

HIDROGEODÍA

Una experiencia de divulgación de
las aguas subterráneas en España

Año 2022



Eds.: Almudena de la Losa Román y Carolina Guardiola Albert

Editado en Valencia por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español

  **22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua**
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022

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

¡PARTICIPA!

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| Introducción | 4 |
| <i>Almudena de la Losa Román (IGME-CSIC) y Concepción Pla Bru (UA)</i> | |
| Alicante- El agua subterránea en la montaña: Penáguila-Alcolea | 8 |
| <i>José Miguel Andreu Rodes (UA), Ernesto García Sánchez(UMH) y Miguel Fernández Mejuto (DPA/UA)</i> | |
| Andorra- Fonts y captacions d'aigua en la zona de la Rabassa | 28 |
| <i>Valentí Turu i Michels (FMC)</i> | |
| Badajoz- Visita a la captación e instalaciones de aguas "los Riscos" (Albuquerque) | 38 |
| <i>Eduardo Rebollada Casado (AGEx), Francisco Fernández de la Llave (AGEx) y Francisco Javier Fernández Amo (TECMISA, .SL)</i> | |
| Baleares- Historia de la investigación hidrogeológica en las Illes Balears. | 48 |
| Investigación del Manantial Kárstico intermitente de Ses Ufanes | |
| <i>Ponentes: Alfredo Barón Pérez i Concepción González Casasnovas Rotman A. Criollo Manjarrez (IMEDEA, UIB-CSIC), Margalida Coma Colom (AIH), Neus Sanz Gómez (AGEIB) y Miquel Grimalt Gelabert (UIB)</i> | |
| Barcelona- Hidrogeología Urbana, un paseo por Barcelona | 49 |
| <i>Enric Vázquez Suñé (IDAEA-CSIC)</i> | |
| Burgos- Hidrogeología y aguas subterráneas del entorno de Burgos | 50 |
| <i>Luis Antonio Marcos Naveira (UBU)</i> | |
| Canarias- Islas del Hierro: La importancia de cuidar las aguas subterráneas | 51 |
| <i>Juan Carlos Santamarta Cerezal (ULL)</i> | |
| Ciudad Real- Cuando magma y agua se encuentran en el Campo de Calatrava | 52 |
| <i>Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, Estela Escobar Lahoz, Rafael Becerra Ramírez y Elena González Cárdenas (UCLM)</i> | |
| Córdoba- La Sierra de los Pollos, un vergel en tiempos de sequía | 76 |
| <i>Noelia Corral Rubio y Alicia Serna Barquero (TRAGSA)</i> | |
| Galicia- As traídas ao carón da ría | 77 |
| <i>Acacia Naves García-Rendueles (UDC) y Eva Álvarez Expósito (COXAPO)</i> | |
| Granada- Arquitectura de agua: El Balneario de Alicún y el acueducto del Toril | 84 |
| <i>Antonio González Ramón, Ana Ruiz Constán, Sergio Martos Rosillo, Francisco Juan García Tortosa (IGME-CSIC)</i> | |
| Guadalajara- Las cien fuentes de Cifuentes | 99 |
| <i>Enrique Díaz Martínez (CN IGME-CSIC)</i> | |
| Huelva- Hidrogeología de los Cabezos de Huelva. Fuente Vieja y el antiguo sistema de abastecimiento de agua a la ciudad | 109 |
| <i>Manuel Olías Álvarez, María Dolores Basallote Sánchez, Carlos Ruiz Cánovas, Francisco Macías Suárez, Juan Antonio Morales González, Raúl González Domínguez, Rafael León Cortegano, Ricardo Millán Becerro y Jonatan Romero Matos (UHU)</i> | |

