPP-SOL. En una sala del museo se proyectarán audiovisuales con referencia a estos proyectos de investigación del MICIU, que sintetizan el objetivo y la actividad realizada en el barranco de Lerma, enfocada al control y seguimiento de la contaminación por nitratos.

A continuación, alrededor de las 11:15 h., cogeremos de nuevo el autobús que nos llevará hasta el barraco de Lerma, situado a unos 9 km de Ejea de los Caballeros.

Recorrido por la cuenca del barranco de Lerma. Se realizará un recorrido en autocar por el área regable de la cuenca de Lerma, visitando los puntos de extracción y bombeo de agua, balsas, Acequia de Sora y piezómetros de control de agua subterránea.

Parada 2. El humedal experimental de la cuenca de Lerma. En este punto del barranco se explicará el funcionamiento de este humedal artificial, la actividad de investigación y las experiencias que se realizan para la depuración y el control de la contaminación por nitratos a las aguas subterráneas procedente del retorno de riegos.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por nitrato (NO_3^-) es un problema medioambiental y de salud pública que afecta principalmente a las aguas subterráneas y superficiales de todo el mundo, derivado principalmente de la agricultura intensiva. El nitrato proviene, sobre todo, de los fertilizantes químicos y de los estiércoles de la ganadería utilizados para mejorar el rendimiento de los cultivos. Éste compuesto es fácilmente soluble en agua y, cuando se aplican fertilizantes en exceso, se filtran hacia los acuíferos, afectando tanto a fuentes de agua potable como a ríos y lagos.

El principal impacto de esta contaminación es la alteración de la calidad del agua, que puede causar la aparición de enfermedades como la metahemoglobinemia (o síndrome del bebé azul), una afección que impide el transporte adecuado de oxígeno en la sangre de los lactantes, provocada por la ingesta de agua contaminada con nitrato. Además, el exceso de nitrato puede generar un fenómeno de eutrofización en los ecosistemas acuáticos, favoreciendo el crecimiento descontrolado de algas que reduce la cantidad de oxígeno en el agua, afectando la biodiversidad y alterando los ciclos biológicos de los ecosistemas.

A nivel de políticas, España se ha comprometido a cumplir con la normativa europea existente desde los años 90 en cuanto a la calidad del agua. Por este motivo, se han declarado varias zonas vulnerables a la contaminación por nitrato, donde se regulan las prácticas agrícolas para limitar el uso de fertilizantes. A pesar de esto, debido a que el nitrógeno de los fertilizantes puede quedar retenido durante décadas (Sebilo *et al.*, 2003), y a la falta de control efectivo para el cumplimiento de las normativas, mantener los niveles de nitrato por debajo del límite para el

consumo (50 mg/L) sigue siendo un reto. La situación exige un enfoque integral que incluya una mejor gestión de los recursos hídricos y una agricultura más sostenible para mitigar el impacto del nitrato, así como la implementación de estrategias de mitigación.

LA CUENCA DE LERMA

El río Arba, situado en el margen izquierdo del valle medio del río Ebro, fue el primer cuerpo de agua superficial en la cuenca del Ebro en ser declarado afectado por contaminación por nitrato según la Directiva 91/676/CEE. En la cuenca del río Arba, durante la década de los 2000, aproximadamente 20.000 ha de tierras de cultivo de secano fueron transformadas a regadío mediante una red de canales y acequias que transportan agua desde el embalse de Yesa (Figura 2). Este cambio llevó a un aumento progresivo en el uso de fertilizantes en la zona y la consecuente intensificación de la contaminación por nitrato.

Dentro de la cuenca del Arba, la contaminación por nitrato en la pequeña cuenca de Lerma situada en Ejea de los Caballeros (Figura 2), ha sido estudiada desde el año 2004. La superficie de la cuenca de Lerma es de 7,38 km², con una longitud de aproximadamente 4,5 km (de Este-Sureste a Oeste-Noroeste) y un ancho de alrededor de 2 km. Las altitudes varían entre 335 y 495 m sobre el nivel del mar. Esta pequeña cuenca ha sido monitorizada desde el año 2004 para evaluar los efectos de la transformación de agricultura de secano a regadío en el balance hídrico y en la exportación de sales y nitrato (Merchán, 2015). En general, la implementación del riego supuso un aumento de unos tres órdenes de magnitud en la exportación de nitrógeno hacia el río Arba.

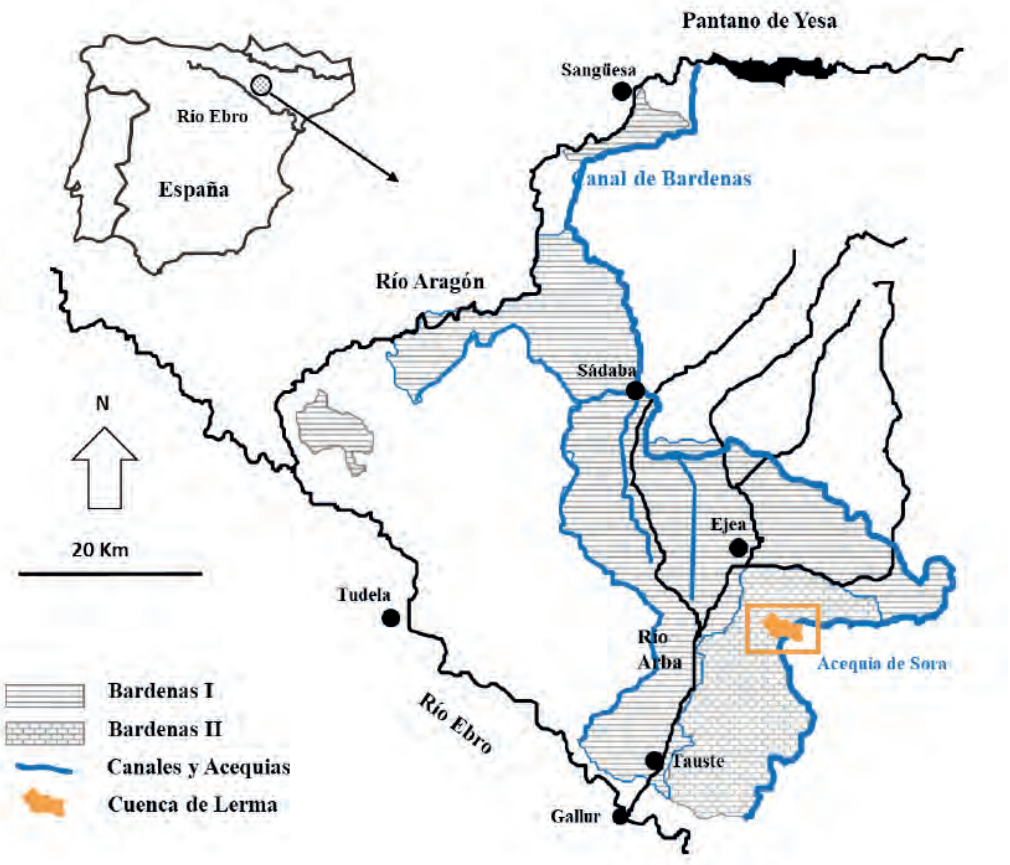


Figura 2. Situación de la cuenca de Lerma y canales de regadío desde el embalse de Yesa.

PARADA 1. VISITA DEL MUSEO AQUAGRARIA

El agua ha sido fundamental en el progreso económico y social de Ejea de los Caballeros. Las características geográficas y climáticas del territorio propiciaron la búsqueda de fórmulas eficientes para la gestión y aprovechamiento del agua, destacando entre ellas la extensión del regadío del Canal de las Bardenas cuyo resultado fue un aumento de la productividad agraria y el surgimiento de industrias relacionadas con el sector. El Museo agrario AQUAGRARIA (https://aquagraria.com/) (Figura 3), con su magnífica colección de maquinaria agrícola antigua, permite el análisis de su evolución, desde la invención del arado hasta la tecnología digital actual. Más de 80 piezas que suponen un recorrido por la historia del hombre a través de la agricultura, desde diferentes arados romanos de finales del siglo XVIII, pasando por un tractor emblemático de 1914, hasta la más revolucionaria maquinaria contemporánea.

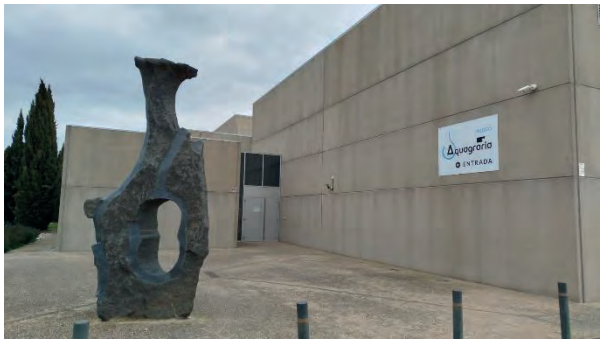


Figura 3. Museo agrario de AQUAGRARIA.

PRESENTACIÓN DE LOS PROYECTOS AGROSOS Y NPP-SOL

El Proyecto AgroSOS: "Agrosistemas Sostenibles" (2024-2028) financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PID2023-147588OB-I00) tiene como objetivo proponer y evaluar alternativas de gestión de los sistemas agrarios que contribuyan a la sostenibilidad agroambiental. Es una continuidad de una serie de proyectos llevados a cabo durante los últimos 20 años en la cuenca del barranco de Lerma en los que se ha podido estudiar la evolución agroambiental del antes, durante y después de la transformación de un regadío y evaluar diferentes estrategias de gestión del riego (automatización) y fertilización nitrogenada (ajuste de dosis aplicadas y uso de abonos de liberación controlada). Video promocional del proyecto: https://youtu.be/mBhy1o0i3UQ.

El proyecto NPP-SOL "Modelling and Technological tools to prevent surface and ground-water bodies from agricultural non-point source pollution under Mediterranean conditions" (2023-2026, PCI2023-143359 financiado por: MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y cofinanciado por la Unión Europea) tiene como objetivo prevenir la contaminación agrícola por fuentes difusas de las masas de agua superficiales y subterráneas en condiciones mediterráneas, como por ejemplo la contaminación por nitrato debido a fertilización. NPP-SOL integra el diseño de prácticas de gestión optimizada y específicas para cada lugar orientadas a la mejora de la gestión del suelo, el agua, los fertilizantes y los cultivos, junto con tecnologías adaptadas para prevenir la contaminación de las masas de agua naturales. El proyecto se desarrolla en 4 casos de estudio, uno de los cuales es la cuenca de Lerma. Más concretamente, la tecnología adoptada en la cuenca de Lerma es un humedal artificial, una metodología sostenible, de bajo coste y con enfoque en la economía circular que permite atenuar la contaminación por nitrato. Toda la información del proyecto está disponible en https://npp-sol.iamm.ciheam.org/.

RECORRIDO POR LA CUENCA DEL BARRANCO DE LERMA

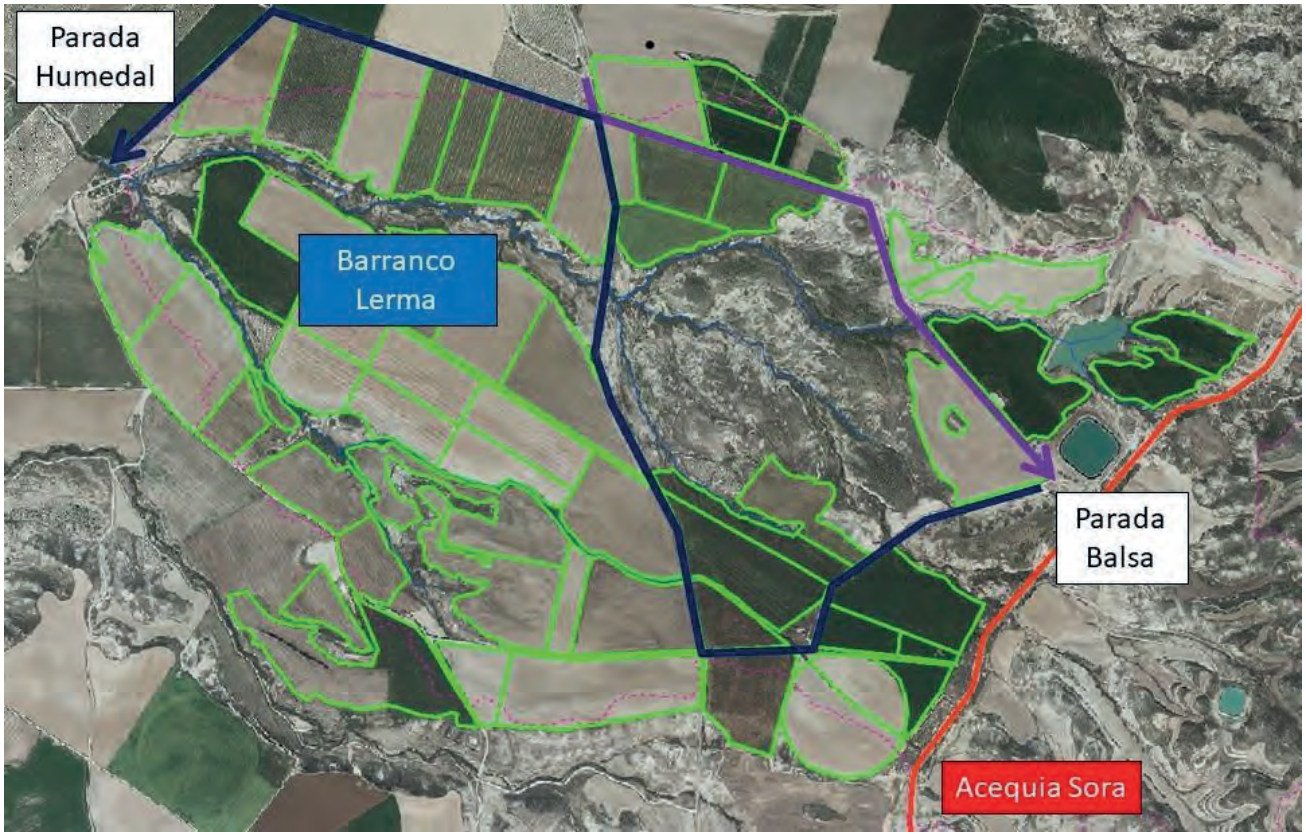
Geológicamente la cuenca del barranco consiste en una serie de glacis cuaternarios, donde principalmente se ha desarrollado la agricultura de regadío, que constituyen unidades acuíferas con funcionamiento hidrogeológico inducido en gran parte por la transformación en regadío. La red de barrancos de Lerma incide en estos glacis aflorando materiales terciarios de muy baja permeabilidad en sus laderas, que recogen de manantiales y rezumes difusos los retornos de riego hasta el propio barranco.

El recorrido por la cuenca (Figura 4) nos permitirá identificar las dos unidades geológicas y la agricultura de regadío desarrollada sobre ellas. Se efectuará una primera parada al pie de la balsa de bombeo (Figura 5) donde se explicará la infraestructura del regadío y se proseguirá el recorrido por la cuenca mostrando equipamiento para observación y muestreo de drenaje agrícola (lisímetros), de las aguas subterráneas (red de piezómetros) y automatización del riego en base a sondas de humedad del suelo. Finalmente se llegará a la estación de control del caudal y calidad del agua del barranco de Lerma y el humedal artificial construido para la depuración de los retornos de riego.



Figura 5. Balsa de bombeo junto a la acequia de Sora.

Figura 4. Recorrido a realizar por la cuenca del barranco de Lerma.



PARADA 2. EL HUMEDAL EXPERIMENTAL DE LA CUENCA DE LERMA

HUMEDALES ARTIFICIALES: SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

Los humedales artificiales son soluciones basadas en la naturaleza y de bajo coste. Están diseñados específicamente para eliminar diversos contaminantes del agua mediante procesos que ocurren en humedales naturales, pero en un entorno más controlado. Además de la atenuación de nitrato, los humedales artificiales también pueden ser útiles para la eliminación de otros contaminantes, como pesticidas, productos farmacéuticos, etc.

Los humedales artificiales de flujo superficial consisten en agua libre que fluye horizontalmente a través de un estanque artificial que contiene vegetación flotante y/o enraizada, junto con una alta diversidad de microorganismos. Los principales procesos que pueden contribuir a la mitigación de la contaminación por nitrato en humedales artificiales de flujo superficial incluyen:

- la asimilación por las plantas (el nitrato pasa a forma parte de la biomasa),
- la asimilación por microorganismos (el nitrato pasa a formar parte de la biomasa),
- la desnitrificación (el nitrato se reduce a N_2 inocuo).

Las plantas influyen en la diversidad de especies microbianas y en sus actividades enzimáticas mediante la liberación de exudados y oxígeno a la rizosfera (Kong *et al.*, 2009). En consecuencia, no solo consumen nitrato, sino que también favorecen la eficiencia de la desnitrificación. La desnitrificación es la reducción de nitrato por microorganismos a través de una serie de reacciones enzimáticas hasta su reducción final a nitrógeno gas (Knowles, 1982), que es innocuo. El material vegetal en descomposición en los humedales puede ser aprovechado por los microorganismos como fuente de carbono orgánico, lo cual permite la desnitrificación. Por esta razón, la eliminación de nitrato suele ser mayor en humedales artificiales con vegetación en comparación con sistemas sin vegetación (Jacobs and Harrison, 2014).

Cuando en los humedales artificiales no hay suficiente carbono orgánico para sostener una desnitrificación completa, la adición de una fuente externa podría mejorar la eficiencia del proceso. Esta metodología es conocida como bioestimulación. Numerosos estudios científicos han demostrado que algunos residuos sólidos tanto animales como vegetales (Grau-Martínez *et al.*, 2017; Margalef-Marti *et al.*, 2019a), así como subproductos líquidos industriales (Carrey *et al.*, 2018; Margalef-Marti *et al.*, 2019b), son útiles para promover la desnitrificación. Los subproductos líquidos suelen ser ventajosos debido a su fácil aplicación.

EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE LA CUENCA DE LERMA: CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

El humedal artificial de la cuenca del Lerma fue construido en octubre de 2013 como una solución basada en la naturaleza para tratar las aguas de escorrentía agrícola contaminadas por nitrato. El agua superficial del barranco de Lerma presenta un caudal variable entre 15 y 60 L/s y puede ser desviada total o parcialmente hacia el humedal artificial a través de una barrera instalada en su entrada, lo que permite controlar el caudal dentro del humedal. Posteriormente, el agua es devuelta al barranco de Lerma tras el tratamiento. Desde su construcción en 2013 el humedal ha estado en operación intermitentemente. Su funcionamiento se regula únicamente mediante el grado de apertura de la tajadera de entrada.

Desde su construcción en 2013 y hasta la actualidad se han realizado una serie de modificaciones, trabajos de mantenimiento e investigaciones en el marco de diferentes proyectos y fuentes de financiación: REMEDIATION (CGL2014-57215-C4), AGRO-SOS (CGL2015-66016-R), PACE-ISOTEC (CGL2017-87216-C4-1-R), AgroSOSIII (PID2023-147588OB-I00), Advance4Water-ISOTRACE (PID2022-139911OB-C41) y NPP-SOL (PCI2023-143359) financiados por el Gobierno de España y la AEI/FEDER de la Unión Europea, así como por MAG (2017 SGR 1733) y MAGH (2021SGR00308), financiado por el Gobierno de Cataluña.

El sistema, que inicialmente cubría un área de aproximadamente 1.500 m², fue ampliado en junio de 2017 hasta alcanzar una superficie final de aproximadamente 2.500 m², con una profundidad de ~40 cm. Los macrófitos emergentes (*Typha y Phragmites*) comenzaron a crecer desde su construcción y reflejan las partes antigua y nueva del humedal (Figura 6). Más adelante, en 2024, se cubrió el último 20% de la superficie del humedal con gravas (Figura 4) para reducir la difusión de oxígeno que dificulta el proceso de desnitrificación. Durante el llenado del lecho de grava, se han instalado cuatro piezómetros cortos con el objetivo de tomar muestras del agua subterránea que circula a través de él (Figura 7). Por lo tanto, el sistema actual se basa en un humedal de flujo superficial en un 80% aproximadamente y de flujo subsuperficial en el 20% restante.

A pesar de tratarse de una tecnología prometedora, el humedal artificial de la cuenca de Lerma presenta una baja eficiencia de desnitrificación cuando opera a un caudal alto (> 5 L/s) en condiciones naturales (Margalef-Marti *et al*., 2019a). En este contexto, es necesario aplicar una estrategia de bioestimulación para aumentar la eficiencia de la desnitrificación para tratar el caudal completo del barranco (15-60 L/s). Dado que el uso de reactivos puros como glucosa, acetato o etanol puede resultar costoso en tratamientos a largo plazo, el uso de residuos industriales o agrícolas ricos en C orgánico podría representar una solución más sostenible y acorde a los conceptos de economía circular.



Figura 6. Imagen del humedal de Lerma en 2017, justo después de su ampliación. Las zonas vegetadas corresponden a la parte del humedal más antiguas.



Figura 7. Imagen de la zona del humedal cubierta con gravas (2024). Corresponde a un 20% aproximadamente de la superficie total y se encuentra justo antes da la salida de agua del humedal tratada hacia el barranco.

BIOESTIMULACIÓN PARA INDUCIR LA DESNITRIFICACIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES

La primera estrategia de bioestimulación aplicada en el humedal artificial de Lerma consistió en aplicar rastrojo de maíz en toda la superficie del humedal (Figura 8). Concretamente se aplicaron 8 toneladas de rastrojo de maíz procedente de la zona y eso permitió eliminar por completo el nitrato del agua del barranco durante unas 3 semanas gracias a su circulación a través del humedal. Luego la eficiencia disminuyó, y pasados 3 meses desde su aplicación pasó a ser prácticamente nula (Margalef-Marti *et al.*, 2019a).



Figura 8. Imagen de la bioestimulación con rastrojo de maíz (2018). El rastrojo de maíz fue distribuido por toda la superficie no vegetada del humedal mediante una retroexcavadora.

La estrategia de bioestimulación que se está implementando actualmente en el humedal consiste en la inyección periódica de suero lácteo, que es un subproducto de la fabricación de quesos (Figura 9). El suero lácteo se dispersa a lo largo del humedal con el propio flujo del agua. Los resultados preliminares muestran que una baja cantidad de suero lácteo permite reducir aproximadamente un 10% del nitrato del agua de escorrentía agrícola durante los meses de verano. Debido a la bajada de temperaturas en invierno, desfavorable para los microorganismos que realizan la desnitrificación, la eficiencia de remediación disminuye. Por lo tanto, se puede plantear la inyección de mayores cantidades de suero durante los meses más fríos comparado con los más cálidos.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO

El funcionamiento del humedal artificial de la cuenca de Lerma es controlado mediante 2 herramientas distintas:

- Equipamiento con sondas de monitoreo y control remoto que permiten la telemedida del flujo de agua, concentración de nitrato, temperatura y conductividad del agua tanto en la entrada como en la salida del humedal.

- Realización de muestreos de agua en 7 puntos a lo largo del humedal (entrada, puntos intermedios dentro del humedal y salida) para la caracterización química e isotópica de las muestras obtenidas.

La disminución del nivel de nitrato en humedales artificiales puede estimarse mediante la comparación de la concentración del contaminante en la entrada y salida del sistema. Sin embargo, este método no revela los procesos específicos involucrados en la atenuación, lo que dificulta la optimización del diseño y la operación del humedal. Los análisis de isótopos estables pueden proporcionar

información sobre las vías de transformación del nitrato. Durante la desnitrificación, el nitrato residual no reaccionado se enriquece en los isótopos pesados (^{15}N y ^{18}O), lo que permite diferenciar entre la atenuación biológica y otros procesos, como la dilución, que también pueden provocar una disminución en la concentración sin afectar la firma isotópica (Aravena and Robertson, 1998; Böttcher *et al.*, 1990; Mariotti *et al.*, 1981). Por lo tanto, la caracterización isotópica del nitrato en muestras de agua obtenidas en el humedal artificial mejora la comprensión y respalda la evaluación de la eficacia de la estrategia de remediación.