| | |
|--|------------|
| Jaén- Mata Bejid y Arbuniel, dos manantiales iguales...pero diferentes | 123 |
| <i>Rosario Jiménez Espinosa (UJAEN), Enrique Olivas Méndez (MLF) y Antonio Lope Morales González (UJAEN)</i> | |
| Lleida- Las aguas subterráneas de la Conca de Tremp-Isona | 124 |
| <i>Josep Maria Màsich (UDL), J. Manel Pascual (UDL) y Carles Balasch (UDL)</i> | |
| Madrid- Historias del abastecimiento de agua a Madrid: del Pontón de la Oliva al Embalse de El Atazar, pasando por los pozos de Torrelaguna | 152 |
| <i>Almudena de la Losa Román, Carlos Baquedano Estévez, Fabián Luis López Olmedo, Luis Moreno Merino, Javier Heredia Díaz, Juan José Durán Valsero, Raquel Morales, Elisabeth Díaz Losada y Amalia Romero Prados (IGME-CSIC)</i> | |
| Málaga- El río Vélez y las aguas subterráneas | 184 |
| <i>Matías Mudarra Martínez, Lucía Ojeda Rodríguez, Matías Mudarra Martínez, José María Ávila Marín, Juan Antonio Barberá Fornell, Alejandro Carrasco Martín, Beatriz de la Torre Martínez, Jaime Fernández Ortega, José Manuel Gil Márquez, José Pablo González de Aguilar Etchemendi, Cristina Liñán Baena, Marta Llamas Dios, José Francisco Martín Rodríguez, María Dolores Rodríguez-Ruiz, Juan José Rovira Medina e Iñaki Vadillo Pérez (UMA)</i> | |
| Murcia- ¿Es visible lo invisible? El agua subterránea en el Campo de Cartagena y Mar Menor | 198 |
| <i>Jose Luis García Aróstegui (IGME-CSIC), Alberto Barrera García (AQUATEC-AGBAR), Marisol Manzano Arellano (UPCT), Nicolás Tapia Morales (AQUATEC-AGBAR), Antonio Jesús Ramírez Bermúdez (AQUATEC-AGBAR), Miguel Ángel Del Amor Saavedra (CARM) y Félix Román Pérez Rubio (WIDHOC)</i> | |
| Segovia- ¿De dónde venía el agua del Acueducto? Las raíces hidrogeológicas del Acueducto de Segovia | 226 |
| <i>Nuria Sacristán Arroyo (Segovia Educa en verde y Geología de Segovia) y Andrés Díez Herrero (IGME-CSIC y Geología de Segovia)</i> | |
| Sevilla- Aguas subterráneas y Minería en la Minería de Sevilla | 242 |
| <i>Miguel Rodríguez Rodríguez (UPO), Joaquín María Delgado Rodríguez (UDS) y María José Montes Vega (UPO)</i> | |
| Valencia- Las aguas subterráneas en la Muntanyeta del Sants de Sueca | 250 |
| <i>Jose Antonio Domínguez Sánchez (IGME-CSIC)</i> | |
| Zaragoza- Los Ojos del Pontil: un manantial preservado | 276 |
| <i>Eduardo Garrido Schneider y Cristina Pérez Bielsa (IGME-CSIC)</i> | |
| Hidrogeodía Iberoamérica | |
| Chile- Hidrogeología de la cuenca del río Maullín | 294 |
| <i>Rosa Troncoso Vasquez y Felipe Avilés Maldonado (SERNAGEOMIN)</i> | |
| Guatemala- La Hidrogeología de Guatemala contada a través del mapa de relieve | 295 |
| <i>Marlon Arturo Ramos, Yolani Soto Menegazzo y Astrid Zúñiga Pimentel (EMPAGUA)</i> | |

¿Qué es el Hidrogeodía?

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

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

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

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

¿En qué consisten las actividades?

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

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

mano las labores del propio hidrogeólogo. Esto hace mucho más amena e interactiva la actividad, intentando hacer partícipes a todos los asistentes.

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

Planificación de las actividades

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

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

El Hidrogeodía se anuncia con varios meses de antelación mediante campañas de difusión a través de diversas plataformas: medios de comunicación, internet (webs institucionales y blogs) y redes sociales. El Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) dispone de una página web (<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>) en la que se van incluyendo los carteles, guías y toda aquella documentación o material didáctico referente a la actividad en cada una de las provincias que se puede descargar libremente. Los itinerarios mostrados son diferentes en cada una de las ediciones. Además, en la página web de la AIH-GE, se incluye una dirección de contacto, en la que pueden inscribirse las personas interesadas en un plazo determinado. No obstante, diferentes organismos, instituciones, universidades y centros afines a la hidrogeología están también involucrados, con la finalidad de dar una mayor difusión a la actividad. El uso de internet y de las redes sociales también ha facilitado en gran medida la difusión del evento y una mayor visibilidad. Con el fin de aumentar la participación social, en algunos casos se proponen además iniciativas como concursos de fotografía, abiertos a todos los públicos y dirigidos a la temática hidrogeológica. En otras ocasiones, para dinamizar la actividad se emplean herramientas digitales 3.0 (redes sociales e internet). En el conjunto de redes sociales disponibles (*Twitter, Facebook, Youtube*), se cuelgan todos aquellos documentos gráficos relevantes para la difusión de los eventos, así como material audiovisual. Además, se involucra a los medios de comunicación mediante el envío de notas de prensa y entrevistas en las radios locales. Cuando es posible, se implica a los ayuntamientos de los municipios en los que se desarrollan las jornadas, así como a algunas empresas locales, a las cuales se les ofrece la posibilidad de incluir su logotipo en el material elaborado.

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

Este año 2022, el Hidrogeodía se ha celebrado en 21 provincias y, adicionalmente, también en Andorra e Iberoamérica (Chile y Guatemala) (Figura 1).