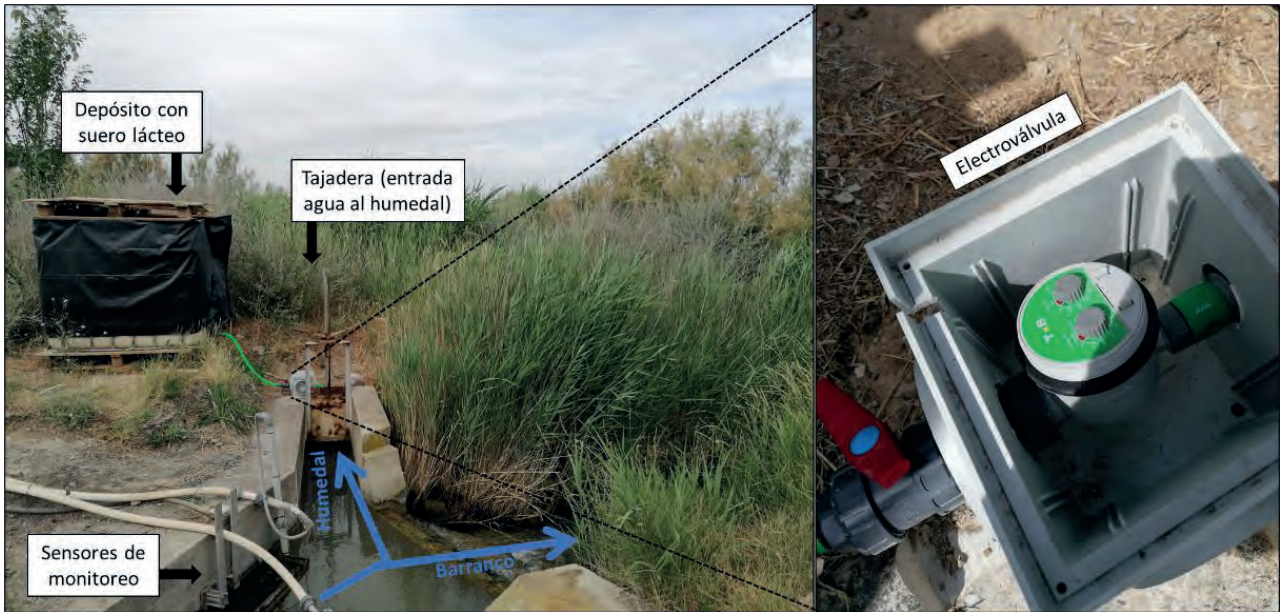


Figura 9. Imagen del sistema para la bioestimulación con suero lácteo (2025). El suero lácteo (donador de electrones para inducir la desnitrificación) derivado de la producción de quesos se acumula en un depósito. Mediante una electroválvula programable se inyecta la cantidad deseada y con la periodicidad deseada. La tajadera de entrada de agua al humedal permite regular el caudal. Los sensores de monitoreo permiten registrar datos en continuo de la calidad del agua (telemedida).

REFERENCIAS

Aravena, R., Robertson, W.D., 1998. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in ground water: study of nitrate from a large-flux septic system plume. Ground Water 36, 975–982.

Böttcher, J., Strebel, O., Voerkelius, S., Schmidt, H.L., 1990. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. Journal of Hydrology 114, 413–424. https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90068-9

Carrey, R., Rodríguez-Escales, P., Soler, A., Otero, N., 2018. Tracing the role of endogenous carbon in denitrification using wine industry by-product as an external electron donor: Coupling isotopic tools with mathematical modeling. Journal of Environmental Management 207, 105–115. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.063

Grau-Martínez, A., Torrentó, C., Carrey, R., Rodríguez-Escales, P., Domènech, C., Ghiglieri, G., Soler, A., Otero, N., 2017. Feasibility of two low-cost organic substrates for inducing denitrification in artificial recharge ponds: Batch and flow-through experiments. Journal of Contaminant Hydrology 198, 48–58. https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.01.001

Jacobs, A.E., Harrison, J.A., 2014. Effects of floating vegetation on denitrification, nitrogen retention, and greenhouse gas production in wetland microcosms. Biogeochemistry 119, 51–66. https://doi.org/10.1007/s10533-013-9947-9

Knowles, R., 1982. Denitrification. Microbiological reviews 46, 43–70.

Kong, L., Wang, Y.B., Zhao, L.N., Chen, Z.H., 2009. Enzyme and root activities in surface-flow constructed wetlands. Chemosphere 76, 601–608. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.056

Margalef-Marti, R., Carrey, R., Merchán, D., Soler, A., Causapé, J., Otero, N., 2019a. Feasibility of using rural waste products to increase the denitrification efficiency in a surface flow constructed wetland. Journal of Hydrology 578, 124035. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124035

Margalef-Marti, R., Carrey, R., Soler, A., Otero, N., 2019b. Evaluating the potential use of a dairy industry residue to induce denitri fi cation in polluted water bodies: A flow-through experiment. Journal of Environmental Management 245, 86–94. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.086

Mariotti, A., Germon, J.C., Hubert, P., Kaiser, P., Letolle, R., Tardieux, A., Tardieux, P., 1981. Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: Some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes. Plant and Soil 62, 413–430. https://doi.org/10.1007/BF02374138

Merchán D., 2015. Hydrological Assesment of a newly implemented irrigated area in Spain: Salinization and nitrate pollution from irrigation return flow. Tesis Doctoral del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. 183 pp.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2025-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza (IGME-CSIC), al Grupo de Investigación MAiMA UB de la Universidad de Barcelona; el master Hidrogeología y Modelización de la UB y IDAEA-CSIC (MHM); el Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GeoAp) del Gobierno de Aragón y a la Delegación en Aragón del CSIC. Especialmente al proyecto NPP-SOL de la Universidad de Barcelona por sufragar los gastos de autocar.

Por otro lado, agradecemos la colaboración de la Fundación y Museo Aquagraria por la cesión de espacios, así como a todos aquellos que nos han ayudado a la difusión de esta edición del Hidrogeodía.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Se ruega puntualidad.

Llevar bebida y algo para almorzar.

Llevar calzado cómodo.

Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra, crema solar, paraguas, chubasquero, ropa de abrigo…

La hora de llegada es aproximada (14:30h).

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-2025

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2025

Jesús Causapé Valenzuela (CN IGME-CSIC)

Eduardo A. Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Rosanna Margalef Martí (MAiMA UB y MHM)

Helena Escalona Orellana (MAiMA UB)

Manuela Barbieri (MAiMA UB)

Neus Otero Pérez (MAiMA UB y MHM)

Albert Soler i Gil (MAiMA UB y MHM)

COLABORADORES

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GA).

Grupo MAiMA y el Máster Hidrogeología y Modelización MHM (UB-IDAEA) de la UB.

Proyecto AgroSOS (MICIU)

Proyecto NPP-SOL (programa PRIMA UE)

Apadrina una roca. Más información en la web:





Bolivia

HIDROGEODÍA 2025

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



VERTIENTES Y AGUA SUBTERRÁNEA EN SAN JOSÉ DE CHIQUITOS

Viernes 14 marzo del 2025
Hora de salida: 08:00
Hora de llegada: 12:30 (estimado)

EVENTO GRATUITO

Recomendaciones: zapatos deportivos con buena tracción, ropa cómoda, impermeable, gorra o sombrero, gafas de sol, bloqueador solar, mochila ligera.
Snacks: frutos secos, barras energéticas y botella agua bebible.

QR DE INSCRIPCIÓN:

CUPOS LIMITADOS

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 San José de Chiquitos, Bolivia, el Hidrogeodía 2025 se realizará en la Unidad de Conservación del Patrimonio Natural (UCPN) Santa Cruz La Vieja, específicamente en la vertiente de agua El Sutó. Este recorrido permitirá comprender cómo se infiltra el agua de lluvia, qué papel cumple la vegetación y qué factores geológicos la guían en el subsuelo. Asimismo, se abordarán las amenazas que enfrenta la región, cómo estas interactúan con el balance hídrico y por ende con la capacidad de recarga hídrica, con miras a fomentar una gestión responsable y sostenible del agua.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro será en la esquina de la plaza, frente al frontis de la Subgobernación de Chiquitos (véase Fotografía 1). Se recomienda llevar ropa y calzado cómodos, así como repelente y protección solar, dado el clima local. También es aconsejable llegar con al menos 15 minutos de anticipación para organizar el grupo y realizar una breve presentación antes de partir.



Fotografía 1: Punto de encuentro (P-0) en la plaza principal. Esquina donde se ve el frontis de la Subgobernación de Chiquitos. Extraído de Wikimedia.org.

LA SERRANÍA DE SAN JOSÉ DE CHIQUITOS

Para comprender cómo funcionan las vertientes de agua y particularmente la de El Sutó, se debe conocer primero el contexto de la serranía que las alberga.

La UCPN Santa Cruz La Vieja, que intersecta con la cara norte de la Serranía de San José, presenta una combinación entre bosque seco chiquitano y formaciones de tipo cerrado chaqueño con sus distintos elementos transicionales. Se trata de bosque bajo sobre suelos arenosos de la Chiquitanía, en transición al Chaco, que muestra mayor heterogeneidad en las zonas más bajas (Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, 2025).

Durante la estación seca (mayo a septiembre), muchos árboles pierden sus hojas para ahorrar agua, dando al entorno un aspecto más abierto. Al llegar las lluvias (noviembre a marzo), el bosque reverdece (Quisnancela Cabay, 2021). En ambos períodos, la vegetación influye de manera determinante en la distribución del agua de lluvia una vez que esta alcanza la superficie (follaje + suelo) (ver Figura 1).

Para comprender mejor esta distribución de agua gobernada por el balance hídrico, recordemos que por cada litro de agua de lluvia (P):

- Una fracción es interceptada por la vegetación (I).
- Otra porción se evapora del suelo (Ev).
- Una parte transpira a través de las hojas (Tr).
- Cierta cantidad escurre (Sr).
- Finalmente, el remanente percola y se convierte en recarga hídrica (R).

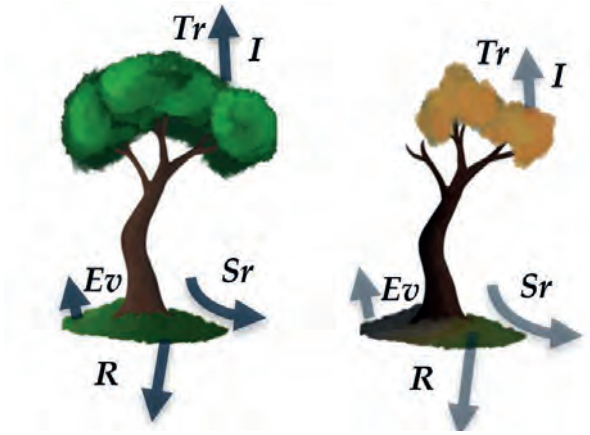


Figura 1: Representación conceptual de la estacionalidad de la vegetación y su relación con el balance hídrico. Las flechas más claras en el esquema de la derecha indican la disminución de la lluvia en época seca. Adaptado de Guzmán-Rojo et al. (2025)

Para visualizarlo con un ejemplo sencillo, imaginemos que sobre cada metro cuadrado de bosque cae un litro de lluvia. Una parte de ese litro 'rebota' en las hojas (intercepción), otra se evapora, otra se infiltra bajo tierra y otra corre por la superficie. Cada gota tiene su propio destino. De la parte que logra percolar, surge luego el agua subterránea que abastece vertientes como El Sutó.

EL RÉGIMEN DE LLUVIAS Y SU EFECTO EN LAS VERTIENTES

La región se clasifica como tropical subhúmeda, con diferencias marcadas entre la época lluviosa y la seca. La precipitación promedio varía entre 800 y 1200 mm/año, aunque más de la mitad de esa lluvia puede concentrarse en unos pocos meses, evidenciando una fuerte estacionalidad (Guzmán-Rojo, 2024a). Las temperaturas promedian 25–26 °C anuales, pero pueden acercarse a los 30 °C en verano. Estas condiciones favorecen la formación de vertientes como El Sutó y la existencia de humedales estacionales (curichis, en dialecto Bésiro), muy dependientes del agua subterránea. Esta dependencia está estrechamente relacionada con las formaciones geológicas que permiten o impiden la infiltración.

ENTORNO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

El municipio de San José de Chiquitos se encuentra en una zona donde confluyen rocas muy antiguas (del escudo brasileño) y formaciones más jóvenes (sedimentos y areniscas) que conforman la Serranía de San José (véase Figuras 2 y 3). La geología influye directamente en la aparición de vertientes y manantiales, así como en la calidad del agua subterránea.

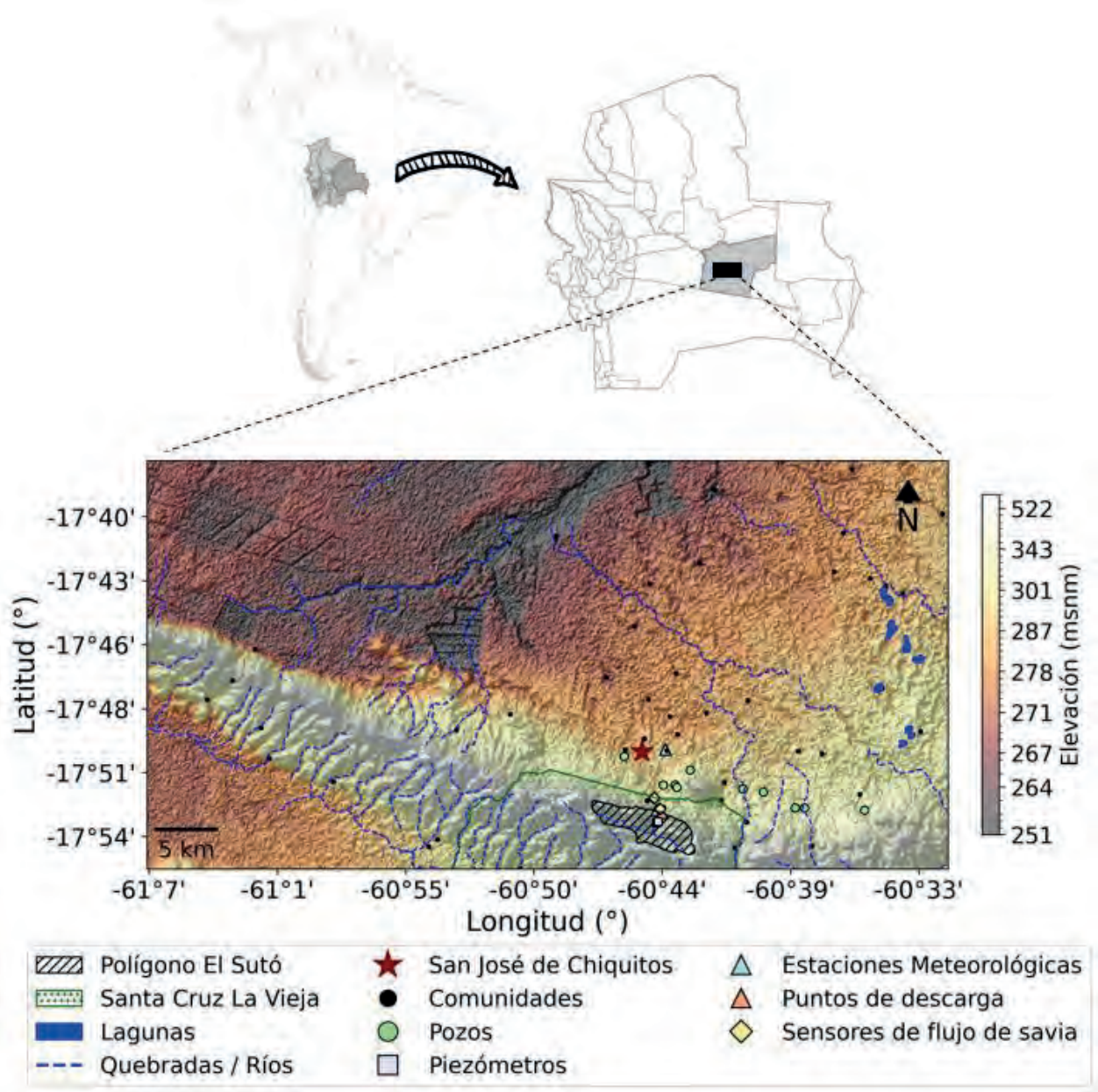


Figura 2 Ubicación de la vertiente El Sutó, que ilustra la intersección con la zona protegida de Santa Cruz la Vieja (SCLV). También se muestra la ubicación de la instrumentación hidrológica (p. ej., piezómetros, sensores de flujo de savia) el centro urbano de San José de Chiquitos, las comunidades vecinas y pozos de agua. Adaptado de Guzmán-Rojo et al. (2025)

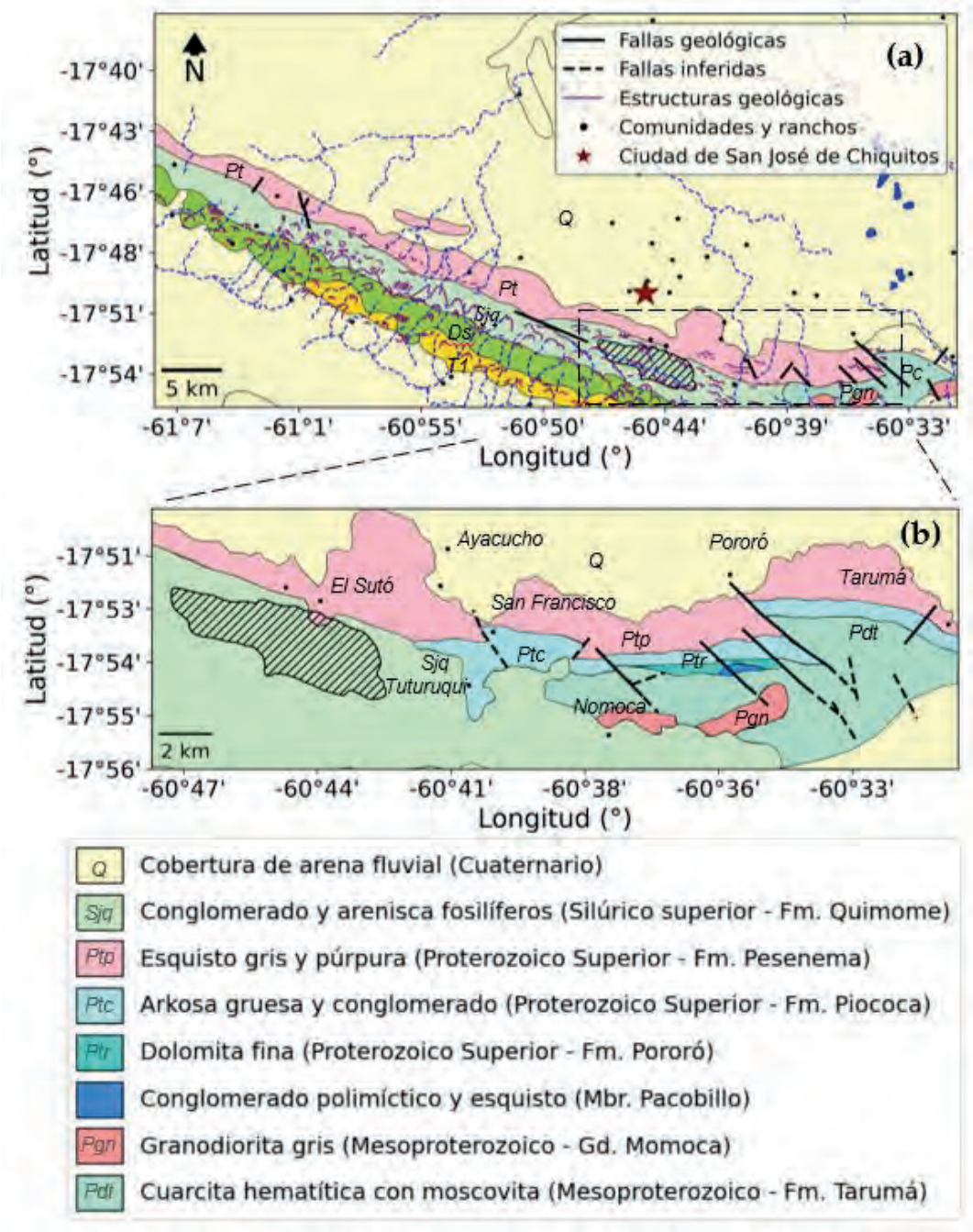


Figura 3. Formaciones geológicas de la Serranía de San José y aproximación al sitio de estudio. El mapa (a) se basa en el mapa geológico oficial de Bolivia (SERGEOMIN & YPFB, 2001)., mientras que el mapa (b) se adapta del "Proyecto Precambrico" (Appleton & Llanos, 1982). El segundo mapa destaca la zona de El Sutó, resaltando formaciones geológicas importantes. Adaptado de Guzmán-Rojo et al. (2025)

Algunos conceptos claves para entender este entorno:

- Macizo Chiquitano: Formado por rocas proterozoicas, como esquistos, cuarcitas y gneises. Son rocas muy antiguas, de gran dureza, que han sido sometidas a altas presiones y temperaturas en el interior de la Tierra.
- Formaciones sedimentarias: Sobre estos bloques de rocas cristalinas se han depositado, a lo largo de millones de años, capas de arenas y carbonatos que, por litificación, se transformaron en areniscas y dolomías (Formaciones Quimome y Pororó, respectivamente). Estas resultan esenciales para la infiltración y surgencia del agua subterránea.
- Relieve y surgencias: Las elevaciones y pendientes de la Serranía favorecen que el agua que se filtra por la arenisca aflore en puntos específicos al encontrarse con capas menos permeables.

En la Serranía de San José, estudios basados en series prolongadas de datos (2000–2019) registran una recarga anual media de 151 ± 33 mm de agua subterránea (ver Figura 4) de una precipitación promedio de 1050 mm/año. (Silva de Freitas, 2021). En otras palabras, de cada litro de agua que cae sobre 1 m², alrededor de 0,15 litros se infiltra hasta el acuífero. El 80% de esa recarga ocurre entre noviembre y marzo. Sin embargo, se ha detectado una reducción anual de 2,5 mm/año, que en 20 años suma 50 mm. Comparada con otras zonas, esta tasa se ubica entre las más elevadas (Coritza Taquichiri, 2023). Si recordamos que 1 mm de lluvia equivale a 1 litro de agua por m², también notaremos que una reducción de 2,5 mm/año durante 20 años suma 50 litros que ya no se infiltran en esa superficie. Multiplicando esa pérdida por miles de hectáreas, comprenderemos mejor la magnitud del problema.

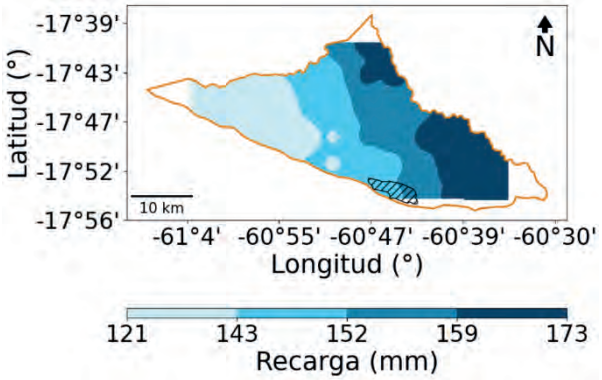


Figura 4. Recarga hídrica a gran escala en la zona de la serranía de San José. Adaptado de Guzmán-Rojo et al. (2025).

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La hidrogeología es el punto de encuentro entre la geología y la hidrología que estudia el agua subterránea; dónde se acumula en el subsuelo, cómo se mueve entre rocas y sedimentos, y cuál es su relación con la superficie. En San José de Chiquitos, por ejemplo, nos ayuda a comprender por qué el agua brota en algunos sitios, como la Vertiente El Sutó, y cómo llegó allí. Conocer estos procesos permite planificar la ubicación y uso responsable de pozos, prevenir la sobreexplotación y mantener la recarga de los acuíferos para que no falte agua.

TIPOS DE ROCAS Y ACUÍFEROS

En el suelo no todas las rocas dejan pasar el agua de la misma manera. Algunas forman acuíferos (espacios donde se almacena y circula el agua subterránea), mientras que otras actúan como barreras. En San José de Chiquitos destacan: las rocas areniscas fracturadas, las dolomías y las rocas metamórficas

Las areniscas fracturadas (Formación Quimome) funcionan como esponjas subterráneas que retienen y conducen el agua. En cambio, las dolomías (Formación Pororó), más compactas, forman 'barreras' que impiden la libre circulación, dando lugar a acuíferos colgados que producen vertientes donde la arenisca queda bloqueada por esta capa. Este tipo de rocas actúa como acuitardos (formaciones que retienen y transmiten muy lentamente el agua).

También se tienen rocas metamórficas, estas son rocas como gneises o esquistos que, al fracturarse, pueden almacenar algo de agua en sus fisuras, pero no suelen ser tan productivas como las areniscas. Aun así, a pequeña escala pueden formar reservorios de agua que contribuyen a la complejidad hidrogeológica local.

Comprender la geología de la serranía permite entender cómo se forma el acuífero y, en consecuencia, cómo el agua subterránea puede aflorar en El Sutó. En base a lo anterior, podemos afirmar que la Serranía de San José funciona como una zona de recarga muy heterogénea: la lluvia penetra y circula por las areniscas fracturadas. Sin embargo, cuando el agua en su camino se topa con capas de dolomía (menos permeables), se ve obligada a salir en puntos específicos de la ladera, dando lugar a vertientes que son zonas de descarga local de agua subterránea. Estas vertientes proporcionan agua incluso en la estación seca, pues el acuífero libera lentamente el agua acumulada en época de lluvias.

Específicamente en la Vertiente El Sutó, el agua subterránea circula por la arenisca fracturada hasta encontrar la capa de dolomía (Formación Pororó), que impide su descenso. Este "atasco" crea un acuífero colgado a media ladera (ver Figura 5.), y el agua finalmente aflora en la superficie. La velocidad del agua al circular por esta arenisca no es homogénea, ya que presenta mayores permeabilidades en la zona alta y menores en la zona baja (Tovar Gaviria, 2020) lo cual responde al grado de consolidación y fracturamiento, la zona alta al tener menos vegetación ha hecho que la arenisca sea más sujeta a meteorización.



Figura 5. Diagrama esquemático de la vertiente El Sutó, mostrando cómo la arenisca (Quimome) permite la infiltración y, al toparse con la dolomía (Pororó), se crea un acuífero colgado: El Sutó. En este esquema se puede apreciar algunas muestras de roca donde podemos notar sus diferentes características. Adaptado de Guzmán-Rojo et al. (2025) y Tovar Gaviria (2020)

En este contexto, datos recientes (Guzmán-Rojo et al., 2025) indican que, en la época lluviosa, 73.2% del agua caída logra infiltrar rápidamente, pero la mayor parte es consumida por las plantas y evaporada del suelo, dando lugar a una recarga media anual de 125 mm (últimos cinco años), aunque la precipitación anual en ese lapso ha bajado a rangos de 836–991 mm. Dicho de otra forma, un 16,4% de la lluvia total termina percolando hasta el acuífero (tras descontar la evapotranspiración).

QUÉ VEREMOS

En nuestro recorrido por la vertiente podremos apreciar diferentes elementos en tres paradas principales (ver Figura 7):

Parada 1 (P-1). El primer tramo del recorrido nos conducirá a la zona exacta donde el agua subterránea de El Sutó emerge a la superficie. Allí observaremos el punto de afloramiento. A lo largo de esta primera parada, apreciamos por qué la vertiente se origina precisamente en ese punto de la ladera de la serranía. Conoceremos, además, los piezómetros (véase Fotografía 2) y los sensores de nivel instalados para monitorear el agua. Esta infraestructura de medición permite cuantificar la recarga anual y detectar variaciones del nivel freático, aportando datos fundamentales para el uso responsable de los pozos y la planificación hídrica.

Para entender mejor su utilidad, piensa en el piezómetro como un termómetro del agua subterránea: si el nivel freático está alto, significa que ha llovido lo suficiente para recargar el acuífero. Con estos datos, podemos planificar el uso responsable de pozos y prevenir la sobreexplotación.



Fotografía 2. Imagen de un piezómetro instalado en la zona baja, que permite monitorear las variaciones del nivel freático.

Parada 2 (P-2). Al ascender algunos metros hacia la zona media (oeste) de recarga, apreciamos como la vegetación nativa cumple un rol fundamental al permitir que el agua de lluvia penetre en el suelo y recargue los acuíferos subyacentes. En este lugar, se han instalado instrumentos para el estudio de la interacción agua-planta, como sensores de flujo de savia (o medición de la transpiración) y dispositivos que permiten evaluar la evaporación a través de parámetros críticos como el albedo (véase Fotografía 3). Estas mediciones aclaran de qué forma la cubierta vegetal, al retener parte del agua en su follaje y suelo, influye en la cantidad que finalmente se filtra. En esta segunda parada se

comprenderá mejor el delicado balance entre evaporación, transpiración, intercepción foliar y recarga efectiva. La transpiración de las plantas es como nuestro sudor: el agua que viaja por el tronco y se evapora por las hojas. Con los sensores de flujo de savia, medimos esa 'evaporación vegetal' y entendemos mejor cómo el bosque aprovecha el agua.



Fotografía 3. Sensores experimentales instalados, que perrmiten monitorear el flujo de savia, humedades y albedo.

Parada 3 (P-3). El recorrido culminará en un mirador panorámico que permitirá contemplar, desde lo alto, las capas de roca que constituyen la Serranía de San José y que sostienen el sistema de vertientes locales, incluidas otras que abastecen a comunidades ubicadas al pie de la serranía. Este punto ofrece una visión privilegiada de la arenisca (Formación Quimome) y de los afloramientos de dolomía (Formación Pororó), cuya disposición en el subsuelo da lugar a los denominados acuíferos colgados. Desde aquí, se aprecia cómo la arenisca domina la parte alta y la dolomía aparece más abajo, generando el surgimiento de manantiales al pie de la serranía.

TIPOS DE AGUA

Cuando el agua de lluvia o la de escorrentía superficial se infiltra y desciende a través de la serranía de San José, entra en contacto con distintos tipos de rocas: principalmente areniscas fracturadas (Formación Quimome) y, en menor medida, dolomías (Formación Pororó). El tiempo de residencia subterránea y el tipo de roca determinan la composición química del agua.

El agua de la vertiente El Sutó presenta baja salinidad (conductividad eléctrica en torno a 450–500 µS/cm) y composición bicarbonatada cálcica (Ca–HCO_3). Esto sugiere una recarga local y un tránsito relativamente rápido por las fracturas de la arenisca, sin alcanzar a disolver demasiados minerales,

Pozos algo más profundos (100 m) al pie de la serranía pueden mostrar valores mayores de conductividad (hasta 1200 µS/cm), evidenciando una interacción subterránea más prolongada con las rocas y, en consecuencia, mayor mineralización (Drew Roca, 2021).

Aun así, en ambos casos se mantiene una baja concentración de sales comparada con otras regiones más áridas, lo que indica, en términos generales, aguas de buena calidad para el consumo que puede requerir un tratamiento simple antes de ser consumida.

Al ser un acuífero con fuerte dependencia de la recarga estacional el agua que fluye en El Sutó "es relativamente joven": no pasa demasiado tiempo en contacto con la dolomía subyacente. La fracturación de la arenisca y la rápida infiltración en época lluviosa explican por qué el agua presenta una salinidad baja y una composición mayormente bicarbonatada cálcica.

AGUA Y SOCIEDAD

Históricamente, San José de Chiquitos se ha abastecido de vertientes naturales y también ha perforado pozos para extraer el agua subterránea cuando la demanda ha crecido o cuando hay sequías prolongadas. Hoy, la mayoría del suministro de agua potable para la zona urbana y diversas comunidades aledañas proviene de pozos profundos (80–120 metros) y captaciones de vertientes, como la de El Sutó.

Además, en épocas anteriores se usaban métodos más sencillos (pozos someros, acequias pequeñas), y con la ampliación de la población se han instalado tuberías y redes más grandes para llevar el agua desde pozos profundos (con bombas) hasta los hogares. También hay azudes (pequeñas represas) y tomas directas de arroyos estacionales para usos agrícolas o ganaderos.

Cabe señalar que muchas de estas fuentes de agua (pozos y vertientes) dependen, en última instancia, del mismo acuífero. Lo que hagamos en la zona de recarga (donde el agua de lluvia se infiltra) puede afectar la disponibilidad de los pozos y vertientes más abajo. Por eso, evitar la contaminación y proteger las zonas de recarga es esencial para la sostenibilidad hídrica local.

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

El bosque seco, los humedales estacionales y los ríos que se observan en los alrededores de San José de Chiquitos están muy ligados al acuífero. Aunque a veces no lo veamos, el agua fluye por debajo del terreno y emerge en ciertas zonas, aportando un caudal base a arroyos, humedales (llamados "curichis") y vertientes.

En este sentido, los ambientes naturales que se benefician del agua subterránea incluyen ríos y arroyos estacionales ya que cuando la superficie se seca, el caudal base puede provenir del acuífero, que aflora discretamente. El mismo bosque chiquitano, cuyas raíces pueden aprovechar el agua infiltrada y árboles como el cuchi presentan adaptaciones para sobrevivir con mínima humedad. Y desde luego las vertientes y manantiales, donde el agua sube a la superficie por la presión interna o la topografía (como El Sutó). Allí se forman pequeños humedales y refugios de fauna.

Si se redujera drásticamente el nivel freático (por disminución de la recarga y/o sobrebombeo), muchos riachuelos podrían secarse más rápido y las vertientes perder caudal, afectando la biodiversidad local. Tras grandes incendios (frecuentes en la Chiquitania), el suelo puede volverse hidrofóbico y disminuir la recarga al acuífero (ver Figura 6), con secuelas graves en los ecosistemas.

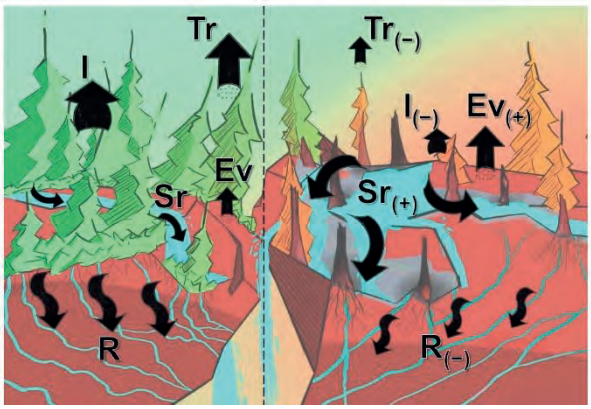


Figura 6. Representación de los procesos hidrológicos en un ecosistema forestal, que ilustra la alteración de los componentes del balance hídrico tras un incendio forestal. Extraído de Guzmán-Rojo et al. (2024b)

En base a lo expuesto, esta guía enfatiza la estrecha relación vida–aguas subterráneas. Proteger las zonas de recarga, evitar fuegos descontrolados y gestionar adecuadamente los residuos y otras fuentes de contaminación son acciones clave para asegurar el agua de hoy y de mañana.

AGRADECIMIENTOS

Esta guía fue escrita por Mónica Guzmán Rojo, responsable del Grupo de Investigaciones Hidrológicas (IHDRA) de la Universidad Católica Boliviana San Pablo (UCB), en coautoría con Paola Alvizuri investigadora del Centro de Investigación en Agua, Energía y Sostenibilidad (CINAES) de la UCB, y Jennyfer Viruez, Responsable de la UCPN-Santa Cruz La Vieja del Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz (GAD-SCZ),

Las autoras agradecen a Luis E. Poggi, coordinador del proyecto KOFI Bosques y Territorios de la ONG PRODECO, por su apoyo en la gestión de videos, fotografías y la difusión del evento.

En la misma línea agradecemos a las personas que aportaron con elementos de diseño, fotografías y videos, antes y/o durante el evento: Rocio Singo, Marsha Regina Lopez, José Carlos Quinteros, Lucía Martínez y Sebastián Soqueré.

Un especial agradecimiento a todas las instituciones patrocinadoras y colaboradoras, cuyas acciones hicieron posible el Hidrogeodía 2025 en San José de Chiquitos: Gobierno Departamental de SCZ a través de la Subgobernación de la Provincia Chiquitos, la Cooperativa de agua Primero de Mayo (COMAYO), PRODECO con el proyecto binacional Bosques y Territorios, a través de la campaña binacional "Más Bosque, Más Vida", PROBIOMA con su programa de Monitores del Agua, The International Congress of Water Sustainability and Technology (IWaST) y The International Water Association (IWA-Bolivia).

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA SAN JOSÉ

Si durante el trayecto generas residuos (botellas plásticas, envoltorios), guárdalo contigo hasta el final. Recuerda que parte de la riqueza de la región reside en sus bosques secos y humedales, esenciales para mantener el equilibrio hídrico. Toma únicamente fotografías y déjalo todo tal como lo encontraste.

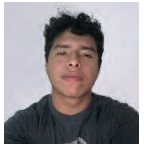
LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA SAN JOSÉ 2025

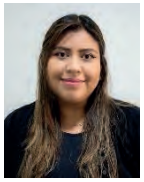

Orlando López Rodas (UCB)


Ricardo Jiménez Gil (UCB)


Sergio Anderson Ch.F. (UCB)


Jorge Fernando Morales (UCB)


Gustavo Céspedes Angulo (UCB)


Marsha Regina López (UCB)

PARA SABER MÁS

Appleton, J.D., & Llanos, A. (1982). *Prospección Geoquímica por Metales Base en la Ínsula de San José de Chiquitos (Technical Report No. 16, Ae-PRE-0016e).* Ministerio de Minería y Metalurgia, República de Bolivia; Overseas Development Administration (ODA), Foreign and Commonwealth Office, Reino Unido.

Coritza Taquichiri, E.F. (2023). *Groundwater Recharge Estimation in Eastern Bolivia Using Remotely-Sensed Hydrometeorological Variables* [Tesis de Maestría, Vrije Universiteit Brussel & KU Leuven]. Bruselas, Bélgica.

Drew Roca, N. A. (2021). *Hidrogeoquímica del acuífero del centro urbano de San José de Chiquitos, Santa Cruz (Bolivia)* [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica Boliviana San Pablo]. Cochabamba, Bolivia.

Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. (2025). *Plan de Manejo de la Unidad de Conservación del Patrimonio Natural Santa Cruz La Vieja*. Santa Cruz, Bolivia [en revisión].

Guzmán-Rojo, M. (2024a). *Fire and Water: Assessing Vulnerability and Hydrological Alterations in Groundwater Recharge Post-Wildfire in the Chiquitano Dry Forest, Bolivia* [Tesis doctoral, Vrije Universiteit Brussel]. Bruselas, Bélgica.

Guzmán-Rojo, M., Fernandez, J., d'Abzac, P., & Huysmans, M. (2024b). Impacts of Wildfires on Groundwater Recharge: A Comprehensive Analysis of Processes, Methodological Challenges, and Research Opportunities. *Water, 16*(13), 2562. https://doi.org/10.3390/w16182562

Guzmán-Rojo, M., Silva de Freitas, L., Taquichiri, E., & Huysmans, M. (2025). Groundwater Vulnerability in the Aftermath of Wildfires at the El Sutó Spring Area: Model-Based Insights and the Proposal of a Post-Fire Vulnerability Index for Dry Tropical Forests. *Fire, 8*(3), 86. https://doi.org/10.3390/fire8030086

Quisnancela Cabay, E.L. (2021). *Assessing Evapotranspiration with Remote Sensing Data of the Natural Vegetated Area around "El Suto" Water Spring—Bolivia* [Tesis de Maestría, Vrije Universiteit Brussel & Katholieke Universiteit Leuven]. Bruselas, Bélgica.

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN) & Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB). (2001). *Mapa Geológico de Bolivia, Escala 1:1.000.000*. SERGEOMIN|YPFB.

Silva de Freitas, L. (2021). *Remotely-Sensed Estimate of Groundwater Recharge and Its Correlation with Deforestation and Fire in Eastern Bolivia* [Tesis de Maestría, Katholieke Universiteit Leuven & Ghent University].

Tovar Gaviria, A. (2020). *Development of a Geological Methodology to Identify Potential Recharge Zones Based on Permeability and Fracture Density of the Rocks: A Case Study in San José Range, San José de Chiquitos (Bolivia)* [Tesis de Maestría, Vrije Universiteit Brussel & KU Leuven].

NOTAS

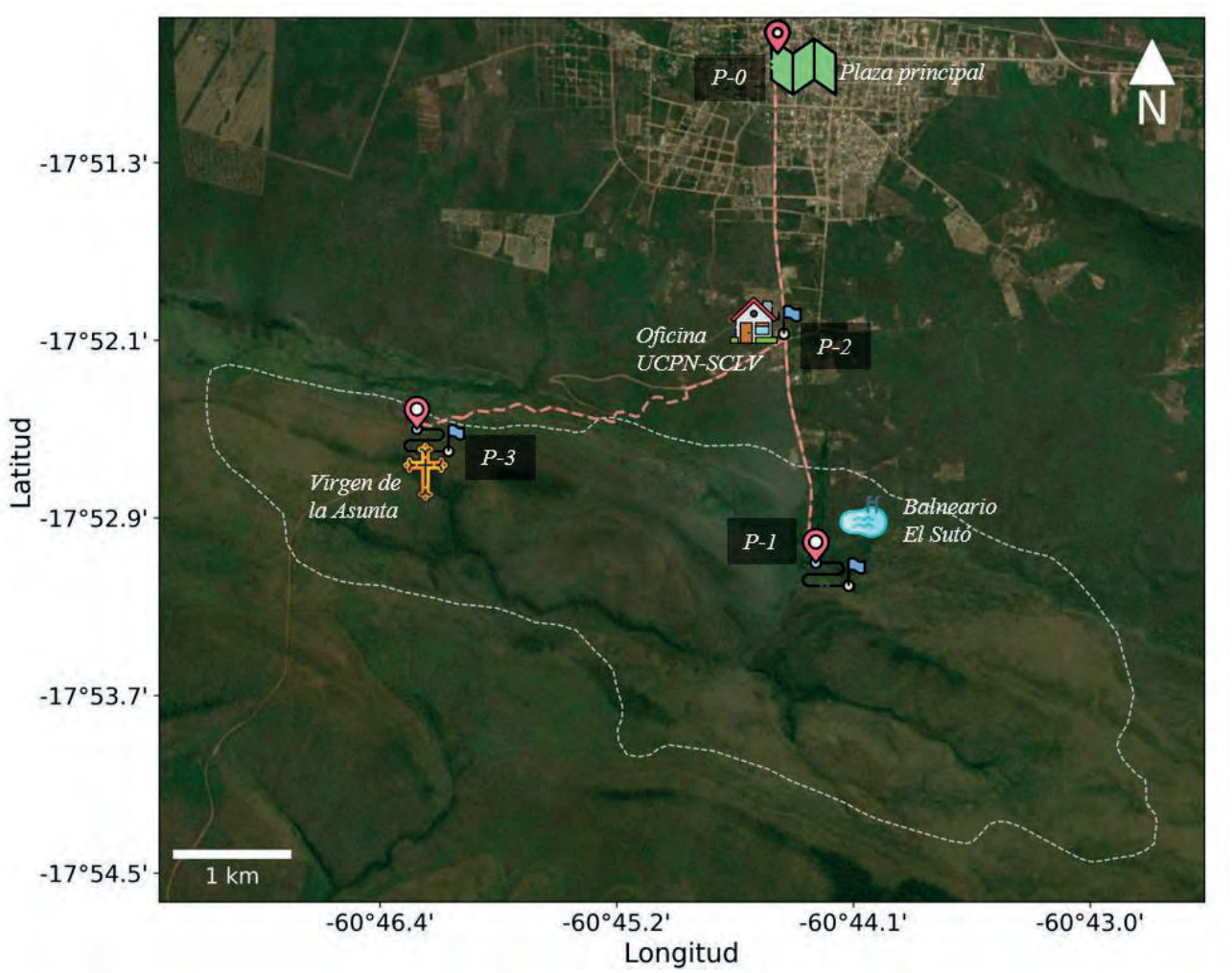
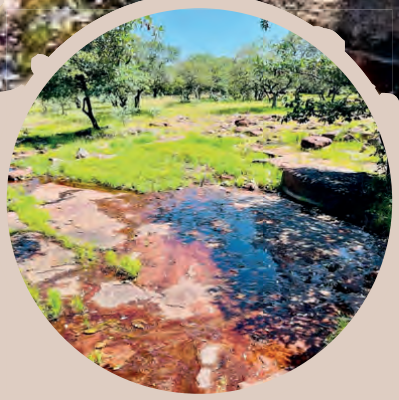


Figura 7. Ruta con tres puntos de caminata en el área de la vertiente El Sutó. (P-1, P-2 y P-3). La caminata inicia en la Plaza Principal (P-0) y se dirige primero a la zona de afloramiento (P-1). Posteriormente se asciende hacia la zona media (P-2), donde se aprecian los sensores de medición hidrológica, y finalmente se sube hasta un mirador panorámico (P-3).



Botswana

Lecheng Natural Springs







THEME

"Groundwater Guardians : Protecting Our Invisible Resource"

ENQUIRIES

Ms Tshenolo Larona Chaba +26776485697
Ms Phatsimo J Obuseng +26774001654
email: hydrogeodaybotswana@gmail.com

DETAILS

Venue: Lecheng Natural Water Springs
Date : 21 March 2025
Event start: 0700hrs
Event Ends: 1700hrs

ACTIVITIES

Presentations
Panel Discussions
Field trip
Student Quizzes and Awards

HIDROGEODÍA 2025

aqualogic 502
Finding excellence

BIUST
BOTSWANA INTERNATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

WATER UTILITIES CORPORATION

SEG
BIUST STUDENT CHAPTER

iah aih
Asociación Internacional de Hidrogeólogos



Brazil

HIDROGEODÍA 2025

PATRIMÔNIO HÍDRICO DA Serra do Botafogo

Aquíferos ameaçados pela expansão da mineração

Sábado, 22 de março, às 8h30
Serra do Botafogo, Ouro Preto, MG

Ponto de Encontro:
Guarita na entrada da comunidade de Botafogo
e na Capela de Santo Amaro

Obs.: Ônibus do consórcio rota real
saindo da rodoviária de Ouro Preto às 8h

Contato: @pet_geo_ufop

APAOP · GEOCIÊNCIAS SEM MUROS · PET ENGENHARIA GEOLÓGICA · UNESCO Chair · iah aih · PROEX · UFOP · AMAB Associação dos Moradores e Amigos de Botafogo



AUTORES

Docentes: Adivane Terezinha Costa (Cátedra UNESCO Água Mulher e Desenvolvimento, UFOP, Brasil);

Rodson de Abreu Marques (UFOP, Brasil)

Discentes: Alice Mendes dos Santos, Bárbara Maria de Paula Botaro, Helena Alves Bosze, Izis Samira Cipriano do Carmo, Letícia Massri Barreira Rodrigues da Cunha, Líria Barros, Ludymilla Agnes Ferreira, Nayara Almeida Silva, Vitória Estorino de Abreu, Vitória Rodrigues França, Maria Tereza Godoy, Cristiane Gonçalves e Wilck Guilherme de Campos

O HIDROGEODIA

O Hidrogeodia é uma ação, criada pela AIH-GE (Associação Internacional de Hidrogeólogos- Ibero América) desde 2017, que visa promover conhecimentos sobre a hidrogeologia e divulgar para a comunidade a importância das águas subterrâneas, aproximando a academia e comunidades para discutir soluções sustentáveis e promover a gestão desse recurso vital invisível que abastece milhões de pessoas, mantém rios e nascentes, essencial para agricultura e manutenção dos ecossistemas.

A terceira edição do Hidrogeodia foi realizada no Dia Mundial da Água (22/03/2025) na Serra do Botafogo - Ouro Preto, MG. Localmente, este evento é organizado pela Cátedra UNESCO Água Mulher e Desenvolvimento (NUCAT), PROEX UFOP, PET Engenharia Geológica da UFOP com diversas parcerias de programas institucionais e associações comunitárias como o Programa Geociências Sem Muros, Programa Participa Minas, Associação de moradores e amigos do Botafogo (AMAB) e Associação de Proteção Ambiental de Ouro Preto (APAOP), entre outros.