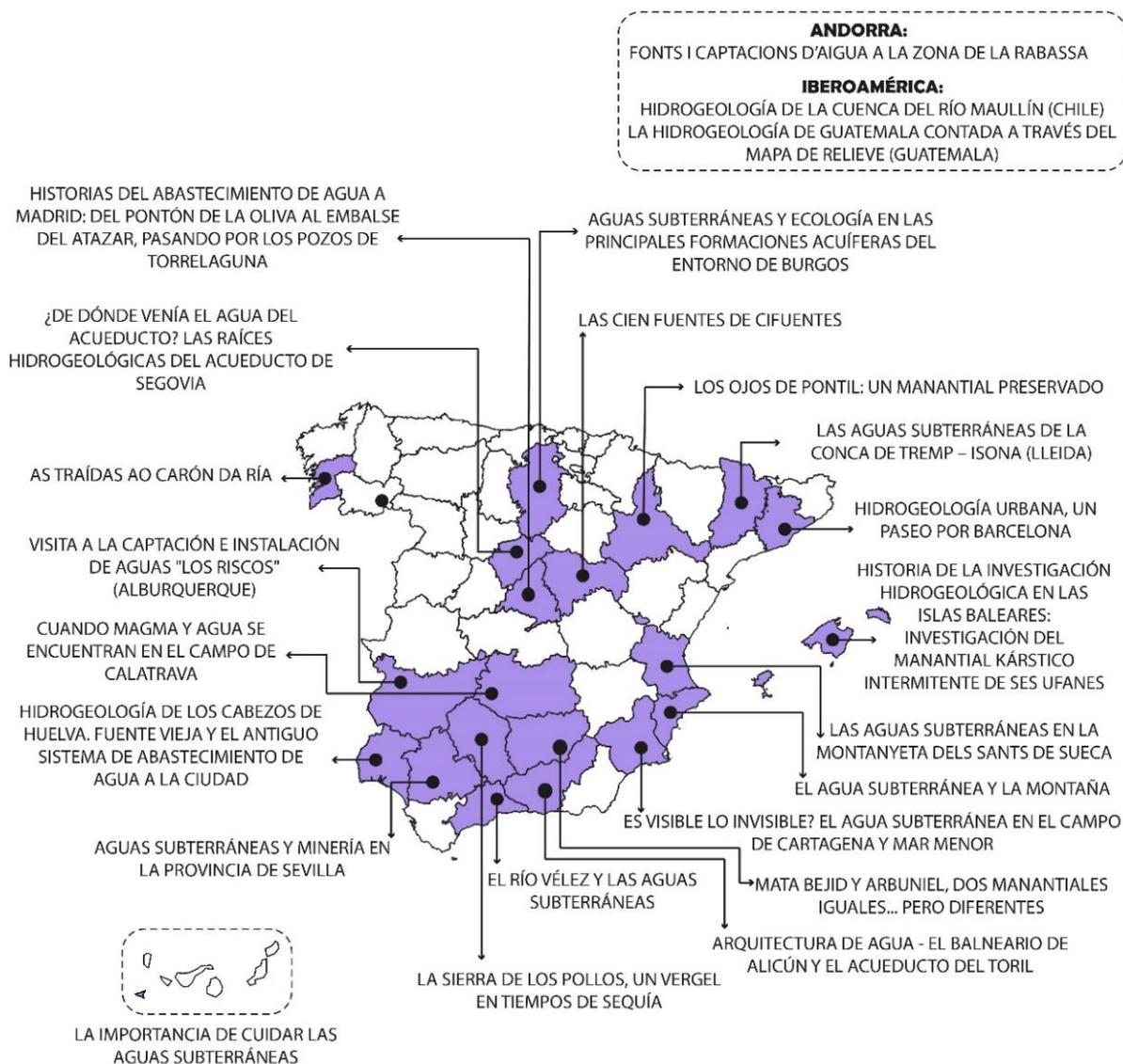


Figura 1. Provincias españolas donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2022.

En la siguiente Tablas-resumen (Tabla 1) se detallan los tipos de actividades realizadas en cada uno de los lugares donde se ha celebrado el Hidrogeodía 2022.

| LUGAR | ACTIVIDAD | TIPO DE ACTIVIDAD |
|-------------|---|-----------------------------|
| ALICANTE | EL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA MONTAÑA | Excursión hidrogeológica |
| ANDORRA | FONTS I CAPTACIONS D'AIGUA A LA ZONA DE LA RABASSA / FUENTES Y CAPTACIONES DE AGUA EN LA ZONA DE LA RABASSA | Excursión hidrogeológica |
| BALEARES | HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LAS ISLAS BALEARES: INVESTIGACIÓN DEL MANANTIAL KÁRSTICO INTERMITENTE DE SES UFANES | Conferencia |
| BADAJOS | VISITA A LA CAPTACIÓN E INSTALACIÓN DE AGUAS "LOS RISCOS" (ALBURQUERQUE) | Excursión hidrogeológica |
| BARCELONA | HIDROGEOLOGÍA URBANA, UN PASEO POR BARCELONA | Excursión hidrogeológica |
| BURGOS | AGUAS SUBTERRÁNEAS, HIDROGEOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE | Conferencia |
| | AGUAS SUBTERRÁNEAS Y ECOLOGÍA EN LAS PRINCIPALES FORMACIONES ACUÍFERAS DEL ENTORNO DE BURGOS: HIDROGEOLOGÍA 2022 | Excursión hidrogeológica |
| CANARIAS | LA IMPORTANCIA DE CUIDAR LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS | Excursión hidrogeológica |
| CIUDAD REAL | CUANDO MAGMA Y AGUA SE ENCUENTRAN EN EL CAMPO DE CALATRAVA | Excursión hidrogeológica |
| CÓRDOBA | LA SIERRA DE LOS POLLOS, UN VERGEL EN TIEMPOS DE SEQUÍA | Excursión hidrogeológica |
| GALICIA | AS TRÁIDAS AO CARÓN DA RÍA | Conferencia y excursión |
| GRANADA | ARQUITECTURA DE AGUA - EL BALNEARIO DE ALICÚN Y EL ACUEDUCTO DEL TORIL | Excursión hidrogeológica |
| GUADALAJARA | LAS CIEEN FUENTES DE CIFUENTES | Excursión hidrogeológica |
| JAÉN | MATA BEJID Y ARBUNIEL, DOS MANANTIALES IGUALES... PERO DIFERENTES | Excursión hidrogeológica |
| HUELVA | HIDROGEOLOGÍA DE LOS CABEZOS DE HUELVA. FUENTE VIEJA Y EL ANTIGUO SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD. | Excursión hidrogeológica |
| LLEIDA | LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CONCA DE TREMP – ISONA (LLEIDA) | Excursión hidrogeológica |
| | CONFERENCIA HIDROGEOLOGÍA LLEIDA: ELS NITRATS A LES AIGÜES SUBTERRÀNIES: CAP A ON ANEM? / LOS NITRATOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: ¿HACIA DONDE VAMOS? | Conferencia |
| MADRID | HISTORIAS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA A MADRID: DEL PONTÓN DE LA OLIVA AL EMBALSE DEL ATAZAR, PASANDO POR LOS POZOS DE TORRELAGUNA | Excursión hidrogeológica |
| MÁLAGA | EL RÍO VÉLEZ Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS | Excursión hidrogeológica |
| MURCIA | ¿ES VISIBLE LO INVISIBLE? EL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL CAMPO DE CARTAGENA Y MAR MENOR | Excursión hidrogeológica |
| SEGOVIA | ¿DE DÓNDE VENÍA EL AGUA DEL ACUEDUCTO? LAS RAÍCES HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUEDUCTO DE SEGOVIA | Excursión hidrogeológica |
| SEVILLA | AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MINERÍA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA | Excursión hidrogeológica |
| VALENCIA | LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA MONTANYETA DELS SANTS DE SUECA | Excursión hidrogeológica |
| ZARAGOZA | LOS OJOS DE PONTIL: UN MANANTIAL PRESERVADO | Excursión hidrogeológica |
| CHILE | HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO MAULLÍN PRESENTACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO. VISITA GUIADA LAGO LLANQUIHUE | Jornada Técnica y excursión |
| GUATEMALA | LA HIDROGEOLOGÍA DE GUATEMALA CONTADA A TRAVÉS DEL MAPA DEL RELIEVE | Excursión hidrogeológica |