A atividade, será realizada de forma gratuita e aberta ao público. Ela ocorrerá na Serra do Botafogo através de uma excursão com o público visitando uma área que mostra os aquíferos e o papel das águas subterrâneas principalmente para abastecimento e a manutenção da biodiversidade. Será realizada reflexão e diálogos sobre o que pode acontecer quando as águas subterrâneas da região se encontram ameaçadas a desaparecer, devido à destruição irreversível dos aquíferos (caixa d`água das águas), afetados pelo licenciamento de seis mineradoras na Serra do Botafogo, situadas no portal à 7 Km do centro histórico de Ouro Preto, detentora do título de Patrimônio Mundial da Humanidade pela UNESCO!

ROTEIRO

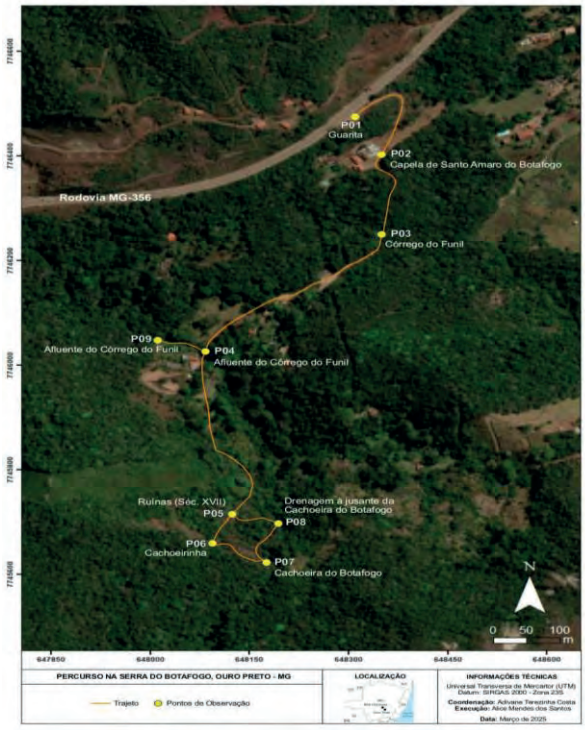


Figura 1: Mapa do percurso que será realizado durante o Hidrogeodia 2025 no entorno da Serra do Botafogo, Ouro Preto/MG.

Ponto 01 (P01) - Ponto de encontro do Hidrogeodia 2025, onde é possível visualizar as formações ferríferas e cangas do aquífero associado à Fm. Saramenha (Figura 2A). Atualmente, as rochas deste aquífero estão submetidas ao processamento de lavra a céu aberto (Mina Patrimônio) a 90 metros da comunidade do Botafogo sob responsabilidade da LC Participações e Consultoria LTDA (Figura 2B).



Figura 2: (A) Ponto de encontro (rodovia MG-356) na entrada para a comunidade do Botafogo. (B) Execução de lavra a céu aberto pela LC Participações e Consultoria LTDA. Foto (2B): Líria Barros.

Ponto 02 (P02) - Ponto de observação da Capela de Santo Amaro do Botafogo (séc. XVII) pertencente à paróquia do Pilar sediada em Ouro Preto/MG e locais adjacentes utilizados pela comunidade (Figura 3). A Serra do Botafogo e os elementos históricos, culturais, religiosos, paisagísticos, hídricos e sociais que a compõem são lugares de memórias, identidade e pertencimento, tanto que lhe confere o valor de Patrimônio Cultural Material e Imaterial de Minas Gerais.



Figura 3: Capela de Santo Amaro do Botafogo (Séc. XVII), Ouro Preto/MG.

Ponto 03 (P03) - Ribeirão do Funil, afluente do Rio das Velhas (Figura 4A), importante manancial hídrico que abastece as comunidades de Cachoeira do Campo, Glaura, Santo Antônio do Leite, Bocaina, Maracujá e após encontrar com o Rio das Velhas, também é fonte de águas para abastecer a região metropolitana de Belo Horizonte. A partir do monitoramento hídrico participativo, identificou-se uma vazão de 732 L/s no Funil, condizente com o período de seca, e concentrações muito baixas de substâncias químicas inorgânicas, coerente com córregos de classe especial. Entretanto, verificou-se a presença elevada de E. Coli e coliforme totais, necessitando de intervenções com relação ao tratamento de esgoto doméstico na cabeceira. Após a recém instalação da Mina Patrimônio na cabeceira, observou-se, após a chuva, um aumento exorbitante da turbidez e sólidos em suspensão, afetando a qualidade da água do manancial (Figura 4B).



Figura 4: (A) Ribeirão do Funil. (B) Aumento da turbidez no Ribeirão do Funil após chuva (um mês após a instalação da Mina Patrimônio).

Ponto 04 (P04) - Afluente importante do Ribeirão do Funil, utilizado para captação de água da comunidade. A partir do monitoramento hídrico participativo, como no ponto 03, identificou-se concentrações muito baixas de substâncias químicas inorgânicas, coerente com córregos de classe especial. Entretanto, verificou-se a presença coliforme totais, necessitando de intervenções com relação ao tratamento de esgoto doméstico na cabeceira.



Figura 5: Afluente do Córrego do Funil.

Ponto 05 (P05) - O casarão construído por tapera de pau a pique com estruturas de alvenaria de pedra pertencente à antiga fazenda conhecida como "Irmãs Margaridas" faz parte do sítio histórico e arqueológico Cabeceira do Funil (Baeta, 2024). A área externa e o quintal rentes a um afloramento rochoso em meio a árvores centenárias de Mata Atlântica junto a remanescentes de moinho sustentado por um muro de pedras também constituem o conjunto histórico e arqueológico da região.

Figura 6: Ruínas do séc. XVII. Foto: Líria Barros.



Ponto 06 (P06) - A pequena queda d'água conhecida como cachoeirinha é sustentada por rochas intercaladas entre formações ferríferas e xistos ferruginosos da Fm. Cercadinho (Aquífero Cercadinho). Nas rochas lateralmente observa-se o gotejamento gerado pela porosidade efetiva da formação ferrífera, evidenciando a potencialidade deste aquífero. À montante deste ponto, a água é captada pela comunidade para consumo.



Figura 7: Cachoeirinha, queda d'água do Aquífero Cercadinho. Foto: Líria Barros.

Ponto 07 (P07) - Cachoeira do Funil ou Cachoeira do Botafogo demonstra a abundância hídrica dos aquíferos na região como a Fm. Cercadinho. As águas cristalinas da cachoeira é o ponto à montante do afluente do Ribeirão Funil observados nos pontos 04, 08 e 09.



Figura 8: Cachoeira do Funil, águas do Aquífero Cercadinho. Foto: Líria Barros.

Ponto 08 - Drenagem à jusante da Cachoeira do Botafogo onde pode-se visualizar as águas cristalinas em meio à Mata Atlântica preservada.

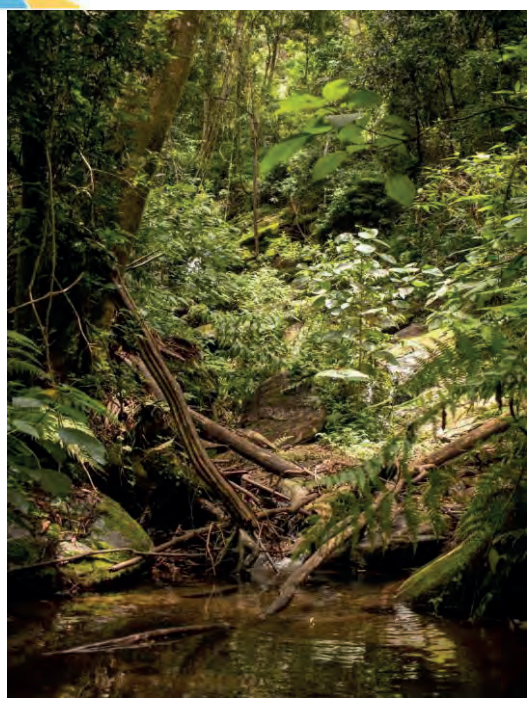


Figura 9: Drenagem à jusante da Cachoeira do Botafogo. Foto: Líria Barros.

Ponto 09 - Desembocadura do afluente no Ribeirãoo Funil, à jusante da cachoeira do Botafogo.



Figura 10: Afluente do Córrego do Funil.

A COMUNIDADE DO BOTAFOGO

A comunidade de Botafogo, anteriormente conhecida como Santo Amaro, compõe o município de Ouro Preto-MG, Brasil. O distrito em relação a sede municipal, situa-se a uma distância de 10 Km, com acesso por meio da BR-040 e BR-356. A fundação da localidade remete ao clímax do ciclo do ouro, no final do século XVII. Sendo assim, um dos mais antigos povoados ouropretanos (Amaro; Redini, 2015).

Sob a ótica fisiográfica, a região de Botafogo é delimitada pelas Serras do Siqueira, do Chafariz e da Bocaina. Do ponto de vista ambiental, configura-se como um ecótono entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, destacando-se pela elevada heterogeneidade ecológica e biológica. Seu perímetro abrange unidades de conservação de significativo valor ambiental e geológico, como a Área de Proteção Ambiental (APA) Andorinhas e a Estação Ecológica do Tripuí, sendo esta última habitat do espécime Peripatus acacioi (Figura 11), considerado um elo evolutivo dos invertebrados (Moreira-Neto et al. 2017). A região de Botafogo, além de sua relevância histórica, arqueológica e ambiental, apresenta expressiva importância hidrogeológica, abrigando afluentes que integram as bacias do Rio São Francisco e do Rio Doce, representados pelos segmentos hidrográficos do Ribeirão Funil e do Córrego Botafogo, sendo o primeiro responsável pelo abastecimento de aproximadamente 13 mil habitantes (Costa; Adivane, 2024). Adicionalmente, destaca-se pela presença de um sistema hídrico subterrâneo composto por três unidades aquíferas principais: Aquífero Cauê, Aquífero Cercadinho e Aquífero Gandarela, fundamentais para a dinâmica hídrica e patrimonial da região.



Figura 11: Registro de Peripatus acacioi na Estação Ecológica do Tripuí. Fonte: MOREIRA-NETO, Leandro; SALES, Anderson; LIMA, Camila; AMARAL, Francine; BARROS-JUNIO, Isaías; MATILDES, Cristiane; BATISTA, Nayara. (2017).

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Comunidade do Botafogo, localizada no município de Ouro Preto, Minas Gerais, está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero (QFe), situado ao sul do Cráton do São Francisco.

De acordo com Chemale Jr. et al. (1991), a Serra de Ouro Preto, na região da comunidade foi moldada por dois importantes eventos tectônicos do período Proterozóico. O primeiro, no Proterozóico Inferior, foi de natureza extensional, resultando na formação de megassinclinais interconectados e no soerguimento de complexos granito-gnáissicos, como os de Santa Rita, Bonfim, Bação, Belo Horizonte e Caeté (Figura 12). O segundo evento, de caráter compressional e datado do Proterozóico Superior, esteve relacionado com o fechamento do proto-oceano Brasiliano/Africano, especialmente na porção leste do QFe. Esse processo originou relevantes estruturas geológicas, com destaque para as anticlinais da região.

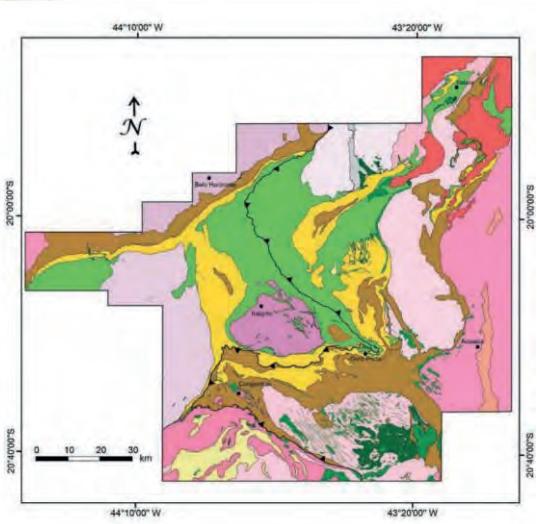


Figura 12: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte - (Endo et al. 2019).

Segundo Endo et al. (2019), o QFe possui uma estratigrafia (Figura 13) composta por unidades litodêmicas e litoestratigráficas das eras Arqueanas, Paleo-Meso-Neoproterozóica e Cenozóica. A coluna estratigráfica do QFe, da base ao topo, é composta por: Complexos Metamórficos, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Supergrupo Estrada Real, Grupo Barbacena, Supergrupo Espinhaço e Unidades Sedimentares.

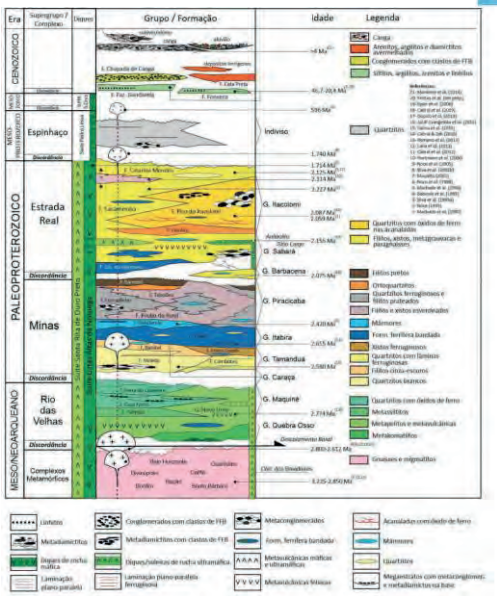


Figura 13: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero Fonte - (Endo et al. 2019)

Na região de Botafogo, afloram as formações Cauê, Gandarela e Cercadinho, pertencentes ao Supergrupo Minas, além da Formação Saramenha, que integra o Supergrupo Estrada Real. As coberturas cenozóicas de canga também recobrem as formações ferríferas bandadas, adicionando diversidade às características geológicas da área (Figura 14).

O Supergrupo Minas é composto pelos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. O Grupo Itabira apresenta rochas metassedimentares de origem marinha, incluindo itabiritos, filitos, quartzitos e mármores da Formação Cauê, além de filitos dolomíticos, mármores dolomíticos e itabiritos da Formação Gandarela (Endo et al, 2019).

O Grupo Piracicaba possui quartzitos ferruginosos, dolomitos, xistos e metaconglomerados da Formação Cercadinho, além de metassiltitos (Endo et al, 2019).

O Supergrupo Estrada Real é formado pelos grupos Sabará e Itacolomi. O Grupo Sabará contém, da base para o topo, as formações Saramenha, Córrego do Germano e Catarina Mendes. A Formação Saramenha é composta por xistos, quartzitos, formações ferríferas bandadas e metagrauvacas intercaladas em micaxistos (Endo et al, 2019).

A Unidade Cenozóica é representada pela canga, um aglomerado rochoso constituído predominantemente por fragmentos de formações ferríferas, além de filito e quartzo, cimentados por óxido de ferro (Endo et al, 2019).

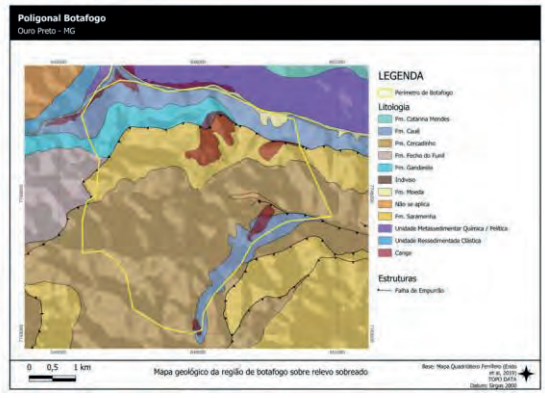


Figura 14: Mapa geológico da região do Botafogo.

HIDROGEOLOGIA

No Quadrilátero Ferrífero são identificadas sete unidades hidrogeológicas, os aquíferos inconsolidados, aquíferos quartzíticos (Aquíferos Maquiné, Moeda, Taboões, Itacolomi e Cercadinho), aquífero carbonático (Aquífero Gandarela), aquíferos em formações ferríferas (Aquífero Cauê e Nova Lima), aquíferos em xistos (Aquíferos Nova Lima e Sabará), aquíferos em rochas granito-gnáissicas e unidades confinantes (Mourão 2007).

Na comunidade de Botafogo, encontram-se 4 dos principais aquíferos do Quadrilátero Ferrífero (Lobato et al. 2005; Rodrigues 2024), o Aquífero Cauê, Aquífero Cercadinho, Aquífero Gandarela e Aquífero Inconsolidado (Figura 15).

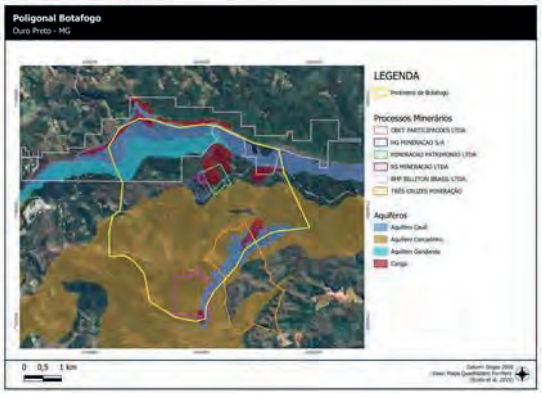


Figura 15: Mapa com as formações hidrogeológicas (aquíferos) mais importantes na escala 1:50.000 com sobreposição dos empreendimentos minerários.

Mourão (2007) aborda que os aquíferos inconsolidados são aqueles situados em cangas e lateritas associados a unidades ferruginosas, tais aquíferos apresentam elevada porosidade, sendo estas intersticiais, são aquíferos livres e heterogêneos com elevada condutividade hidráulica. Tal aquífero, junto com o Aquífero Cauê constitui o Geossistema Hidroferruginoso (Rodrigues 2024).

O Aquífero Cauê é o principal aquífero do Quadrilátero Ferrífero. De acordo com Mourão (2007), este está associado às formações ferríferas bandadas da Formação Cauê. Ele é limitado na base pela Formação Batatal, que apresenta unidades de baixa permeabilidade, constituída principalmente por filitos sericíticos e, em menor proporção, por filitos dolomíticos ou grafitosos. No flanco sul do Anticlinal de Mariana, o Aquífero Cauê é sobreposto pelos filitos da Formação Batatal e xistos do Grupo Nova Lima, enquanto no flanco norte, ele é sobreposto pela Formação Gandarela, que contém um aquífero fraturado ou cárstico em conexão hidráulica com o Aquífero Cauê.

Este aquífero é classificado como, majoritariamente, livre (Mourão 2007), sendo regionalmente confinado (Silva *et al.* 1994) com porosidade fissural ou granular (Mourão 2007).

O Aquífero Cercadinho é classificado como do tipo fissural e granular, que se encontra confinado por intercalações de filito e metapelitos, este possui elevada porosidade e permeabilidade (Silva *et al.* 1994). Este aquífero pode se encontrar localmente conectado com os aquíferos Gandarela e Cauê por meio de estruturas tectônicas (Mourão 2007).

No caso do Aquífero Gandarela, este está associado às rochas carbonáticas da Formação Gandarela. Tal aquífero é classificado como fraturado e cárstico, podendo ser livre ou confinado por unidades metapelíticas ou materiais argilosos (Mourão 2007). De acordo com Silva *et al.* (1994) este aquífero tem pequeno potencial de águas subterrâneas explotáveis uma vez que possui baixo grau de carstificação e fraturas e condutos preenchidos por argila.

Como pode ser visto no mapa (Figura 16), o território do Botafogo pode ser considerado um patrimônio hídrico pela presença de aquíferos de alta relevância e Zona de Recarga Hídrica das bacias dos Rios Doce e São Francisco que estão sendo ameaçados por empreendimento minerários que extraem os aquíferos de forma irreversível, desencadeando rebaixamentos dos níveis de água subterrânea, perdas de nascentes e dos mananciais hídricos de abastecimento humano.

Levando em consideração as características físicas e químicas naturais dos aquíferos, e consequentemente das nascentes, tem-se um reflexo dos meios por onde a água passa. A qualidade da água consumida depende não apenas do tipo de rocha do aquífero, mas também das atividades humanas realizadas próximas ao trajeto da água, desde a nascente até o reservatório, destacando a importância de considerar tanto os fatores geológicos quanto os antrópicos na gestão dos recursos hídricos para garantir a preservação e o uso adequado desses sistemas aquíferos essenciais para a região

BACIAS HIDROGRÁFICAS

O município de Ouro Preto está inserido em uma região de grande importância hidrográfica, onde a sua Serra homônima atua como um divisor natural de bacias hidrográficas. Ao Norte, encontra-se o Rio das Velhas, cuja nascente está no Parque Natural Municipal das Andorinhas (PNMA) e percorre seu curso até desaguar no Rio São Francisco no distrito de Barra do Guaicuy, município de Várzea da Palma, na qual sua foz encontra-se no nordeste do Brasil. Ao Sul, destaca-se o Rio do Carmo, que abastece o Rio Doce e desemboca no estado do Espírito Santo.

Essa característica também se manifesta na localidade de Botafogo, cujo território abrange segmentos hidrográficos que abastecem as grandes bacias do Rio São Francisco e do Rio Doce. Entre eles, destacam-se o Ribeirão do Funil que abastece cerca de 15.000 pessoas das comunidades próximas (Cachoeira do Campo, Glaura, Santo Antônio do Leite, Bocaina e Maracujá) e é fonte de águas para o Rios das Velhas que abastece boa parte da região metropolitana de Belo Horizonte. Essa microbacia possui uma área de cerca de 6295,12 m² e perímetro de 62,95m, com suas nascentes localizadas na região, sendo um afluente do Rio São Francisco. Além disso, o Córrego Botafogo também integra a rede hidrográfica local, atuando como um afluente do Rio Doce.



Figura 16: Bacias hidrográficas na localidade de Botafogo.

Dessa forma, o forte impacto ambiental de atividades mineradoras nesses cursos d'água pode comprometer tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água para as comunidades que são abastecidas pelo Ribeirão do Funil. Já no caso do Córrego Botafogo, eventuais alterações podem afetar a biodiversidade da Reserva Ecológica do Tripuí, localizada nas proximidades de Botafogo.

A MINERAÇÃO NO BOTAFOGO

Ouro Preto, patrimônio mundial da humanidade reconhecido pela UNESCO desde 1970, foi um dos principais centros de mineração de ouro no Brasil colonial. Explorada inicialmente devido à abundância desse metal precioso, a região viu seu potencial mineral se expandir ao longo do tempo.

Na Comunidade de Botafogo, o avanço do conhecimento geológico impulsionou o interesse por outras commodities, como o minério de ferro e o manganês, que são os principais minerais extraídos na região atualmente. Atualmente, seis mineradoras operam ou possuem processos de licenciamento em andamento para exploração mineral: BHP BILLITON BRASIL LTDA, CBRT PARTICIPAÇÕES LTDA, HG MINERAÇÃO S/A, MINERAÇÃO PATRIMÔNIO LTDA, MINERAÇÃO TRÊS CRUZES LTDA E RS MINERAÇÃO LTDA. Esses empreendimentos são regulamentados pela Agência Nacional de Mineração (ANM) e SUPRAM- MG, que controla a concessão e fiscalização das atividades. Atualmente em operação encontra-se a Mineração RS (Figura 17) e a mineração LC Participações ou Patrimônio (Figura 18).

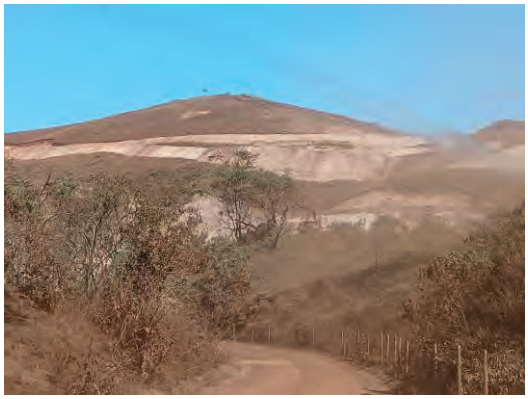


Figura 17: Mineração RS sobre o aquífero Cauê e cangas e Cercadinho.



Figura 18: Mineração LC Participações ou Patrimônio sobre o aquífero da formação Saramenha e cangas.

Essas atividades minerárias têm sido palco de intensos conflitos com a comunidade e a academia, principalmente devido aos impactos ambientais, hídricos, sociais e culturais, históricos e arqueológicos. Trata-se de uma região de grande importância de tombamento como unidade de conservação.



Figura 19: Minerações ativas na área de Botafogo.

Em relação ao impacto hídrico, a região está situada sobre importantes aquíferos e zonas de recarga das bacias hidrográficas do São Francisco e do Rio Doce. O minério de ferro pretendido refere-se ao principal aquífero (Formação Cauê) além das cangas e formação Saramenha. Nesse contexto a destruição irreversível dos aquíferos incluindo perdas do manancial hídrico de abastecimento local e também como fonte de águas que abastecem a região metropolitana de Belo Horizonte, pode ser considerado um crime hídrico ambiental estimado. A contaminação da rede hídrica e o alto consumo de água pela atividade mineradora também são pontos de preocupação.

Outro impacto ambiental significativo é o aumento do tráfego de veículos pesados. Estimativas obtidas ao tratar dados fornecidos pelos RIMAs das cinco principais mineradoras da região, revelam uma produção maior que 1.000.000 toneladas anuais de minério. Isso seria o equivalente a 5.000 caminhões transitando anualmente na região, afetando a infraestrutura viária e aumentando a poluição atmosférica. Isso pode representar riscos à saúde da população local, predominantemente composta por pessoas em faixa etária de risco para doenças respiratórias.

A fauna e a flora também sofrem consequências diretas da atividade mineradora. O desmatamento necessário para a lavra, além da poluição sonora e atmosférica, interfere no habitat de diversas espécies. A proximidade da Área de Proteção Ambiental (APA) Andorinhas e da reserva ecológica do Tripuí torna esse impacto ainda mais preocupante, uma vez que são importantes áreas de preservação da Mata Atlântica.

Além dos impactos ambientais, há preocupações quanto ao patrimônio histórico e cultural da região. A Capela de Santo Amaro, uma das mais antigas do país, está situada próxima às operações mineradoras da HG Mineração e da Mineração Patrimônio, o que pode comprometer sua integridade estrutural devido ao tráfego pesado e às vibrações geradas pela mineração.

Outros marcos históricos, como a antiga estação de topázio e trechos da Estrada Real, também podem ser afetados.

Tendo em vista que a formação bandada de minério de ferro representa o aquífero mais importante (Formação/Aquífero Cauê, a localização dos seis projetos minerários em foco levanta muitas preocupações relacionadas à destruição irreversível dessas camadas armazenadoras das principais águas subterrâneas da região, são as caixas d'água do território ameaçadas pela expansão da mineração. Esse cenário tem repercussões diretas sobre a segurança hídrica não somente para a Comunidade de Botafogo, mas também para hidroterritórios a jusante das bacias do Ribeirão Funil (bacia do Alto Rio das Velhas) e da bacia do Rio do Doce.

Além disso, com as mudanças climáticas, qualquer licenciamento ambiental que reduz irreversível a capacidade de recarga hídrica subterrânea se torna uma ameaça e um crime humanitário.

QUALIDADE DA ÁGUA

Preliminarmente, através do projeto Monitoramento Hídrico Participativo (PROEX-UFOP e Programa Participa Minas), foram realizadas análises de uma nascente de captação de água de consumo e do córrego Funil, para determinar a qualidade da água da região, visando obter valores de referência antes da implantação das mineradoras no corrente ano, outras análises serão realizadas. De acordo com os resultados da análise bacteriológica, a nascente do córrego Funil, pode ser utilizada como solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano, pois apresenta valores de concentração dos elementos químicos dentro dos permitidos e E.coli ausente em 100 mL (Escherichia coli - E. coli é uma bactéria encontrada nas fezes de humanos e animais), conforme a Portaria GM/MS Nº 888, de 2021, que define os padrões necessários de potabilidade de água para consumo humano.

Apesar disso, quando se faz a análise com base na legislação CONAMA 357 de 2005, que classifica a qualidade dos corpos d'água, há altos valores de coliformes totais: 517,2 a cada 100mL na nascente e cerca de 2419,6 a cada 100 mL, no córrego Funil. Esses altos valores de coliformes totais, acabam por piorar a qualidade da água e enquadrar o córrego como classe 3 e a nascente classe 2 (Figura 20). Dessa maneira, essas águas necessitam de um tratamento

convencional com desinfecção para que possa ser destinada ao consumo humano.

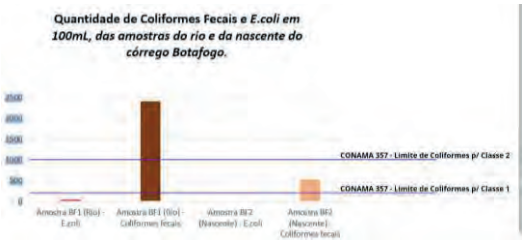


Figura 20: Gráfico de Quantidade de Coliformes Fecais e E.Coli em 100mL das amostras do rio e da nascente do córrego Botafogo.

Com relação às substâncias químicas inorgânicas, segundo a resolução CONAMA 357, tanto a nascente quanto o córrego Funil, possuem níveis tão baixos dos elementos químicos: Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Ba, Pb e U que o rio deveria ser enquadrado na Classe 1 ou na Classe especial. Entretanto, a presença de coliformes totais impossibilita esse enquadramento, o que se deve ao lançamento inadequado de esgotos no córrego ou vazamento de fossas sépticas.

Essa contaminação bacteriológica pode ser resolvida facilmente com tecnologias sociais específicas para zona rural como tanques de evapotranspiração (TEvap) e círculos de bananeira que tratariam o esgoto das casas do entorno de maneira sustentável. E, considerando que pode haver contaminação fecal também devido aos animais silvestres da região além dos animais de criação, poderia ser feito o isolamento simples da área do córrego e da nascente, através de cercamento para que animais de criação (como vacas e bois) não tenham acesso à área do rio.

Por fim, a vazão do córrego apresentou valores de 732L/s, condizente com o período de seca em que foi feita a análise (Figura 21).

O córrego Funil é um dos componentes de contribuição para o manancial hídrico de abastecimento da região e precisa ser protegido, além disso se necessário poderia ser feita captação dessa água sem prejudicar a vazão do córrego, para abastecimento da própria comunidade do Botafogo. Vale ainda destacar, a baixa turbidez das águas e os valores insignificantes de ferro e manganês, parâmetros estes que poderão ser alterados com a permanência das atividades dos empreendimentos minerários, prejudicando a saúde do ecossistema e das famílias locais e da zona de abastecimento.



Figura 21: Ribeirão Funil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAETA, Alenice. **Ameaça ao Patrimônio Cultural, Natural e Arqueológico da Localidade Botafogo, município de Ouro Preto, MG**. 2024. Nota Técnica, CEDEFES (Centro de Documentação Eloy Ferreira da Silva).

MOURÃO M. A. A. **Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero.** 2007. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RODRIGUES, P. C. H. **Análise expedita dos cenários hidroambientais relativos aos projetos de mineração de ferro na região da Comunidade de Botafogo, município de Ouro Preto (MG).** 2024.

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: 20 fev. 2025.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000 Publicada no DOU no 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 70-71.

RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005* - ALTERADA PELAS RESOLUÇÕES CONAMA N° 393/2007, N° 397/2008, N° 410/2009 e N° 430/2011.

PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.

MOREIRA-NETO, Pedro Leandro; SALES, Anderson Vital; LIMA, Camila de Oliveira; AMARAL, Francine Caroline do; BARROS-JUNIO, Isaías de; MATILDES, Crislaine da Conceição; BATISTA, Nayara Gomes. **Estação Ecológica do Tripuí (E.E.T.): Estudo do *Peripatus acacioi* na região de Ouro Preto/MG**. In: RASTEIRO, M. A.; TEIXEIRA-SILVA, C. M.; LACERDA, S. G. (Orgs.). *Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2017*. Campinas: Sociedade Brasileira de

Espeleologia, 2017. p. 335-344. Disponível em: https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/34cbe_335-344.pdf. Acesso em: 24 fev. 2025.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ALMG). **Comunidade de Botafogo pede ajuda contra sete mineradoras**. Belo Horizonte, 13 nov. 2024. Disponível em: https://www.almg.gov.br/comunicacao/noticias/arquivos/Comunidade-de-Botafogo-pede-ajuda-contra-sete-mineradoras/. Acesso em: 24 fev. 2025.

Carneiro, Bárbara Luisa. **A COMUNIDADE DO BOTAFOGO, OURO PRETO E, A CAPELA DE SANTO AMARO: relações simbólicas e medidas de proteção**. 2020. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Conservação e Restauro, Ifmg - Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://restauro.ouropreto.ifmg.edu.br/wp-content/uploads/sites/33/2023/08/TCC-Barbara-Luiza-Carneiro.pdf. Acesso em: 23 fev.2025

COSTA, Adivane Teresinha; BOTARO, Bárbara Maria de Paula; CORDEIRO, Daniel Campelo; NASCIMENTO, Davi Hermógenes; BARCELEIRO, Giovana Gomes; RIBEIRO, Kethelle D'Ars. **RELATÓRIO PESQUISA BOTAFOGO - OURO PRETO (MG)**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Geologia - Escola de Minas, 2024.

AUTORES

Coordenação: Adivane Terezinha Costa (Cátedra UNESCO Água Mulher e Desenvolvimento).

Rodson de Abreu Marques (UFOP, Brasil)

Autores: Alice Mendes dos Santos, Bárbara Maria de Paula Botaro, Helena Alves Bosze, Izis Samira Cipriano do Carmo, Letícia Massri Barreira Rodrigues da Cunha, Ludymilla Agnes Ferreira, Nayara Almeida Silva, Vitória Estorino de Abreu, Vitória Rodrigues França, Maria Tereza Godoy, Wilck Guilherme de Campos, Lia Porto e Cristiane Gonçalves.



Colombia: Bucaramanga


¿AGUAS SUBTERRANEAS EN BUCARAMANGA?
Jornada de Sensibilización sobre las Aguas Subterráneas en Santander - Colombia como Herramienta para la Gestión Sostenible del Recurso Hídrico
Actividad Gratuita
21 marzo | Viernes
Bloques
Primero
Segundo
Hora:
8:00 a.m.
12:00 m
2:00 p.m.
4:00 p.m.
Lugar:
UIS
Parque La Flora (Carrera 44)
INSCRIPCIÓN PREVIA
MÁS INFORMACIÓN
https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/
@sish_uis
HIDROGEODÍA
2025
Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español
Escuela de Geología



Colombia:
San Vicente del Chucurí

Agua: De Riesgo a Recurso. conócelas, protégelas, respétalas

Actividad Gratuita

Estrategia de Sensibilización sobre las Aguas Subterráneas en Santander - Colombia como Herramienta para la Gestión Sostenible del Recurso Hídrico

22 marzo | Sábado



Bloques

	Primero	Segundo
Hora:	7:00 a.m.	10:00 a.m.
Lugar:	Y de Angosturas	

Recorrido de 2km en los que se socializará el ciclo del agua, el impacto de la actividad humana en la calidad del recurso y la necesidad del manejo sostenible

MÁS INFORMACIÓN

https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/

@sish_uis / @bomberossanvicentedechucuri

HIDROGEODÍA 2025

Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español

Escuela de Geología UIS



Ecuador:
Quito

Jornada por el día mundial del agua 22 de marzo

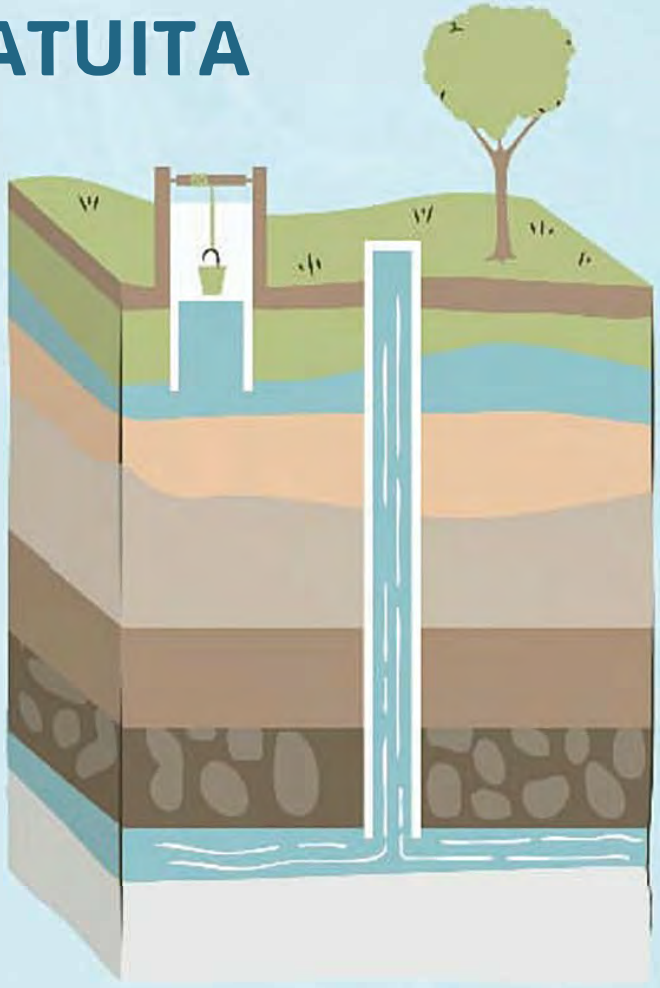
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

HIDROGEODÍA 2025

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA EPN

Acuífero Pifo-Quinche en la ruta ecológica El Chaquiñan

SALIDA DE CAMPO GRATUITA



Viernes 21 de marzo

Se recomienda usar calzado cómodo y adecuado, ropa ligera, protección solar, gorro o sombrero y una chaqueta ligera ante cambios climáticos. Se recomienda además llevar agua para mantenerse hidratado y un refrigerio.

Punto de encuentro: Parqueadero de Ing. Civil de la Escuela Politécnica Nacional

Hora de encuentro: 7H45

Hora de salida: 8H00

Hora de regreso: 16H00

Contacto: sandra.procel@epn.edu.ec

HIDROGEODÍA 2025

¡CUIDA EL AGUA, CUIDA LA VIDA!



Ecuador:
Santa Elena

Jornada por el Día Mundial del Agua
22 de marzo

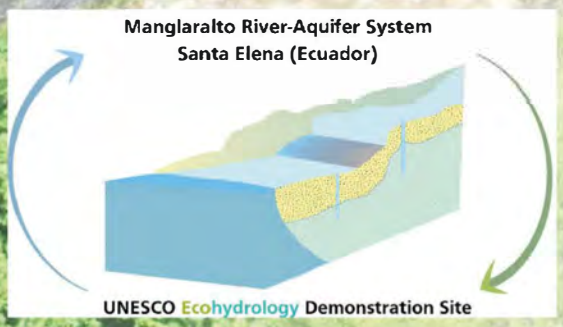
HIDROGEODIA 2025

"Sitio Demostrativo de Ecohidrología por UNESCO-Manglaralto"

Webinar y visita guiada al Sistema Río-Acuífero Manglaralto:

21 de Marzo 10h30 - 12h30

*Salida Guayaquil-Santa Elena: Encuentro en Parqueadero Edificio 3A, CIPAT-ESPOL (6h45)



Inscripción (cupo limitado)

Más información:
alanjara@espol.edu.ec

HIDROGEODÍA 2025 · espol Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra · Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español · CIPAT - ESPOL · CIGEO UPSE · UPSE · JAAPMAN cada gota cuenta · CYTED · CONSORCIO CAMAREN

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 2025** se celebra en el acuífero costero de Manglaralto, al norte de la provincia de Santa Elena, Ecuador. La temática central del evento abarca el **"Sitio Demostrativo de Ecohidrología-Sistema Río Acuífero Manglaralto"**, considerando la reciente denominación de este sistema como Sitio de Demostración de Ecohidrología de UNESCO. Se llevará a cabo una visita guiada por 3 puntos relacionadas con la gestión del sistema río-acuífero en la parroquia rural de Manglaralto:

1) Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN): Promotores comunitarios del aprovechamiento sostenible del agua subterránea, que genera vida, trabajo y desarrollo.

2) Tape técnico-artesanal en el geositio "Acuífero costero de Manglaralto".

3) Pozos históricos 01 y 02 de captación de agua subterránea.
4) Reservorio de Manglaralto

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).

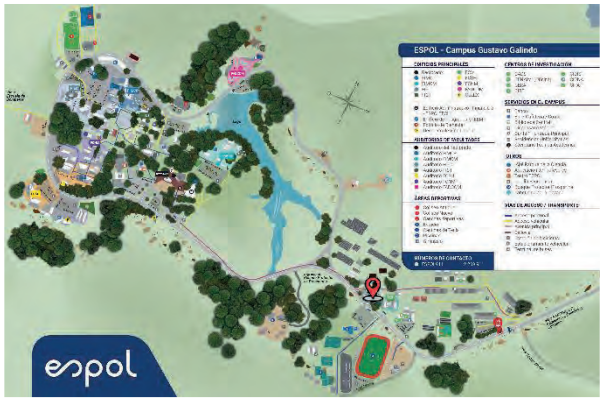


Figura 1: Punto de encuentro: Parqueadero del edificio 3ª
Fuente: https://www.espol.edu.ec/es/mapa-del-campus

En el parqueadero del edificio 3A nos esperará un autobús donde emprenderemos el viaje desde Guayaquil a Santa Elena. La distancia aproximada es de 170 km y tiene una duración de 3h00, a lo largo de la ruta conocida como "Ruta del Spondylus". En el trayecto, se podrá apreciar la vista de las diferentes geoformas de la costa ecuatoriana. Como primer punto, visitaremos la JAAPMAN (Parada 1) ubicada en la parroquia de Manglaralto, donde se realizará la apertura del evento y se darán breves charlas relacionadas a la temática. Después, visitaremos el tape técnico-artesanal

del sistema río-acuífero Manglaralto (Parada 2). Finalmente, con la comunidad visitaremos los pozos históricos 01 y 02 de captación de agua subterránea (Parada 3). Estos pozos fueron visitados en julio de 2011 por el director general del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Yukiya Amano, como parte del programa de cooperación técnica entre la OIEA, ESPOL y la comunidad.

ENTORNO GEOLÓGICO SISTEMA RÍO-ACUÍFERO MANGLARALTO

El sistema río-acuífero Manglaralto se encuentra ubicado dentro de la cuenca hidrológica Manglaralto. Este acuífero de tipo costero somero es gestionado por la JAAPMAN, utilizando técnicas de Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), para abastecer de agua a seis comunas: Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar. A lo largo del sistema se han construido 15 pozos, para la extracción del agua subterránea; y un tape técnico artesanal, para la recarga artificial del acuífero.

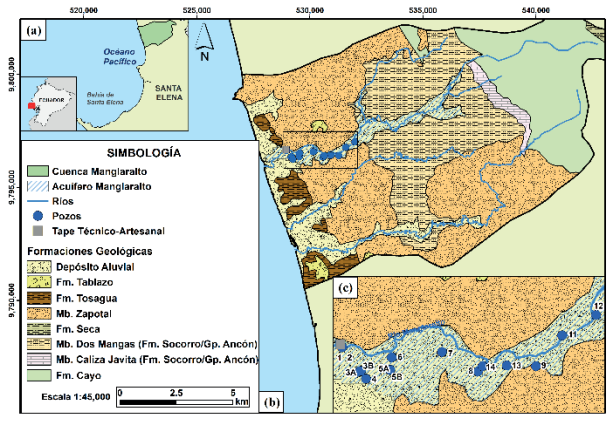


Figura 11: Esquema geológico de las unidades geológicas del sistema río-acuífero de Manglaralto. a) Ubicación de la cuenca; (b) Unidades geológicas en el área de la cuenca; (c) Sistema de pozos y tape.

La unidad geológica más antigua de la cuenca corresponde a la formación Cayo del Cretácico Superior (Figura 2b). La capa impermeable que favorece el atrapamiento de agua corresponde a las unidades litológicas del grupo Ancón, y la capa permeable con buenas condiciones de porosidad y permeabilidad son los depósitos aluviales del Cuaternario.

El volumen de agua estimado del acuífero es de 13,6 Hm3 (Carrión-Mero, Quiñonez-Barzola, et al., 2021). Sin embargo, existen problemas relacionados al bombeo intensivo por aumento de la demanda poblacional (local y flotante) y las condiciones climáticas (clima semiárido), que han provocado la disminución del nivel freático y como resultado se presente el fenómeno de intrusión salina en la cuenca (Carrión-Mero, Montalván, et al., 2021).

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Inicialmente, el suministro de agua dulce de la comuna de Manglaralto se daba por medio del río intermitente Manglaralto, perforaciones de pozos y tanqueros. En varias ocasiones, los pozos no tuvieron un debido aprovechamiento dada la falta de información de la geometría y litología del acuífero. La excavación de estos pozos se realizaba de manera rudimentaria, a diferencia de las maquinarias que se emplean actualmente.

Ante esta problemática, surgió la Junta de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN), fundada el 29 de marzo de 1979 por el arzobispo Othmar Stahelli, con la finalidad de abastecer de agua para uso doméstico a la población.

En la actualidad, Manglaralto se destaca por conservar métodos ancestrales para recargar

el acuífero de manera artificial siendo una Solución Basada en la Naturaleza (SbN) que beneficia a miles de habitantes de esta parroquia rural. El método consiste en aprovechar el caudal del río, mediante la construcción de una estructura o barrera conocida como "tape" (dique artesanal), que disminuye le flujo de agua al océano, reteniendo y almacenando el recurso al máximo para la infiltración y el aumento de volumen del agua dulce en el subsuelo. Además, de alejar la cuña de intrusión salina que afecta a este acuífero costero.

En un principio, se empleaban rocas y material arcilloso de la superficie para la construcción del dique, sin embargo, las lluvias torrenciales provocaban su deterioro y posterior destrucción. Para solucionar este desafío, la comunidad mediante sistemas de prueba y error logrando un avance en sus técnicas hidráulicas y con la ayuda del proceso de Investigación-Acción-Participativa (IAP) con la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) desde el 2017 sus "tapes" pasaron a ser técnico-artesanal.

PARADAS

Parada I. Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN). Organización comunitaria y su resiliencia de agua.



Parada II. Tape técnico-artesanal en el geositio "Acuífero costero de Manglaralto".



Parada III. Pozos históricos 01 y 02 de captación de agua subterránea.



Parada IV. Reservorio de Agua.



TIPOS DE AGUAS

En Manglaralto, se han identificado dos tipos de agua en el acuífero: el agua dulce ubicada en los pozos de la cuenca, y el agua salobre ubicada en los pozos cerca del océano los cuales tienen contienen cloro y calcio producto de la intrusión del agua marina especialmente en la temporada de sequía en donde va ganando terreno en el subsuelo (Carrión-Mero et al., 2024), aumentando el contenido de sales del agua dulce contenida en los acuíferos. La salinización se agudiza por la extracción del recurso hídrico (Carrión-Mero, Montalván, et al., 2021).

Un estudio realizado en el sector demostró que los pozos cercanos al océano presentaron contenido alto de Cl- y Ca+ debido a la intrusión marina (Figura III), por otro lado, aquellos alejados del océano se consideraron como agua dulce (Carrión-Mero, Montalván, et al., 2021).