Tabla 1. Resumen de las diferentes actividades llevadas a cabo en todas las provincias españolas, Andorra e Iberoamérica durante el Hidrogeodía 2022.

A continuación, se mostrarán las guías-carteles de todas las provincias participantes en la actividad durante este año 2022.

Este resumen del Hidrogeodía ha sido elaborado por Almudena de la Losa Román y Concepción Pla Bru

HIDROGEODÍA
2022



El agua subterránea en la montaña: Penàguila-Alcoleja (Alicante)

Guía de la excursión



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante





HIDROGEODÍA 2022 – V Edición Alicante

Diputación de Alicante (DPA)
Universidad de Alicante (UA)
Universidad Miguel Hernández (UMH)

Una iniciativa de:
Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español (AIH-GE)

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 2022** se celebra en **Penàguila** y **Alcoleja**. Este año se ha elegido un itinerario lineal entre estas dos pequeñas localidades de la montaña alicantina. A lo largo de dicho recorrido profesores, alumnos y profesionales de la Hidrogeología mostrarán, de forma sencilla y con carácter divulgativo, el papel que desempeñan las aguas subterráneas en este contexto geográfico, así como diversos aspectos relacionados con su valor patrimonial, ambiental, sociocultural y su contribución al desarrollo de la región.



Foto 1: Vista panorámica de Penàguila y la sierra de Castell que forma parte del acuífero de Penàguila.

CÓMO LLEGAR

El presente itinerario hidrogeológico transcurre entre las poblaciones de Penàguila y Alcoleja. Se trata de dos localidades, de 292 y 173 habitantes (datos del padrón año 2019), situadas en plena montaña alicantina concretamente al NW de la sierra de Aitana. El acceso al inicio del itinerario, en Penàguila, se puede realizar tomando la carretera CV-785, dirección Benifallín, que parte de la A-7 Alicante-Alcoi.

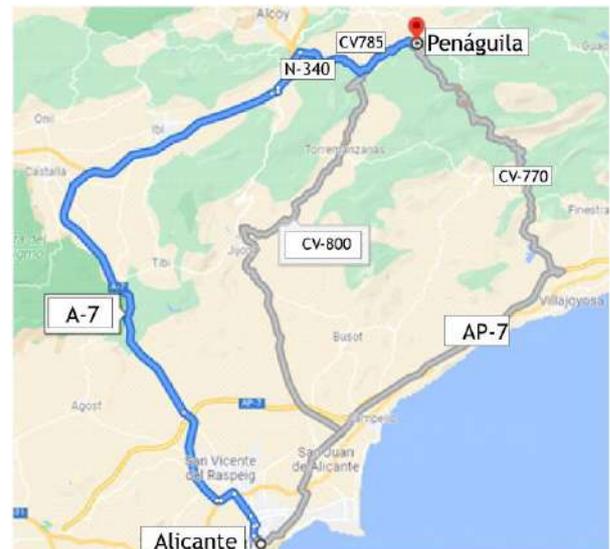


Figura 1: Mapa de acceso a la localidad de Penàguila donde se inicia el itinerario.