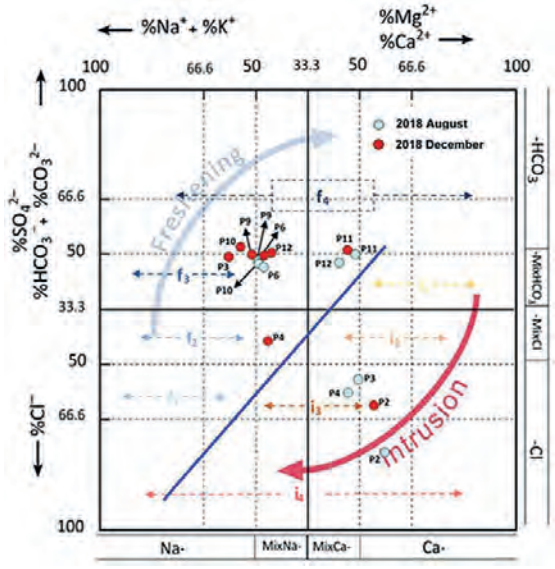


Figura III: Caracterización del agua subterránea de la cuenca del río Manglaralto mediante el Diagrama de Evolución de Facies Hidroquímicas (HFE-D) mostrando los subestados de intrusión de agua de mar (i) y de endulzamiento de agua dulce (f).

Durante la temporada lluviosa, la cantidad de sales se reduce, favoreciendo la acumulación de agua dulce en los pozos cercanos al océano, esto es debido a la combinación de agua dulce del acuífero con agua salobre en la fase de la recarga.

La calidad de las aguas subterráneas resulta afectada por las actividades humanas, especialmente en los pozos someros y cercanos al océano. Las actividades antrópicas (Alcalá & Custodio, 2008; Morante et al., 2019), como la explotación ganadera, provocan la infiltración de las aguas residuales contribuyendo a la degradación del acuífero.

A partir de las investigaciones desarrolladas en la Manglaralto, se define que una responsable gestión del acuífero requiere medidas de protección de los agentes que participan en su recarga (río, terrazas aluviales y zonas altas de la cordillera Chongón-Colonche).

AGUA Y SOCIEDAD

La población de Manglaralto depende netamente del acuífero para el suministro de agua dulce mediante la extracción en pozos (Carrión-Mero et al., 2020). El agua subterránea se encuentra almacenada en depósitos aluviales recientes, conformado en su mayoría por gravas y arenas (Morante-Carballo et al., 2024).

Desde 1980, la Junta Regional Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN), mediante pozos de agua (actualmente 15), gestiona el acuífero costero y distribuye de agua potable a las viviendas del centro de

Manglaralto y a sus seis comunidades (Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar) (Herrera-Franco et al., 2018).

La aplicación de conocimientos ancestrales y la implicación activa de la comunidad resultan de importancia para los habitantes para enfrentar la escasez de lluvia y la sobreexplotación del acuífero (Carrión et al., 2018).

Gracias al apoyo de la comunidad universitaria, JAAPMAN ha construido estos diques aprovechando la temporada invernal, y a través del tiempo, han progresado en cuanto a su diseño, locación y construcción, conduciendo al desarrollo de tapes técnico-artesanales con mayor rendimiento (Carrión-Mero, Morante-Carballo, et al., 2021; Herrera-Franco et al., 2020).

El suministro de agua por parte de la JAAPMAN, además de cubrir las necesidades domésticas de los habitantes del sector, también aporta al desarrollo de las actividades comerciales, hotelera, agricultura y ganadería. Además, con la construcción el tape técnico-artesanal, ha creado un espacio ideal para la pesca y actividades recreativas.

ECO-HIDROLOGÍA

La Ecohidrología es un enfoque innovador que integra procesos hidrológicos y ecológicos para promover la sostenibilidad hídrica y la conservación de ecosistemas. En contextos de escasez de agua, como en las zonas costeras semiáridas, la ecohidrología ofrece soluciones basadas en la naturaleza que optimizan la disponibilidad de agua, restauran hábitats y fortalecen la resiliencia comunitaria frente al cambio climático. El Sistema **Río-Acuífero Manglaralto** ha implementado estos principios para lograr una gestión sostenible del agua y preservar su biodiversidad, éstos se resumen a continuación:

Hidrológico: Uso de conocimientos ancestrales para construir diques artesanales ("tapes"), mejorando la recarga artificial del acuífero y aumentando el suministro de agua.



Figura IV: Tape técnico-artesanal en el sistema río-acuífero de Manglaralto, utilizado para la recarga artificial del acuífero y el suministro sostenible de agua.

Ingeniería Ecológica: Uso de vegetación ribereña y filtros verdes con Guadua angustifolia para mejorar la infiltración y tratar aguas residuales.



Figura V: Implementación de vegetación ribereña en el sistema río-acuífero de Manglaralto.

Tecnologías Ecohidrológicas

"Dual regulation" (regulación agua-biota y biota-agua):

Regulación agua-biota: El dique artesanal regula el flujo de agua durante periodos lluviosos, permitiendo la infiltración al acuífero y manteniendo recursos hídricos esenciales para comunidades costeras y ecosistemas asociados, como estuarios, manglares y bosques secos tropicales. La retención de agua crea hábitats para aves como la Garza Dedos Dorados (Egretta thula), Garza Azul (Ardea herodias) y el Martín Pescador (Nyctanassa violacea), además de peces como Chalaco (Gobiesox marmoratus) y la Caballa del Pacífico (Scomber australasicus).



Figura VI: Hábitat generado por la regulación agua-biota, proporcionando refugio a especies del área.

Biota-agua: La reforestación con Guadua angustifolia en las riberas reduce la erosión, mejora la infiltración y filtra sedimentos y nutrientes. Los filtros verdes con esta especie tratan aguas residuales, protegiendo ecosistemas y mejorando la calidad del agua disponible para la comunidad.

Infraestructura Ecohidrológica y Biotecnologías: El dique construido con materiales locales mejora la retención de agua y la recarga de acuíferos.

Fitotecnología: Uso de plantas para eliminar contaminantes; Guadua angustifolia muestra alta eficiencia en la eliminación de DBO_5 y coliformes.

Flujo Ambiental: El diseño del dique con pendiente 4:1 reduce la erosión y favorece la infiltración y biodiversidad.



Figura VII: Dique técnico-artesanal con pendiente 4:1 en el sistema río-acuífero de Manglaralto.

Principales Resultados y Beneficios:

- Aumento de la recarga de acuíferos y mejora de la seguridad hídrica para 20,000 habitantes.
- Conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.
- Participación comunitaria y resiliencia climática.

SITIOS DEMOSTRATIVOS DE ECOHIDROLOGÍA (SDE)

Los SDE son áreas específicas donde se aplican y prueban principios de ecohidrología para la gestión sostenible del agua y los ecosistemas. Estos sitios están respaldados por la UNESCO dentro del Programa Hidrológico Internacional (PHI) y funcionan como laboratorios naturales para evaluar cómo la

interacción entre los procesos ecológicos y el ciclo del agua puede contribuir a la restauración ambiental y la resiliencia frente al cambio climático. (UNESCO, 2024).

Objetivo y Usos de los SDE

Los sitios demostrativos tienen como finalidad:

- Implementar soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para mejorar la calidad y disponibilidad del agua.
- Restaurar y conservar ecosistemas acuáticos y terrestres a través de enfoques ecohidrológicos.
- Reducir impactos ambientales ocasionados por actividades humanas como la agricultura, urbanización e industrias extractivas.
- Servir como modelos replicables para la gestión del agua en distintas regiones.
- Monitorear los efectos del cambio climático y promover estrategias de adaptación a nivel local y global.
- Educar y sensibilizar a las comunidades y a los responsables de la gestión del agua sobre el valor de la ecohidrología.

SDE Adjudicados en 2024

En 2024, la UNESCO-PHI aprobó **12 nuevos SDE**, ubicados en distintas partes del mundo:

1. Tajzara Lagoons, Bolivia
2. Río Cruces Wetland Center, Chile
3. **Manglaralto River-Aquifer System, Santa Elena, Ecuador**
4. Nature-based technological solution at La Reina, El Salvador
5. Lake Hayq, Ethiopia
6. Bio-Ecological Drainage System (BIOECODS) at USM, Malaysia
7. Stormwater Management at UTHM, Malaysia
8. Lago de Texcoco, Mexico
9. Speulderbos, Netherlands
10. Sihwa Lake, Republic of Korea
11. The Middle Course of the Ebro River, Spain
12. Birmingham Urban Observatory, United Kingdom

Actualmente, hay 63 SDE por UNESCO a nivel mundial, 3 de ellos en Ecuador (Los Paltas-Catacocha, Loja; Cuenca Hidrográfica de Pelican Bay, Galápagos y Sistema Río-Acuífero Manglaralto, Santa Elena)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Manglaralto y los representantes de la Junta Regional Administradora de Agua Potable de Manglaralto (JAAPMAN). Se agradece a Ing. Gricelda Herrera, Ph.D., docente e investigadora de la (UPSE). Al proyecto de servicio comunitario “Siembra, cosecha y reutilización del agua para la sostenibilidad (Fase II)”, "Proyecto Geoparque Península de Santa Elena", proyecto de vinculación de la UPSE “Rural girl en las ciencias” y al Decanato de Vinculación por todo el apoyo de gestión en la ejecución del proyecto. Además, la Red SbN-GIA (2025 - 2028) “Soluciones basadas en la Naturaleza para la Gestión Integral del Agua en Comunidades Vulnerables” con código institucional 625RT0176.

Pueden visitar los videos de divulgación del proyecto Siembra y Cosecha en los siguientes links:

Proyecto Siembra y Cosecha de Agua (ESPOL-JAAPMAN): https://youtu.be/R65MPd5wF7Y

Proyecto Siembra y Cosecha de Agua (ESPOL-JAAPMAN): https://youtu.be/pqJImvXBvt0

Gestión Comunitaria: https://youtu.be/Yo6srnDDQEM

Webinar del Hidrogeodía 2024 (1/5): https://youtu.be/kRJoUBTmNhs?si=aew1ScKBKRM670Cu

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA MANGLARALTO

Se recomienda asistir con ropa y calzado cómodo (pantalón largo, camisa, deportivos, botas). Y además llevar chubasquero para protección de la lluvia de ser necesario.

Se recomienda usar protector 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 2025

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-ESPOL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT-ESPOL)

Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL)

Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto (JAAPMAN)

Junta Administradora del Sistema Regional de Agua Potable Olón (JASRAPO)

Junta Administradora de Agua Potable Regional Valdivia (JAPRV)

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. Ph. D. (c)

Ing. Emily Sánchez. M.Sc.

Ing. Jenifer Malavé. M.Sc. (c)

Ing. Robert Brito. M.Sc.

Ing. Alanis Jara

Ing. Luis Pacheco

Ing. Kevin Padilla

Gloria Malavé (presidenta JAAPMAN)

Carlos Palomino (tesorero JAAPMAN)

Adriana Reyes (secretaria JAAPMAN)

Roberto Borbor (primer vocal JAAPMAN)

Andrea Morales (segundo vocal JAAPMAN)

Oscar Reyes (tercer vocal JAAPMAN)

Milton Yagual (operador técnico JAAPMAN)

Carlos Reyes (operador técnico JAAPMAN)

Máximo de los Santos (operador técnico JAAPMAN)

Milton Tomalá (operador técnico JAAPMAN)

Israel de la Rosa (operador técnico JAAPMAN)

Blas Tomalá (operador técnico JAAPMAN)

Humberto Suárez (operador técnico JAAPMAN)

Javier Yagual (operador técnico JAAPMAN)

Ricardo González (operador técnico JAAPMAN)

José Laines (operador técnico JAAPMAN)

Karly Orrala (operador técnico JAAPMAN)

PARA SABER MÁS

Alcalá, F. J., & Custodio, E. (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, *359*(1–2), 189–207. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.028

Carrión-Mero, P., Montalván, F. J., Morante-Carballo, F., Heredia, J., Elorza, F. J., Solórzano, J., & Aguilera, H. (2021). Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Waters of the Manglaralto River Basin (Ecuador) to Contribute to the Management of the Coastal Aquifer. *Water*, *13*(4), 537. https://doi.org/10.3390/w13040537

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Herrera-Borja, P., Chávez-Moncayo, M., & Arévalo-Ochoa, J. (2021). Design of a Technical-Artisanal Dike for Surface Water Storage and Artificial Recharge of the Manglaralto Coastal Aquifer. Santa Elena Parish, Ecuador. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *16*(3), 515–523. https://doi.org/10.18280/ijsdp.160312

Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Varas, M., Herrera-Franco, G., Briones-Bitar, J., Malavé-Hernández, J., Fajardo-González, I., & Campoverde-Cabrera, J. (2020). Applied Geology to the Design of Handcrafted Dikes (Tapes) and its Impact in the Recharge of the Manglaralto Coastal Aquifer, Santa Elena, Ecuador. *18 Th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 1–11. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.307

Carrión-Mero, P., Quiñonez-Barzola, X., Morante-Carballo, F., Javier Montalván, F., Herrera-Franco, G., & Plaza-Úbeda, J. (2021). Geometric model of a coastal aquifer to promote the sustainable use of water. Manglaralto, Ecuador. *Water (Switzerland)*, *13*(7). https://doi.org/10.3390/w13070923

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/SDP180341

Herrera-Franco, G., Alvarado-Macancela, N., Gavín-Quinchuela, T., & Carrión-Mero, P. (2018). Participatory socio-ecological system: Manglaralto-Santa Elena, Ecuador. *Geology, Ecology, and Landscapes*, *2*(4), 303–310. https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1481632

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

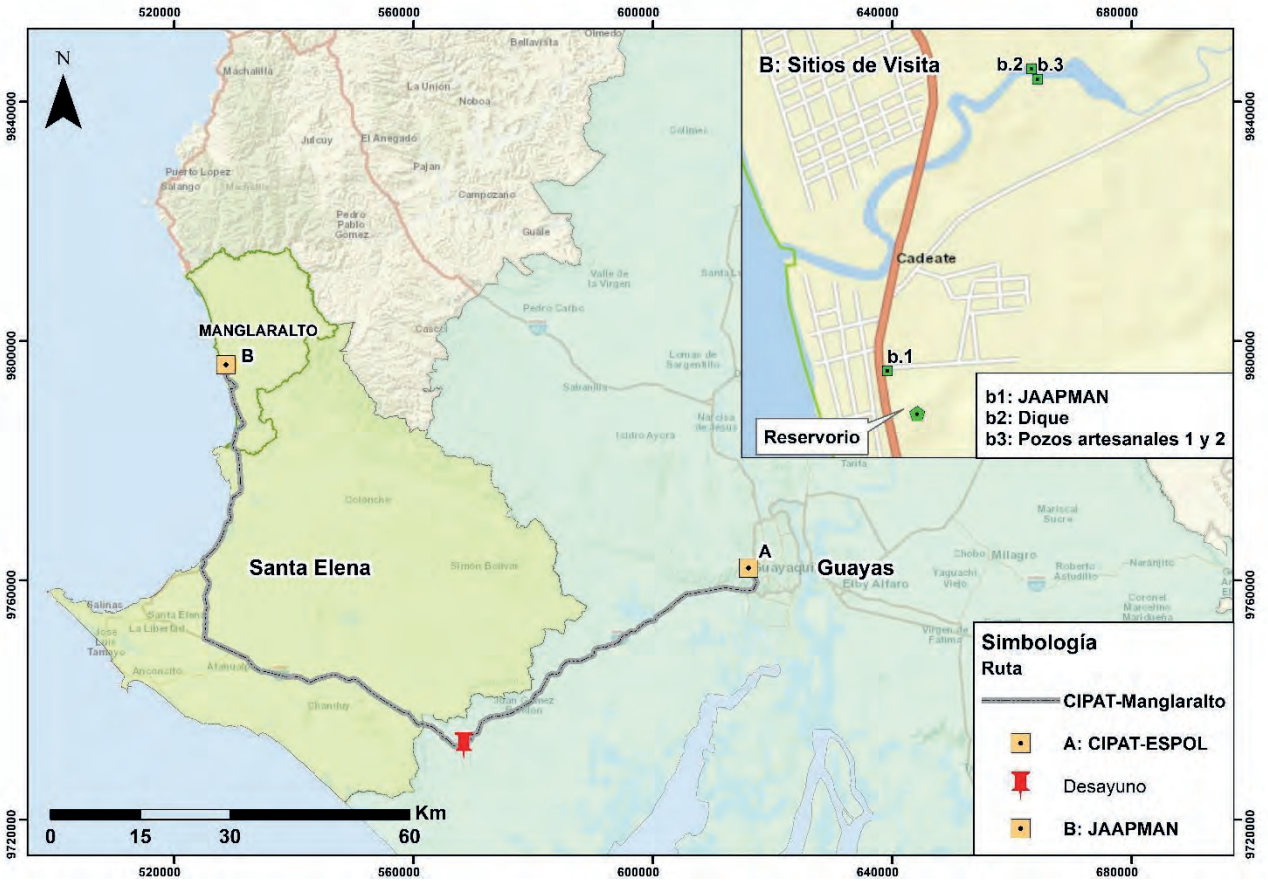
Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Montalván, F. J., Alencastro-Segura, A., Chávez-Moncayo, M. A., & Carrión-Mero, P. (2024). Proposal of an alluvial dike as a nature-based solution for sustainable water management in coastal areas. *Results in Engineering*, *23*, 102599. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102599

Morante, F., Montalván, F. J., Carrión, P., Herrera, G., Heredia, J., Elorza, F. J., Pilco, D., & Solórzano, J. (2019). *Hydrochemical and Geological Correlation to establish the Groundwater Salinity of the Coastal Aquifer of the Manglaralto River Basin, Ecuador*. 139–149. https://doi.org/10.2495/WRM190141

UNESCO. (2024). *Sitios Demostrativos de Ecohidrología en América Latina y el Caribe: Pasado, presente y futuro*. https://doi.org/10.54677/FIAF3444

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA MANGLARALTO 2025





México:
Chihuahua

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

INFRAESTRUCTURA HIDROLÓGICA

EXCURSIÓN GRATUITA

Sábado 08 de marzo del 2025

Plazas limitadas
Se recomienda llevar:
ropa y calzado cómodo, agua y snacks
Punto de encuentro: Estacionamiento de maestros de la Facultad de Ingeniería de la UACH
Hora de encuentro: 8:15 am
Hora de salida:8:30 am
Hora de regreso (estimada) 11:00 am
Imprescindible reserva previa



Contacto:
fing.sip.mh@uach.mx

HIDROGEODÍA 2025

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.

El **Hidrogeodía 2025** se celebra por primera vez en México en el acuífero Chihuahua-Sacramento, al norte del país, específicamente en la Ciudad de Chihuahua. La temática central es **"Infraestructura hidrogeológica"**, considerado de vital importancia para el abastecimiento de agua en regiones áridas y semiáridas.



Foto 1: Visita guiada a pozo donde se está realizando una perforación y equipamiento de un pozo

CÓMO LLEGAR

El punto de partida de nuestro recorrido será el estacionamiento de maestros de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, frente al edificio administrativo (Figural 1). La dirección de la Facultad de Ingeniería es: Circuito Número I s/n, Nuevo Campus Universitario, Norte 2, C.P. 31125 Chihuahua, México.

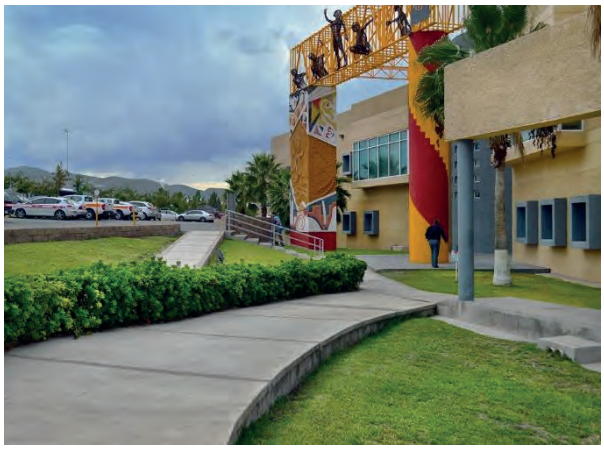


Foto 2: Punto de encuentro: Estacionamiento de maestros de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua

En el estacionamiento de maestros de la Facultad de Ingeniería nos esperará un autobús desde el cual emprenderemos el viaje desde la Facultad hasta el Arroyo el Picacho, el cual se encuentra en la periferia de la mancha urbana. La distancia entre los dos puntos es de 10 kilómetros y el tiempo de traslado se estima en 15 minutos. Una vez en la zona de estudio, se dará una charla relacionada con la temática, con una duración de 2 horas. Posteriormente se regresará a la Facultad de Ingeniería.

QUÉ VEREMOS

Durante el itinerario, se realizará una breve explicación relativa al medio ambiente relativo al estado de Chihuahua, con especial énfasis en la ciudad de Chihuahua. Una vez planteado el panorama ambiental del estado, se realizará una explicación breve de la geología y la hidrogeología estatal.

Es importante recalcar en que los principales temas a tratar serán la maquinaria y el equipo necesarios para la realización y mantenimiento de un pozo en una zona urbana.



Foto 3: Componentes de un pozo de extracción de agua subterránea

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

La **hidrogeología** es la rama de la geología que estudia la **distribución, movimiento y propiedades del agua subterránea** en el suelo y en las rocas de la corteza terrestre. Su objetivo principal es comprender cómo el agua se infiltra, almacena y fluye a través de los acuíferos, que son formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua. Algunos aspectos clave son: **1. Ciclo hidrológico subterráneo**: Analiza cómo el agua de lluvia se infiltra en el suelo, recarga los acuíferos y finalmente emerge en manantiales, ríos o pozos. **2.Acuíferos**: Estudia sus tipos (libres, confinados, kársticos, fracturados), sus características hidrogeológicas y su capacidad de almacenamiento. **3.Flujo del agua subterránea**: Usa principios de la hidráulica para modelar la velocidad y dirección del movimiento del agua en el subsuelo. **4.Interacción agua subterránea-superficial**: Examina cómo los ríos, lagos y humedales se conectan con los acuíferos. **5.Calidad del agua**: Analiza la química del agua subterránea y su vulnerabilidad a la contaminación. **6.Exploración y gestión de recursos hídricos**: Evalúa la disponibilidad de agua subterránea para abastecimiento humano, agrícola e industrial.

Los apartados que se aparecen a continuación, hasta el de "Agradecimientos" son una propuesta y podrán ser modificados, eliminados o añadidos en función de las necesidades de cada excursión.

ENTORNO GEOLÓGICO

La geología del estado de Chihuahua es sumamente diversa debido a su ubicación en la confluencia de varias provincias geológicas. En la **Sierra Madre Occidental**, que cubre el occidente del estado, predominan las rocas ígneas volcánicas del Cenozoico, principalmente riolitas y andesitas, relacionadas con importantes yacimientos de oro, plata y cobre. En el centro y sur, la **Cuenca de Chihuahua**, perteneciente a la provincia de Cuencas y Sierras, está compuesta por rocas sedimentarias marinas y continentales del Mesozoico y Cenozoico, con calizas y sedimentos que albergan acuíferos y minerales como yeso y fluorita. Al noreste, la **Mesa del Norte** se caracteriza por terrenos semiplanos con depósitos sedimentarios recientes y afloramientos de basalto, formando parte del Desierto Chihuahuense.

El estado presenta estructuras tectónicas importantes, como fallas normales y sistemas de bloques elevados y hundidos en la provincia de Cuencas y Sierras, así como pliegues y cabalgamientos en las calizas mesozoicas. Además, intrusivos graníticos en la Sierra Madre Occidental están asociados con depósitos metalíferos. Esta diversidad geológica hace de Chihuahua un estado rico en **recursos naturales**, destacando su producción minera de metales preciosos e industriales, la presencia de acuíferos fundamentales para el abastecimiento de agua y posibles yacimientos de petróleo y gas en su zona noreste. La interacción entre su geología y clima también influye en la configuración de su paisaje y ecosistemas.

TIPOS DE ACUÍFEROS

En el estado de Chihuahua existen diferentes tipos de acuíferos, dependiendo de su origen geológico y las características del subsuelo. Los **acuíferos sedimentarios** son los más comunes y se encuentran en la **Cuenca de Chihuahua** y otras zonas de valle. Estos están formados por depósitos de arena, grava y limo, que permiten el almacenamiento y flujo del agua subterránea. Son los principales reservorios de agua en el estado y abastecen la agricultura, la industria y el consumo humano. Sin embargo, la sobreexplotación y la escasa recarga natural en regiones áridas han generado problemas de disminución de niveles freáticos y contaminación por intrusión salina en algunos casos.