ITINERARIO POR PENÀGUILA

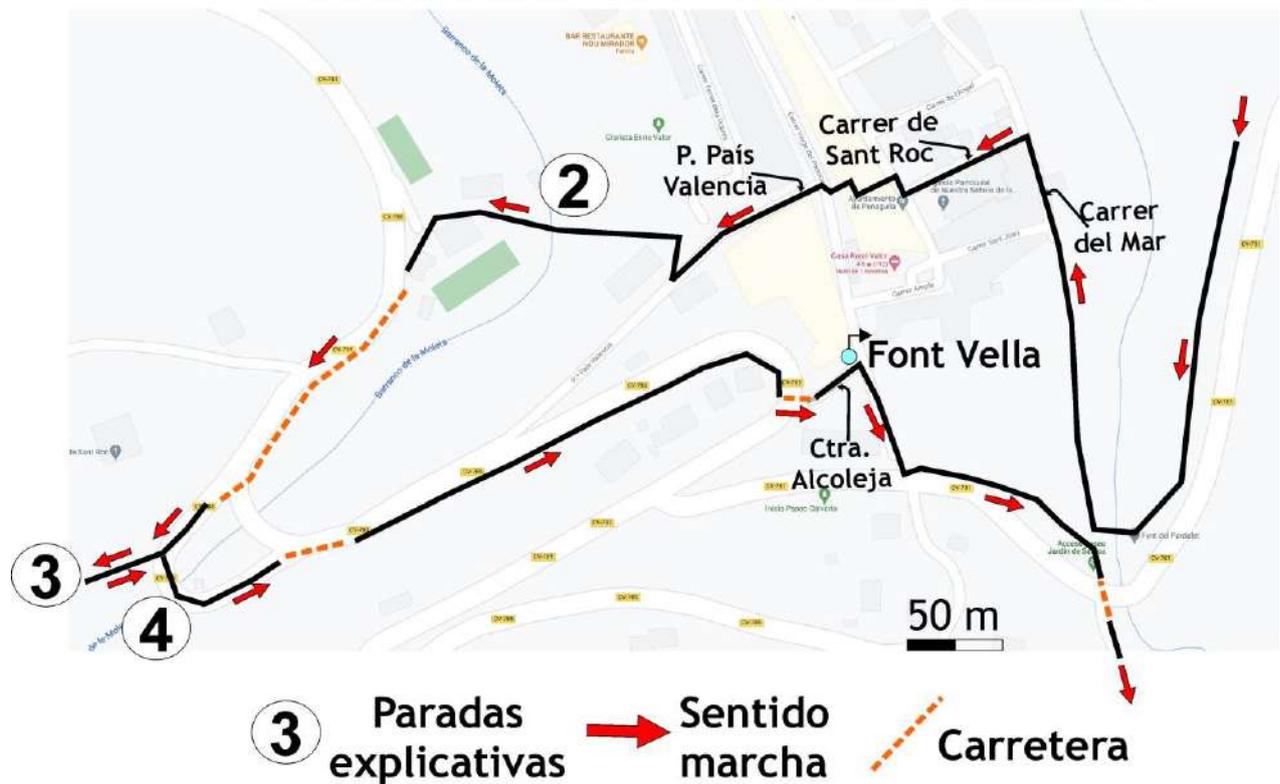


Figura 2: Arriba, situación del parking y las paradas del itinerario.
Abajo, itinerario por el interior de la población de Penàguila.

QUÉ VEREMOS

Los aspectos más relevantes de este itinerario son:

1. La caracterización geológica e hidrogeológica del entorno de la vertiente septentrional de la sierra de Aitana.
2. El acuífero Penàguila y su funcionamiento hidrogeológico.
3. La captación de aguas subterráneas y la regulación de los manantiales kársticos.
4. La importancia del agua subterránea en la gestión de los pequeños municipios del interior de la provincia de Alicante.
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, excluyendo los hielos polares. Se aprovechan para abastecimiento a la población, riego de cultivos, industria, usos recreativos y ambientales, etc.

ITINERARIO HIDROGEOLÓGICO

El presente itinerario discurre de manera lineal entre las localidades de Penàguila y Alcoleja. A lo largo del mismo se verán principalmente aspectos geológicos, hidrogeológicos y de gestión hídrica relacionados con pequeños municipios emplazados en la denominada “montaña alicantina”. En este caso se trata de municipios pertenecientes a las comarcas de L’Alcoía (Penàguila) y Comtat (Alcoleja).

El acuífero de Penàguila es uno de los acuíferos que integran el dominio o unidad hidrogeológica de la sierra de Aitana. Este dominio situado en la parte central de la provincia de Alicante integra al menos 40 acuíferos de diferente tamaño y distinta litología.



Figura 3: Localización geográfica del acuífero de Penàguila dentro del dominio hidrogeológico de la sierra de Aitana.

El acuífero de Penàguila, de naturaleza carbonatada, es un acuífero kárstico desarrollado principalmente sobre calizas pararecificales y calcarenitas terciarias (Eoceno-Oligoceno) y

desconectado de otras unidades acuíferas laterales por materiales margosos.

Los terrenos carbonatados del acuífero de Penàguila, que pueden sobrepasar los 200 m de espesor, descansan sobre margas verdes del Eoceno que actúan de base impermeable. Por su parte, a techo de los materiales acuíferos se dispone una serie de margas y margas arenosas de edad oligocena-miocena inferior que actúan de impermeable de techo en amplios sectores del acuífero. Estos terrenos margosos sirven, a su vez, de base de otros tramos de calizas arenosas oligocenas-miocenas, las cuales desarrollan también acuíferos. Por ello, dentro del perímetro del acuífero de Penàguila, pero dispuestos sobre él y sin conexión hidráulica directa, se han definido una serie acuíferos de pequeña extensión y escasos recursos (Codina, Mahoma, Olcina y Retor) (Figura 4), todos ellos están integrados igualmente dentro del dominio hidrogeológico de la sierra de Aitana.

La naturaleza permeable de las calizas pararecificales y calcarenitas eocenas-oligocenas permite que parte de la precipitación que reciben cuando se encuentran aflorantes, tanto líquida como en forma de nieve, se infiltre y circule subterráneamente por la roca. La principal entrada de este acuífero procede de la infiltración de la lluvia (en torno a 7 km²), cuyo valor medio ha sido cuantificado en 1,3 hm³/año.

Hasta la década de los años 90 del pasado siglo, el principal punto de descarga del acuífero de Penàguila se producía por su parte septentrional, y más concretamente por la Font Major de Penàguila. Actualmente el acuífero funciona en régimen influenciado, es decir, el agua que se infiltra y alcanza la zona saturada se extrae mediante sondeos.

años, la aproximación continuada entre estas dos placas tectónicas deformó intensamente las rocas que se habían depositado con anterioridad (desde el Triásico hasta el Neógeno) en el mar situado al sur de Iberia. Se formó un tren de pliegues con antiformes que habitualmente coinciden con sierras (Mariola, Serrella, Aitana, entre otras) y

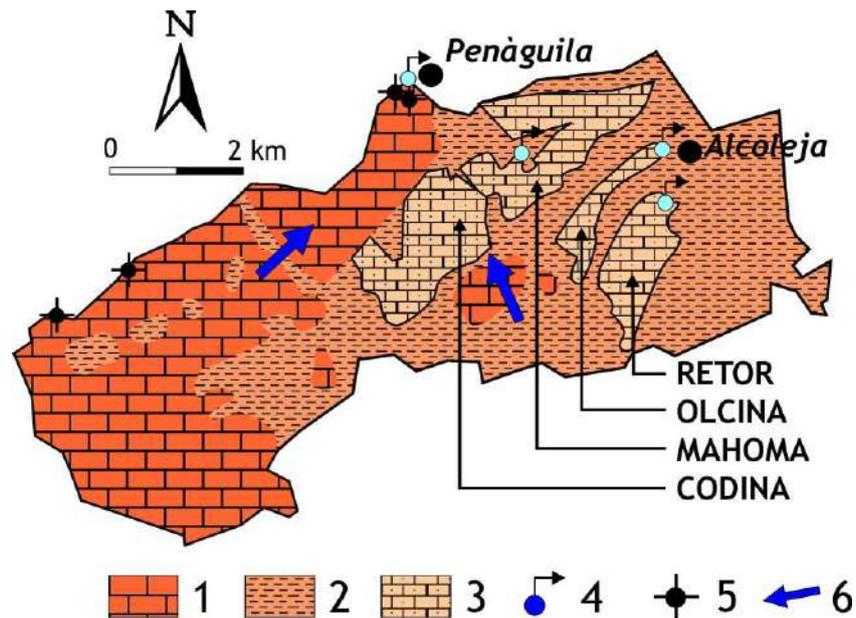


Figura 4: Esquema hidrogeológico simplificado del acuífero de Penàguila. Leyenda: 1. Calizas pararecífales y calcarenitas (Eoceno-Oligoceno). 2. Margas arenosas (Oligoceno-Mioceno Inferior). 3. Calizas arenosas (Oligoceno-Mioceno Inferior). 4. Manantiales. 5. Sondeos. 6. Flujo subterráneo.

Parada I. Penàguila: montañas y geología

El norte de la provincia de Alicante es un territorio muy montañoso. Uno de los rasgos topográficos más destacados de nuestra provincia es la alternancia de pequeñas sierras y valles alargados en su mayoría en la dirección casi Este-Oeste (la dirección media es N70E).

El origen de estas montañas alicantinas está relacionado con la colisión entre dos placas tectónicas, la Euroasiática y la pequeña placa de Alborán. En el Mioceno Inferior y Medio, hace entre aproximadamente 22 y 10 millones de

sinformes que suelen coincidir con zonas topográficamente más bajas, como la cuenca de Alcoi.

Algunos de estos pliegues se reconocen en el entorno de Penàguila. La carretera CV-785 que une Penàguila con el puerto de Tudons atraviesa uno de estos pliegues antiformes. En este caso particular los materiales que se observan en el pliegue son calizas del Eoceno-Oligoceno, margas y areniscas con algún nivel carbonatado de edad Oligoceno, y margas del Mioceno. Además, se formaron fallas que cortan y rompen estos pliegues

(Figura 5). De hecho, la localización de la Font Major está estrechamente relacionada con uno de estos pliegues y con varias fracturas que lo cortan.

Penàguila, e hidrogeológicamente en el contacto entre los materiales carbonatados y margas impermeables.