Otro tipo importante son los **acuíferos en rocas fracturadas y kársticos**, presentes en la **Sierra Madre Occidental y las zonas de caliza del estado**. Estos acuíferos se encuentran en formaciones de rocas volcánicas o carbonatadas con fisuras y cavernas que permiten el almacenamiento y circulación del agua. Suelen estar asociados con manantiales y flujos subterráneos irregulares, por lo que su aprovechamiento es más complejo que el de los acuíferos sedimentarios. En algunas zonas, estos acuíferos son estratégicos para el abastecimiento de comunidades rurales y ecosistemas, pero su vulnerabilidad a la contaminación y a las variaciones climáticas los hace particularmente frágiles.

COMPONENTES DE UN POZO

Un pozo de extracción de agua subterránea está compuesto por varias partes y equipos esenciales para su funcionamiento. A continuación, se describen los principales componentes:

1. Perforación y revestimiento del pozo

- **Tubería de revestimiento o encamisado**: Cilindro de acero o PVC que protege las paredes del pozo y evita derrumbes.
- **Tubería ranurada o filtros**: Sección perforada o ranurada de la tubería que permite la entrada de agua desde el acuífero al pozo.
- **Grava de empaque (filtro granular)**: Capa de grava que rodea la tubería ranurada para evitar la entrada de partículas finas y mejorar la filtración del agua.
- **Sellado sanitario**: Mezcla de bentonita y cemento colocada en la parte superior del pozo para evitar la contaminación superficial.

2. Equipos de extracción de agua

- **Bomba sumergible**: Dispositivo ubicado dentro del pozo que extrae el agua y la impulsa hacia la superficie. Se selecciona según la profundidad del pozo y el caudal requerido.
- **Columna de impulsión**: Conjunto de tuberías que transporta el agua desde la bomba hasta la superficie.

COMPONENTES DE UN POZO

- **Cabezal del pozo**: Estructura en la boca del pozo que protege y sella la instalación, evitando la entrada de contaminantes.



Foto 3: Componentes de un pozo de extracción de agua subterránea

3. Sistema eléctrico y control

- **Subestación eléctrica**: Provee la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba. Puede incluir transformadores, tableros de control y sistemas de protección eléctrica.
- **Tablero de control y arranque**: Sistema que regula el encendido,

apagado y protección de la bomba contra sobrecargas o fallos eléctricos.

4. Infraestructura complementaria

- **Línea de conducción**: Tubería que transporta el agua extraída hasta el sistema de distribución o almacenamiento.
- **Tanque de almacenamiento**: Depósito donde se almacena el agua extraída antes de su distribución.
- **Caseta de control**: Estructura que alberga los equipos eléctricos, de control y monitoreo del pozo.



Foto 3: Componentes de un pozo de extracción de agua

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE

Las **aguas subterráneas** en Chihuahua desempeñan un papel crucial en el equilibrio ambiental, ya que sustentan ríos, manantiales y ecosistemas en un entorno árido. En muchas regiones, los acuíferos son la principal fuente de agua para la flora y fauna, especialmente en zonas donde los cuerpos de agua superficiales son escasos o estacionales. Un ejemplo clave es la interacción entre los acuíferos y los humedales, como los de **Casas Grandes y la cuenca del río Conchos**, que dependen de la descarga subterránea para mantener su biodiversidad. Sin embargo, la sobreexplotación de estos recursos ha provocado la reducción del caudal en ríos y la desaparición de manantiales, afectando tanto a especies acuáticas como a la vegetación ribereña.

Además de su importancia ecológica, las aguas subterráneas están estrechamente relacionadas con la calidad del medio ambiente en Chihuahua. La contaminación de acuíferos por actividades agrícolas, industriales y urbanas amenaza no solo el suministro de agua potable, sino también la salud de los ecosistemas que dependen de ellos. El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura ha generado problemas de **nitratos y metales pesados** en el agua subterránea, mientras que la expansión de asentamientos urbanos ha incrementado la infiltración de aguas residuales sin tratamiento adecuado. La gestión sostenible de los acuíferos es clave para mitigar estos impactos y garantizar la conservación de los ecosistemas asociados al agua subterránea en Chihuahua.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al municipio de Chihuahua por permitirnos acceder a la zona de estudio, específicamente a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento quien nos permitió la entrada al pozo. También agradecemos a la Universidad Autónoma de Chihuahua por el préstamo de las instalaciones y vehículo oficial para el traslado. Por último agradecemos al Instituto Geológico y minero de España (IGME) por la invitación a participar en este esfuerzo por visibilizar las aguas subterráneas a nivel global.

CONSIDERACIONES PARA EL RECORRIDO

Se recomienda llegar al punto de partida por lo menos 15 minutos antes (7:45 am).
Se recomienda utilizar ropa cómoda (gorra, tenis, crema solar).

Si se cuenta con alguna necesidad para personas con capacidades diferentes, favor de comunicarse con Miguel Ángel González Núñez (organizador del Hidrogeodía México 2025)

Se recomienda llevar snaks y agua suficiente para dos horas.

Hay que indicar que la organización no se hace cargo de desperfectos, pérdidas, robos durante el recorrido



PARA SABER MAS

Athie Flores, K. (2015). *El agua en México y Chihuahua* (C. E. de la C. de Diputados, Ed.; Primera Ed). Cámara de Diputados.

Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology* (McGraw Hill, Ed.; 1st ed.). http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf

CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. In *Diario Oficial de la Federación* (Vol. 1). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Custodio, E., & Llamas, R. (2001). *Hidrología Subterránea* (2 Ed). Omega.

Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology* (1st ed.). Wiley.

Fetter, C. W. (2014). *Applied hydrogeology* (4 Ed). Pearson New International Edition.

Fetter, C. W. (2018). Contaminant hydrogeology. In *Contaminant hydrogeology* (3 Ed). Waveland Press Inc. https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90162-p

IMPLAN. (2009). *Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Chihuahua: Visión 2040*.

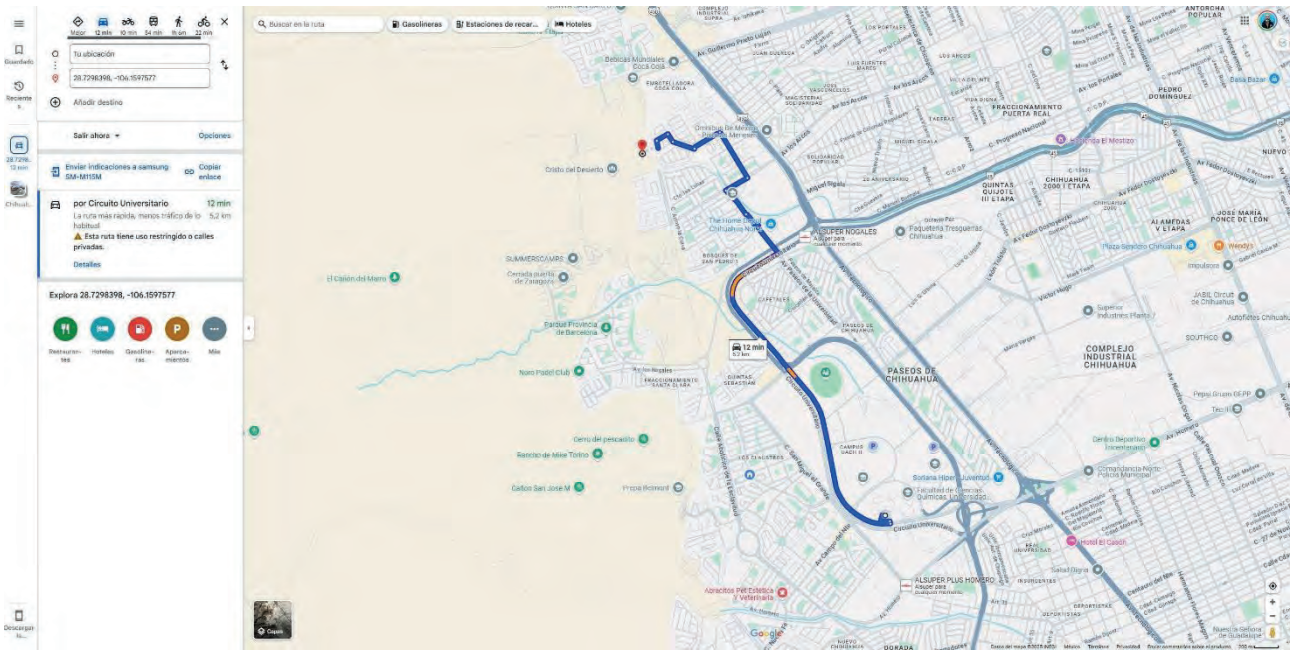
INEGI. (1999). *Estudio hidrológico del estado de Chihuahua* (INEGI, Ed.; Primera Ed). INEGI.

HIDROGEODÍA 2025

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA CHIHUAHUA 2025

Mapa con el recorrido





México:
Ciudad de México



¡ 2025, 1er año de Hidrogeodía en México !

Visita a cuerpos de agua en la REPSA, UNAM

Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, UNAM

SÁBADO 7 DE JUNIO

Excursión gratuita

- Plazas limitadas
- Se recomienda llevar: ropa, calzado cómodo, bloqueador, agua y gorro
- Duración aproximada de 5 horas (9 a 2pm)

Actividades

- Recorrido a pie (2 km aprox)
- Explicación de la ocurrencia del agua subterránea e interacción con agua superficial

PUNTO Y HORA DE REUINIÓN:

9 am en el mural del metro Ciudad Universitaria. Linea 3

Imprescindible hacer reserva:

https://tinyurl.com/hidrogeodia

Organizadores:

HIDROGEODÍA 2025

Capítulo Mexico iah aih



México: Monterrey

SÁBADO 31 DE MAYO

¡2025, 1er año de HIDROGEODÍA en México!

Visita el Parque Ecológico La Huasteca, Monterrey



Excursión gratuita

- Plazas limitadas
- Duración aproximada: 5 horas (de 9:00 a.m. a 2:00 p.m.)
- Recomendaciones: llevar ropa y calzado cómodo, bloqueador solar, agua y gorra, impermeable en caso de lluvia.

Actividades

- Recorrido a pie (aproximadamente 9 km)
- Explicación sobre la naturaleza, servicios ecosistémicos, geología, hidrología y más.

Imprescindible hacer reserva:

https://forms.cloud.microsoft/r/DYwVB7LKuH?origin=lprLink

PUNTO Y HORA DE REUNIÓN:

Entrada del Parque Ecológico La Huasteca a las **9:00 a.m.** (se enviará la ubicación al registrarse)

Organizadores / Participantes:

HIDROGEODÍA 2025

iah aih Capítulo México

Universidad Autónoma de Nuevo León

Parque Nacional Cumbres de Monterrey

UDEM

seids

UAT Universidad Autónoma de Tamaulipas

VN



Perú

HIDROGEODÍA 2025

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Global Yaku Consultores
GYC
Innovación para un Mundo Mejor

CIMA
UN HOGAR DONDE VIVE LA ESPERANZA

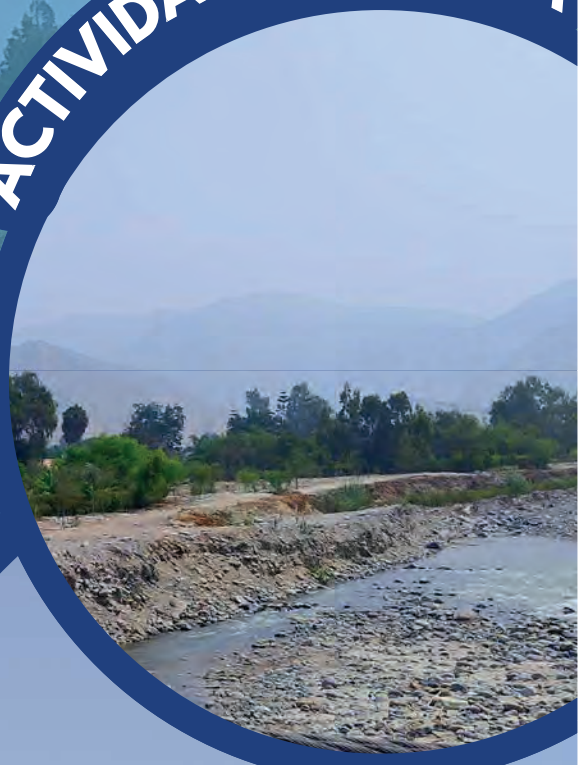
CITBM

HIDROGEODÍA EN CIENEGUILLA

Por Global Yaku Consultores S.A.C., Perú 2025

La jornada consistirá en un recorrido por un tramo de la cuenca del Río Lurín en Cieneguilla, en el cual Hidrogeólogos especializados de nuestro staff compartirán información sobre el tema.

ACTIVIDAD GRATUITA





DÍA
29 de Marzo del 2025

HORA
7:45 am

PUNTO DE ENCUENTRO
Av Luis Felipe De Las Casas SN Km 21, Cieneguilla, Lima 40, Lima - Loza deportiva de CIMA

REGÍSTRATE AQUÍ →

PARA MÁS INFORMACIÓN:

info@globalyaku.com

Global Yaku Consultores SAC



Portugal: Arquipélago dos Açores

Dia Mundial da Água

Caminhada com explicações sobre aspetos científicos e sensibilização para os recursos hídricos



22 MAR. 2025, 10H00
NASCE ÁGUA

Angra do Heroísmo
CÂMARA MUNICIPAL

NIAA

GEOPARQUE AÇORES

unesco
Global Geopark

iah aih
Grupo Português da Associação Internacional de Hidrogeólogos

Associação OS MONTANHEIROS

HIDROGEODÍA 2025

HIDROGEODIA

O **Hidrogeodia** é um dia de divulgação e promoção da hidrogeologia, valorizando as águas subterrâneas, por ocasião da celebração do Dia Mundial da Água (22 de março). Este conceito é promovido pelo Grupo Espanhol da Associação Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). Este evento realiza-se pela primeira vez no arquipélago do Açores (Portugal).

O evento tem como objetivo a divulgação e sensibilização para as águas subterrâneas e a gestão dos seus recursos, fomentando a reflexão sobre os seus desafios através de uma atividade gratuita e aberta a todos os públicos, independentemente do seu conhecimento sobre o tema e liderada por um hidrogeólogo.

Na ilha Terceira, em Angra do Heroísmo, o Hidrogeodia 2025 celebra-se na Rota da Água, na Nasce Água, realizando uma caminhada com explicações sobre aspetos científicos para os recursos hídricos.



Figura 1: Reservatório das Costaneiras, com vista para a cidade de Angra do Heroísmo.

A ROTA DA ÁGUA

A Rota da Água é um percurso de pequena extensão (5 km), que para chegar cimo da Serra do Morião, sobe-se 400 m, em altura, numa encosta de inclinação um pouco acentuada.

O ponto de encontro é junto a um empreendimento turístico da Quinta da Nasce Água.



Figura 2: Ponto de encontro: Quinta da Nasce Água

Esta rota é desenvolvida em torno da importância da água para a cidade de Angra e seus habitantes, nas diversas funções que teve ao longo de 5 séculos. Começa por passar junto das ruínas dos 5 primeiros moinhos de água da levada da Ribeira dos Moinhos.

Além desse papel histórico, permite também perceber como funciona o ciclo local da água, desde a infiltração no interior da Caldeira do Guilherme Moniz, até surgir a água nas nascentes da encosta exterior deste vulcão, onde é captada, tratada e distribuída para consumo humano.

.

O QUE IREMOS VER

1° Paragem -Moinhos de Água Antigo

Antigas estruturas de aproveitamento da Força motriz para a produção industrial de Angra.

2° Paragem -ETA – Rede Distribuição

Estação de tratamento de água e início da rede de distribuição da cidade de Angra do Heroísmo.

3° Paragem -Nascente da *Mãe-de-Água*

Principal nascente de abastecimento de água à cidade de Angra do Heroísmo, com captação e construção de aqueduto em 1846.



Figura 3: Nascente da Mãe-de-Água

4° Paragem – Central Hidroelétrica

Central mini-hídricas de Angra, a primeira fonte de energia elétrica renovável que a cidade possuiu.

Percurso junto à tubagem, uma conduta adutora que abastece a primeira central hidroelétrica, e as outras duas que estão em série.

5° Paragem – Tanque da Costaneira

Tanque de regularização de águas, provenientes da Furna d'Água e Cabrito. Local onde se tem uma primeira vista tranquilizadora sobre Angra.

6° Paragem - Miradouro

Passagem por um cruzeiro e sobe-se até ao cimo da Serra do Morião, e junto do marco geodésico desfruta-se de uma panorâmica soberba sobre a costa sul da ilha.

O regresso é feito descendo por onde se subiu, salvo uma pequena variante a meio do percurso.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Complexo Vulcânico da Caldeira Guilherme Moniz , um dos quatro vulcões poligenéticos que contribuíram para a edificação da ilha Terceira. Este estratovulcão apresenta uma caldeira no seu topo, uma depressão alongada segundo NO-SE com diâmetro máximo e mínimo de 4,3 e 2,3 Km respetivamente. Apenas o bordo sul da caldeira está atualmente preservado, correspondendo à Serra do Morião, com escarpas declivosas e altura da ordem de 170 m, as restantes vertentes encontra-se coberta por formações recentes e materiais eruptivos do Vulcão Pico Alto (Zbyszewski et al., 1971; Self, 1973, 1976; Fernandes, 1985; Nunes, 2000; Rodrigues, 2002; França et al., 2003; Madeira, 2005; Gertisser et al., 2010; Larrea et al., 2018). A natureza predominantemente explosiva do Vulcão de Guilherme Moniz, caracteriza-se pelos numerosos centros eruptivos basálticos, depósitos piroclásticos e, domos e coulées traquíticos, dois cones de tufos surtseianos

(Monte Brasil e Ilhéu das Cabras), juntamente com depósitos de ignimbritos (Self, 1973; Self and Gunn, 1976; Gertisser et al., 2010; Larrea et al., 2018). Tendo culminado em episódios explosivos violentos provavelmente associados à formação da sua caldeira, que ocorreram aproximadamente entre as 180 e as 111 centenas de anos atrás (Calvert et al., 2006; Gertisser et al., 2010; Pacheco et al., 2013; Pimentel, 2015; Pimentel et al., 2021). Posteriormente o fundo desta caldeira foi ocupado por diversas escoadas lávicas basálticas, com especial destaque para aquelas emitidas há cerca de 2.000 anos do sistema vulcânico do Algar do Carvão e que transbordaram do lado leste da caldeira. Este é um geossítio do Geoparque Açores com relevância regional e interesse científico, educacional e geoturístico.

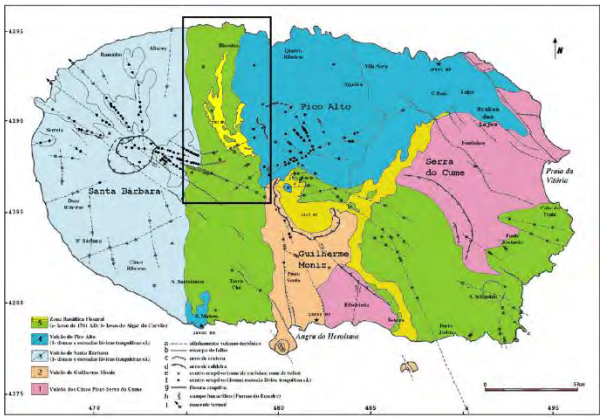


Figura 4: Carta Vulcanológica da ilha Terceira (Nunes et al., 2014).

HIDROGEOLOGIA DA TERCEIRA E GUILHERME MONIZ

Em termos hidrogeológicos, a pequena dimensão da Ilha Terceira, aliada à elevada permeabilidade dos seus materiais geológicos, leva ao desenvolvimento de um extenso aquífero basal, que se define por uma lentícula de água doce que sobrenada a água salgada que se infiltra a partir do oceano (Paradela, 1980; Rodrigues, 1993, 2002). Além disso, existe potencial para zonas tectónicamente compartimentadas (C. Pimentel & Rodrigues, 2022). O Plano Regional da Água descreve cinco massas de água subterrâneas distintas (Cruz, 2004; DROTRH/INAG, 2001; DROTRH, 2022) estando estas associadas a um total de 229 nascentes e 36 furos inventariados.

A massa de Água Subterrânea da Caldeira de Guilherme Moniz abrange uma área de 135,08 km² na região central da ilha. Esta engloba, no interior da caldeira, parte do Sistema Basáltico Fissural. Esta massa de água caracteriza-se predominantemente por formações fraturadas que condicionam a dinâmica hidrogeológica, sendo constituída por um aquífero basal e várias unidades de menor dimensão localizadas a diferentes altitudes (Cruz, 2004; DROTRH, 2022).

ÁGUA E SOCIEDADE

A ilha Terceira, descoberta no século XV, foi ocupada preferencialmente em zonas onde a disponibilidade de água doce era mais abundante, condição essencial dos primeiros povoadores para a fixação e o desenvolvimento das primeiras atividades agrícolas e urbanas. Em termos de cultura da água, é possível identificar na ilha Terceira uma diversidade metodológica associada à sua captação e distribuição, demonstrando a adaptação de forma engenhosa, às características hidrogeológicas, topográficas e climatéricas da ilha, moldando o seu modo de vida e estratégias de desenvolvimento em função dessas condições naturais influenciados pelas precipitações e marés, caudais de nascentes e ribeiras. Na zona oriental da ilha verifica-se o predomínio da escavação de poços captando aquíferos suspensos e basais, dada a ocorrência destas fontes de água a pouca profundidade. Já nas

zonas de maior relevo, a norte, noroeste e sul, é dada especial importância às nascentes e margens de ribeiras, pois apresentam abundância de exsurgências. Mais tarde, nas zonas desprovidas de nascentes, verifica-se a captação de águas da chuva e armazenamento em cisternas, tomando partido da elevada precipitação da ilha (Silva Borges, Borges and Rodrigues, 2022).

Com o aumento da população e a intensificação das atividades económicas, tornou-se necessária a implementação de sistemas de captação e distribuição da água, de forma a garantir o acesso generalizado aos recursos hídricos provenientes das nascentes. Esta necessidade impulsionou o desenvolvimento de infraestruturas que permitiram, não apenas o abastecimento das populações, mas também apoiar a expansão agrícola, industrial e urbana da ilha. Destes desenvolvimentos, o mais importante marco da distribuição de água na ilha Terceira é a "levada" da ribeira dos Moinhos na cidade de Angra do Heroísmo, projetada em 1474, encanando artificialmente a ribeira dos Moinhos, com fluxo perene, alimentando dezenas de moinhos de água e impulsionando assim a atividade económica da cidade (Silva Borges, Borges and Rodrigues, 2022).

Mais tarde, a partir de 1605, foi implantado na cidade de Angra do Heroísmo, um sistema estruturado de abastecimento de água, conhecido como "Cano Real" destinado a conduzir a água desde as nascentes até aos chafarizes urbanos. Esta medida foi um marco significativo no ordenamento da cidade, permitindo a distribuição pública de água e refletindo a crescente organização das funções sanitárias e urbanas da época. Noutras zonas da ilha, desenvolveram-se igualmente pequenos sistemas de abastecimento de água, que era conduzida por gravidade através de uma rede de tubos de barro num sistema tradicional de "arquinhas". O devido valor patrimonial material das construções anteriormente referidas não é de somenos, bem como o valor patrimonial imaterial e etnográfico associado à água, sendo devido o seu estudo, proteção e divulgação (Silva Borges, Borges and Rodrigues, 2022).

ORGANIZADORES DO HIDROGEODIA Angra 2025

Paulo Filipe Silva Borges[1,2,3] (Hidrogeólogo)

Paulo José Mendes Barcelos[4] (Engenheiro Agrícola)

Salomé C. Meneses[5] (Geóloga)

Samuel Mendes Rocha Vieira Pires[6] (Engenheiro de Gestão do Ambiente)

1- Instituto de Investigação de Tecnologias Agrárias e do Ambiente;
2- Universidade dos Açores;
3- Grupo Português da Associação Internacional de Hidrogeólogos;
4- Associação Os Montanheiros;
5- Geoparque Açores;
6- Câmara Municipal de Angra do Heroísmo.

BIBLIOGRAFIA

Calvert, A. T., Moore, R. B., McGeehin, J. P., & Rodrigues da Silva, A. M. (2006). Volcanic history and 40Ar/39Ar and 14C geochronology of Terceira Island, Azores, Portugal. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, *156*(1–2), 103–115. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.03.016

Cruz, J. V. (2004). *Ensaio Sobre a Água Subterrânea nos Açores. História, Ocorrência e Qualidade*. Serviço Regional do Ambiente.

DROTRH/INAG. (2001). Plano Regional da Água. In *Public Technical Report* (1st ed.). Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos / Secretaria Regional do Ambiente.

DROTRH. (2022). Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores (RH9). In *Public Technical Report*.

Fernandes, J. G. de C. (1985). Terceira (Açores). Estudo Geográfico. In *University of the Azores*. Universidade dos Açores.

França, Z., Cruz, J. V., Nunes, J. C., & Forjaz, V. H. (2003). Geologia dos Açores: Uma perspectiva actual. *Açoreana*, *10*(1), 11–140. https://www.researchgate.net/publication/236164394

Gertisser, R., Self, S., Gaspar, J. L., Kelley, S. P., Pimentel, A., Eikenberg, J., Barry, T. L., Pacheco, J. M., Queiroz, G., & Vespa, M. (2010). Ignimbrite stratigraphy and chronology on Terceira Island, Azores. In *Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas* (Vol. 464, pp. 133–154). Geological Society of America. https://doi.org/10.1130/2010.2464(07)

Larrea, P., França, Z., Widom, E., & Lago, M. (2018). Petrology of the Azores Islands. In *Active Volcanoes of the World* (pp. 197–249). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32226-6_10

Madeira, J. (2005). *The Volcanoes of Azores Islands: A World-class Heritage: Examples from Terceira, Pico, and Faial Islands, 16-21 September 2005: Field Trip Guide Book*. LATTEX (Laboratory of Tectonophysics and Experimental Tectonics.

Nunes, J. C. (2000). Notas sobre a geologia da Ilha Terceira (Açores). *Açoreana*, *9*(2), 205–215.

Nunes, J. C., Calvert, A. T., Medeiros, Medeiros, S. M. T., Lima, E. A., Pereira, F., Costa, M. P., Barcelos, P., & Carvalho, M. R. (2014). Geological mapping of the central area of Terceira Island (Azores, Portugal): associated volcanostratigraphy, ages and genetic implications on the Malha-Balcões-Chamusca lava caves system. *Comunicações Geológicas LNEG*, *101*(Especial I), 283–288. http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185

Pacheco, J. M., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J. V., Pimentel, A., Silva, R., Gaspar, J. L., & Goulart, C. (2013). Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores. In R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, & J. C. Kullberg (Eds.), *Geologia de Portugal* (pp. 595–690). https://www.researchgate.net/publication/256986277

Paradela, P. L. (1980). Hidrogeologia geral das ilhas adjacentes. *Comunicação Serviços Geológicos Portugal*, *66*, 241–256.

Pimentel, A. (2015). Pyroclastic Density Current-forming eruptions on Faial and Terceira Islands, Azores. In *Departamento de Geociências, Universidade dos Açores*. Universidade dos Açores.

Pimentel, A., Self, S., Pacheco, J. M., Jeffery, A. J., & Gertisser, R. (2021). Eruption Style, Emplacement Dynamics and Geometry of Peralkaline Ignimbrites: Insights From the Lajes-Angra Ignimbrite Formation, Terceira Island, Azores. *Frontiers in Earth Science*, *9*(June). https://doi.org/10.3389/feart.2021.673686

Pimentel, C., & Rodrigues, F. C. (2022). Subdivision of the Basal Aquifer at Lajes Graben , Terceira Island , Azores. *IITAA Technical Issues*, 11–16.

Rodrigues, F. C. (1993). Contributo para estudo hidrogeológico da ilha Terceira (Açores). In *Unviersidade dos Açores*. Univesridade dos Açores.

Rodrigues, F. C. (2002). Hidrogeologia da ilha

Terceira (Açores - Portugal). In *Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente, Universidade dos Açores*. Universidade dos Açores.

Self, S. (1973). Recent Volcanism on Terceira, Azores. In *Imperial College*. Imperial College.

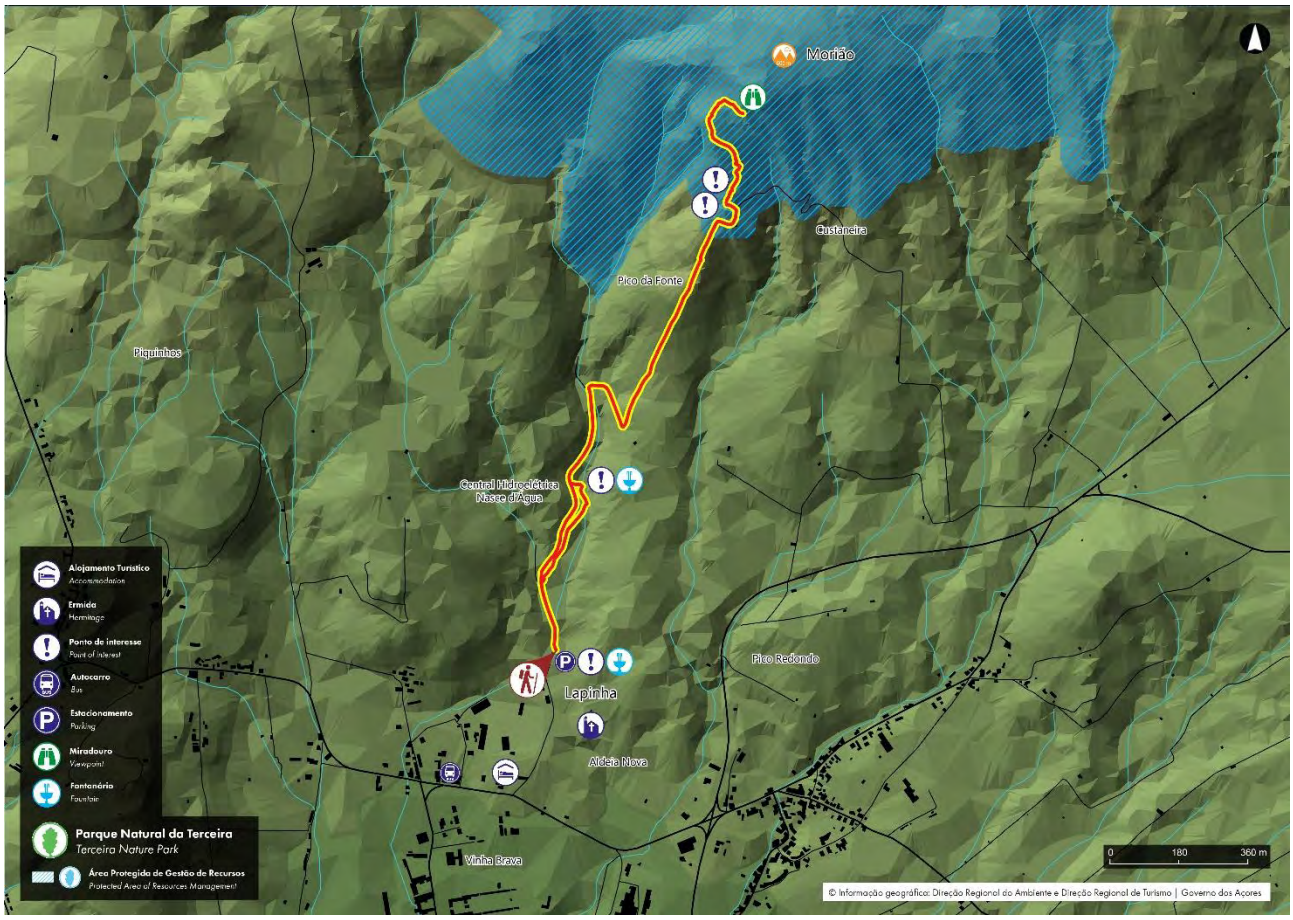
Self, S. (1976). The Recent volcanology of Terceira, Azores. *Journal of the Geological Society*, *132*(6), 645–666. https://doi.org/10.1144/gsjgs.132.6.0645

Self, S., & Gunn, B. M. (1976). Petrology, Volume and Age Relations of Alkaline and Saturated Peralkaline Volcanics from Terceira, Azores. In *Contributions to Mineralogy and Petrology* (Vol. 54).

Silva Borges, P. F., Borges, L. C. S., & Rodrigues, F. C. (2022). Fatores naturais influenciadores na cultura da água numa pequena ilha : Captação e distribuição de água da ilha Terceira. In Á. Garrido, A. Arezes, F. Topa, G. C. Conceição, I. Amorim, & V. Ribeiro (Eds.), *X CITCEM conference* (pp. 76–77). Universidade do Porto.

Zbyszewski, G., Medeiros, A. C., Ferreira, O. V., & Assunção, C. T. (1971). Carta Geológica de Portugal, Ilha Terceira (Açores). Escala 1/25 000. In *Serviços Geológicos de Portugal* (p. 43). Tip. Alcobacence limitada.

ROTA DO HIDROGEODIA Angra 2025





Portugal: Guimaraes

SAÍDA DE CAMPO ÀS MINAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA MONTANHA DA PENHA

HIDROGEODIA 2025

João Miranda[1], Margarida Antunes[2], Carolina Rodrigues[1], Sara Lopes[1,2], Sofia Bragança[3], Elisabete Pereira[3], Carlos Freitas[3], Armindo Costa e Silva[3]

Local: Montanha da Penha, Guimarães

Data: Sábado, 29 de março 2025



[1] Laboratório da Paisagem, Rua da Ponte Romana, Creixomil, 4835-095 Guimarães, Portugal

[2] Instituto de Ciências da Terra (ICT), Polo da Universidade do Minho, 4710- 057 Braga, Portugal

[3]Vimágua, E.I.M., Rua Rei do Pegú, 172 S. Sebastião 4810-025 Guimarães, Portugal

Email: joao.miranda@labpaisagem.pt

O que é o HIDROGEODIA?

O HIDROGEODIA é uma iniciativa de sensibilização sobre a hidrogeologia e os recursos hídricos, criada pelo Grupo Espanhol da IAH (AIH-GE), em 2017. Este dia tem como objetivo aproximar o público em geral dos recursos hídricos subterrâneos, independentemente do nível de conhecimento prévio.

Em Guimarães, o HIDROGEODIA 2025 será celebrado no Dia Mundial da Água, em 22 de março, na Montanha da Penha. Este evento será organizado pelo Laboratório da Paisagem de Guimarães, em colaboração com a Vimágua e o Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho | Instituto de Ciências da Terra – Pólo UMinho e está integrado na Festa da Primavera 2025.

Porque visitar as minas de água subterrânea da Montanha da Penha?

A Montanha da Penha é um local de elevado interesse geológico e hidrogeológico. Para além da sua beleza natural única, a Montanha da Penha tem um sistema histórico de minas de água subterrânea, que remonta milhares de anos (Miranda *et al*., 2025). Estas minas continuam a desempenhar um papel fundamental no abastecimento público de água de Guimarães (Costa, 2007) e na preservação da biodiversidade local.

Nos últimos anos, a Montanha da Penha tem sido palco de diversos eventos científicos, como o "Dia do Geólogo 2023" e o "Dia Internacional da Geodiversidade 2023". Agora, no HIDROGEODIA, irá ser explorada e compreendida a importância da água subterrânea, bem como, o relevante trabalho dos hidrogeólogos na gestão e preservação destes recursos. Para além da sua importância hidrogeológica, as minas de água subterrânea da Montanha da Penha criam condições ideais para o desenvolvimento de diversas espécies. A elevada humidade e a vegetação local favorecem a ocorrência da salamandra-lusitânica (*Chioglossa lusitanica*), um endemismo ibérico associado a ribeiras frias, e de morcegos cavernícolas, como o morcego-de-ferradura-pequeno (*Rhinolophus hipposideros*) e o morcego-de-franja-do-sul (*Myotis escalerai*), que utilizam as minas e grutas para abrigo e reprodução. A preservação destes habitats é essencial para a conservação da biodiversidade local.

A atividade do HIDROGEODIA 2025, inserida no programa da Festa da Primavera, terá início pelas 10:00 horas, com ponto de partida na banca da organização. A atividade terá uma duração aproximada de 2 horas, consistindo numa caminhada com o objetivo de conhecer melhor o sistema hídrico da Montana da Penha, através da sua visita e explicação do funcionamento deste sistema de abastecimento centenário, reforçando a sua importância para o abastecimento público de Guimarães, bem como para a proteção e preservação da biodiversidade local.

A Montanha da Penha

O sistema hídrico de água subterrânea da Montanha da Penha localiza-se a SE da localidade de Guimarães (NW Portugal). A Serra da Penha abrange uma área de, aproximadamente, 1140 hectares e atinge uma altitude máxima de 613 metros.

A geologia da Montanha da Penha é dominada por um substrato granítico com feições geomorfológicas variadas e caraterísticas da paisagem granítica. O granito Varisco de Guimarães é o dominante na região e corresponde a um monzogranito biotítico porfiroide de grão grosseiro (Pinto et al. 2010), com 306-311 Ma de idade (Dias et al. 1998).

A água da Montanha da Penha é uma água subterrânea (Fig. 1) fracamente mineralizada, com um baixo teor de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS: 14,1-59,0 ppm) e valor de pH variando de ácido a neutro (pH: 5,0-7,3). A fácies dominante é de uma água cloretada-sódica, com uma origem meteórica, principalmente proveniente da precipitação local e resultante de um regime de fluxo superficial. A área de recarga dominante localiza-se a uma altitude variando entre entre 455 e 525 metros (Miranda *et al.*, 2025).



Figura 1. Minas de água subterrânea da Montanha da Penha. Na imagem da esquerda é possível observar a entrada da mina 32 e na imagem da direita, o interior de uma das minas com água cloretada-sódica de excelente qualidade para consumo humano.

Nesta atividade vais poder vivenciar como é feita a avaliação dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea através do preenchimento da seguinte tabela:

Parâmetros Físico-químicos da água	Mina 6
Oxigénio Dissolvido (mg O_2/L)	
Potencial Oxidação-Redução (mVolt)	
Temperatura da água (º C)	
Condutividade Elétrica (µS/cm)	
Caudal (L/s)	

Notas:

PARA SABER MAIS:

Costa, F. D. S. (2014). Mãe-d'água: Um contributo sobre o património hidráulico e abastecimento público de Guimarães (noroeste de Portugal). *Agua y Territorio/Water and Landscape*, (3), 77-88.
https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/article/view/1426
Miranda, J., Antunes, I. M. H. R., Ribeiro, C. A. (2025). "Groundwater modeling from urban areas (NW Portugal) -an integrated hydrological-hydrogeological approach", Earth Systems and Environment. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00614-1



Principat d´Andorra

Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Hidrolodia, Principat d'Andorra

Dissabte, 22 de març de 2025





Pluja i desglaç, fonts i rius: inundacions?

El rol de les aigües subterrànies en la infiltració i exposició a la inundació del fons de vall

EXCURSIÓ GRATUÏTA

- Sense inscripció previa
- Es recomana portar la tarjeta de transport BUS, calçat còmode, aigua i un esmorzar per menjar pel camí

TRANSPORT: ***BUS interurbá -comunal***

INSCRIPCIÓ NO OBLIGATORIA

e-mail / Telèfon: 321815

igeofundacio@fundaciomarcelchevalier.com

HORARI: 9:30-14:00 h

PUNT DE TROBADA: 9:30 a la plaça Sta. Anna d'Escaldes-Engordany

RECORREGUT A PEU I TORNADA AMB BUS: Pont de la Tosca / Caldea / Dama de Gel / Av. Meritxell / La Rotonda / Parc Central / Pont de Tobira / Av. Enclar / Sta Coloma (5 km)

Informació detallada i folletó de l'excursió: *https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025/*

Andorra la Vella

COL·LABORA
AMB LA AIH-GE I EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'
PER A MILLORAR LA PROTECCIO DEL PATRIMONI HIDROGEOLÒGIC
VOLS AJUDAR-NOS ?



South Africa



HYDROGEODAY

South Africa

We cordially invite you to join us for an enlightening HydroGeoDay at the Institute for Groundwater Studies.

This informative event will focus on the historic Bloemspruit, the spring around which Bloemfontein was founded. Our talk will provide a comprehensive groundwater perspective on this significant natural feature and explore the groundwater resources in the Bloemfontein vicinity. Through engaging discussions and expert insights, you will gain a deeper understanding of groundwater's role in our local ecosystem.

As South Africa faces increasing aridification and rapid population growth, the importance of groundwater has never been more critical. Our HydroGeoDay aims to raise awareness about the vital need to protect our groundwater resources. We will highlight the significance of sustainable groundwater management and the steps we can take to safeguard this precious resource for future generations.

Whether you are a professional in the field, a student, or simply someone interested in learning more about groundwater, this event is for you. Come and be part of a community dedicated to promoting groundwater awareness and fostering a deeper appreciation for the role it plays in our environment. We look forward to your participation in this important conversation.

This event is in collaboration with the International Association of Hydrogeologists, the world-wide groundwater organisation.

To RSVP email us at: igs-info@ufs.ac.za

Date: **5** April 2025
Time: 9:30 for 10:00 until 13:00
Place: Institute for Groundwater Studies,
University of the Free State, Main Campus
RSVP: 21 March 2025

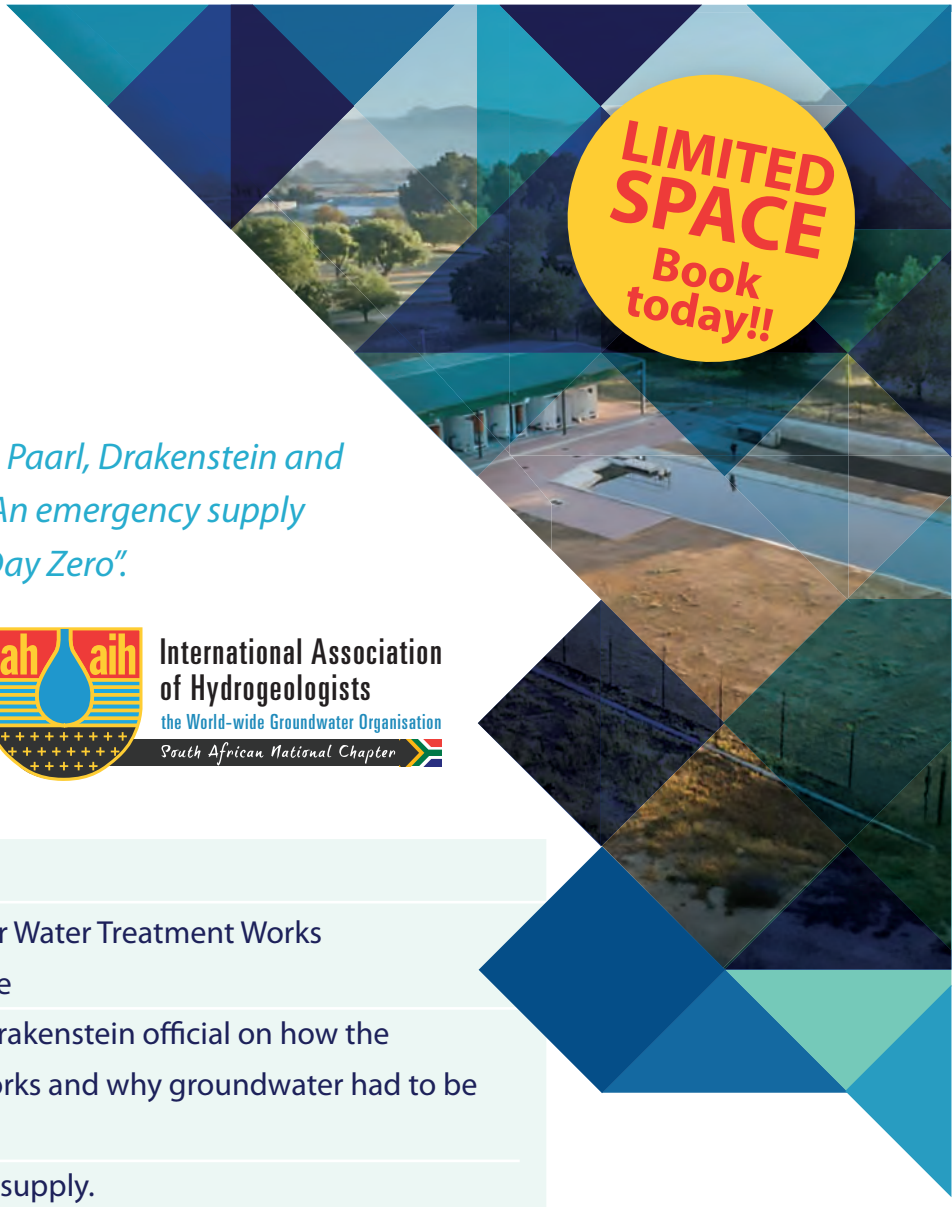
www.ufs.ac.za

iah aih

VISION 130 Renew and Reimagine for 2034

UNIVERSITY OF THE FREE STATE
UNIVERSITEIT VAN DIE VRYSTAAT
YUNIVESITHI YA FREISTATA
UFS

World **Hydrogeo** Day



A site visit to the Boy Louw Wellfield, Paarl, Drakenstein and associated water treatment works. An emergency supply scheme developed in the times of "Day Zero".

Date: Wednesday 2 April
Time: 9.30-12.30
Cost: None

International Association of Hydrogeologists
the World-wide Groundwater Organisation
South African National Chapter

Itinerary

9:30	Arrive & register at Meulwater Water Treatment Works Tea, coffee & biscuits available
10:00	Opening presentation by a Drakenstein official on how the Drakenstein Water Supply works and why groundwater had to be included
10:10	Videos on Drakenstein water supply.
10:30	The development of the Drakenstein wellfield. J. Conrad (GEOSS)
10:50	The engineering & legal challenges of establishing a groundwater supply. (Zutari) & J. Conrad (GEOSS)
11:15	Q & A
11:30	Depart (in own transport) for the Boy Louw Wellfield
11:45	Overview of a Boy Louw boreholes (J. Conrad)
12:00	Overview of the Boy Louw water treatment works (Drakenstein Operator)
12:15	Q & A
12:50	Closure

Post-event social *– meet at Simonsvlei Winery for a light lunch & some refreshments (own account)*

RSVP: info@iah.org.za (first come, first served) by Monday 31 March 2025

Hydrogeoday – 2 April 2025



Figure 1: Attendees from left to right: Roger Parsons, Hein Henning (host), Thokozani Kanyerere, Sifiso Nkonyane (host), Tulani Funicelo, Esa Hope Mapindani, Jana Oberholzer, Nicolei e Vermaak, Gideon Tredoux, Julian Conrad, Aphelele Sibali, and Lwandile Mhlaba

On a crips autumn morning of 2 April 2025, 10 intrepid groundwater scieni sts took the winding road up the Paarl mountains. Their desi nai on was the Meulwater Water Treatment Works to ai end the special Hydrogeoday event that IAH-SA organized in collaborai on with the Drakenstein Municipality. Our hosts, Sifiso Nkonyane andHein Henning, shared informai on about the water supply system of the municipality and told us about the interveni ons that the municipality put in place during the 2015 – 2018 drought to ensure a sustainable water supply to the inhabitants of the municipality. Ai er the informai on session, we visited the Boy Louw wellfield, where we toured the water treatment facility that ensured that the groundwater added to the main rei culai on system is suitable for human consumpi on. The warm welcome from the hosts, the beaui ful scenery and the interaci on between geohydrologists of different ages made the day special. We parted ways as friends and with a greater understanding of how a municipality ensures the sustainability of the water supply to the residents. A special word of thanks to the Drakenstein Municipality and the organisers of the event.



Figure 2: The view from Meulwater Water Treatment Plant.



Figure 3: Information session, where Hein Henning explains the water supply system to Drakenstein Municipality.



Figure 4: Hein Henning, Gideon Tredoux and Thokozani Kanyerere parting as friends.