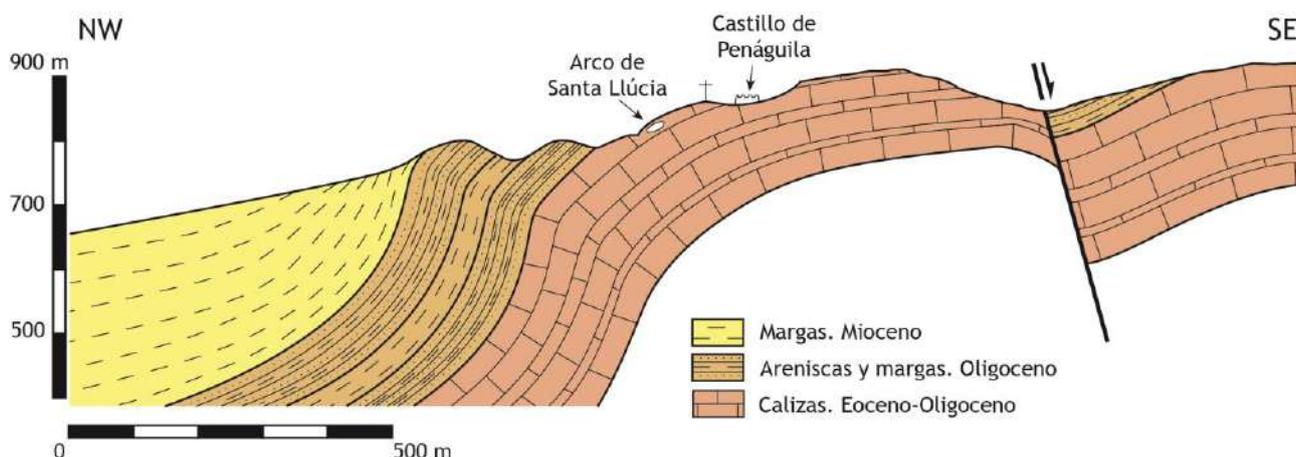


Figura 5: Corte geológico de la sierra del Castell en el que se observa el pliegue antiformal en el sector del arco de Santa Llúcia y el castillo de Penàguila.

Las calizas son rocas con una porosidad y permeabilidad original muy baja. Sin embargo, cuando se pliegan estas rocas se fracturan con facilidad provocando un aumento de su porosidad y permeabilidad, parámetros que aumentan todavía más por procesos de disolución (karstificación). En el núcleo del pliegue antiformal de Penàguila se encuentran las calizas de edad Eoceno-Oligoceno intensamente fracturadas y con evidencias de karstificación, que les permite almacenar y transmitir agua en cantidades significativas.

Parada 2. Font Major: el lavadero de Penàguila

La Font Major ha sido considerada el principal punto de descarga natural del acuífero (Foto 2), si bien actualmente suele encontrarse seca debido a la bajada del nivel piezométrico. Geográficamente está ubicada en el barranco de la Moleta en las inmediaciones de la localidad de

Este manantial puede considerarse como un típico manantial kárstico emplazado en ambiente mediterráneo. Aunque su caudal medio era de 30 L/s, frecuentemente experimentaba notables variaciones, pasando de caudales punta de más de 100 L/s a caudales muy exiguos en fase de agotamiento. Esta singularidad de su funcionamiento fue ya recogida por Cavanilles en el s XVII, quien en sus escritos hacía referencia a este manantial de la siguiente forma *"nace el agua por muchas bocas entre las peñas del barranco llamado de la Fuente, y probablemente proviene de un depósito o estanque oculto poco mas alto que los surtidores ó bocas, porque en años secos se ha observado disminución notable en la cantidad de las aguas que salían quedando otras como embalsadas sin poder salir. Por eso se hicieron algunas excavaciones, y se quitaron las peñas que servían de pretil natural; y así facilitando el desnivel pudieron correr las aguas libremente"*



Foto 2: Situación de la Font Major de Penàguila.

Las aguas del manantial de la Font Major de Penàguila son aguas de excelente calidad. Presentan conductividades eléctricas entre 350 y 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la que la mineralización se debe principalmente al bicarbonato y al calcio. Esta buena calidad ha hecho que históricamente se hayan utilizado tanto para riego como para abastecimiento.

Estas aguas se llevaron hasta la población alimentando la conocida fuente-lavadero de los Treinta Caños construida en 1857 (Foto 3), y hasta el Jardín de Santos, jardín neoclásico de 1841, en la que el agua tiene una vital importancia. Ambas infraestructuras que forman parte del patrimonio histórico e hidráulico de Penàguila, atestiguan la importancia que ha tenido y tiene el agua subterránea en los pequeños municipios de la montaña de Alicante.



Foto 3: Detalle de la fuente-lavadero de Penàguila. El agua de este lavadero provenía de la Font Major y actualmente del sondeo que la regula.

Parada 3. Sondeos junto al manantial

La perforación de uno o varios sondeos en las proximidades de los manantiales es una técnica frecuente empleada como herramienta de gestión de surgencias kársticas. Esta técnica ha sido utilizada en la Font Major de Penàguila. Con ello se garantiza la posibilidad de satisfacer la demanda cuando el manantial entra en fase de agotamiento y no aporta suficiente agua. Este tipo de actuaciones se conoce habitualmente como *regulación de manantiales kársticos*.

En el caso de la Font Major, tal y como apuntaba Cavanilles, el intento por mantener los caudales mínimos necesarios ha sido una constante desde antiguo. Así, en la misma surgencia existe un pozo de 46 m de profundidad, que se ha utilizado de punto de partida de las canalizaciones o acequias que llevaban el agua hacia la fuente-lavadero de la población y las zonas de riego.

Actualmente, aguas arriba y escasa distancia del manantial hay dos sondeos (el pozo Font Major y el sondeo La Rubia), los cuales fueron construidos con el propósito de regular el manantial. El pozo Font Major se perforó durante la sequía de 1984-85 y el sondeo de La Rubia en 1999. Cuando el manantial no aporta agua, como ocurre en la actualidad, son los sondeos quienes bombean el agua hacia las acequias y conducciones de abastecimiento y riego.

Ambos sondeos pertenecen al Sistema de Información Hidrológica que la Diputación Provincial de Alicante tiene para conocer el estado en el que se encuentran las aguas subterráneas en la provincia. Estos sondeos disponen de sondas piezométricas capaces de medir la profundidad de los niveles de agua en el acuífero.

La figura 6 muestra la evolución piezométrica en las últimas décadas. En ella se puede observar los periodos de tiempo en los que el manantial ha estado activo y en la que se encuentra seco.

Parada 4. El barranco de la Moleta: un ejemplo de morfología exokárstica

La naturaleza carbonatada de la sierra del Castell, su intensa fracturación y el clima de características semihúmedas favorecen la karstificación de las rocas. La *karstificación* es el proceso de disolución que experimentan las rocas carbonatadas y evaporíticas al estar en contacto con agua. La disolución de las rocas produce una serie de morfologías en la superficie del terreno (exokarst).

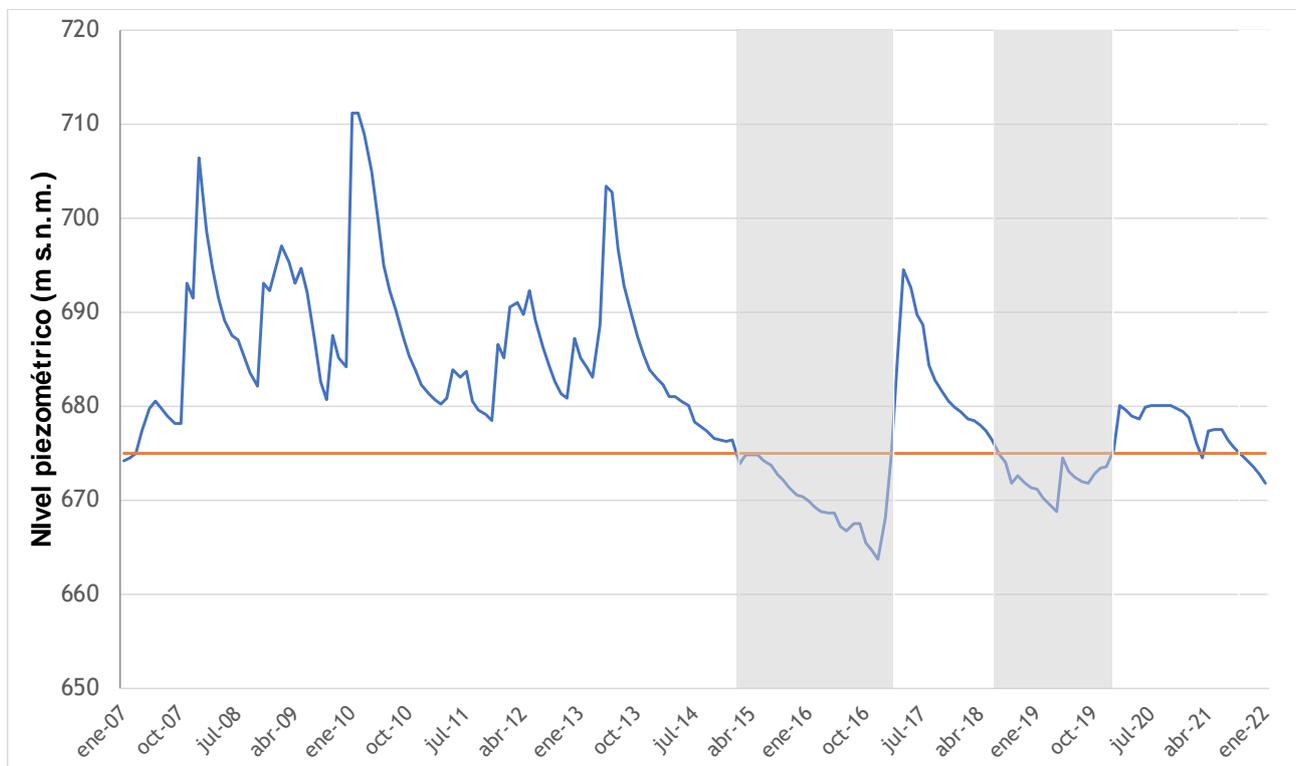


Figura 6: Evolución piezométrica del acuífero de Penàguila. La línea roja corresponde a la cota topográfica del manantial de Font Major. Las zonas sombreadas corresponden a los periodos de tiempo en el que el manantial se encuentra seco.

El barranco de la Moleta constituye un pequeño ejemplo de morfología de valle encajado con paredes verticales característico de este tipo de litologías carbonatadas.

Cuando se producen precipitaciones, la circulación de la escorrentía superficial por este barranco ejerce un efecto de incisión progresivo en su base hasta formar este angosto valle.

En la parte superior del barranco se pueden observar también otras morfologías superficiales asociadas a este tipo de litologías como son los abrigos y un arco natural. La alternancia de capas más y menos resistentes favorece que se formen entrantes (abrigos) (Foto 4).

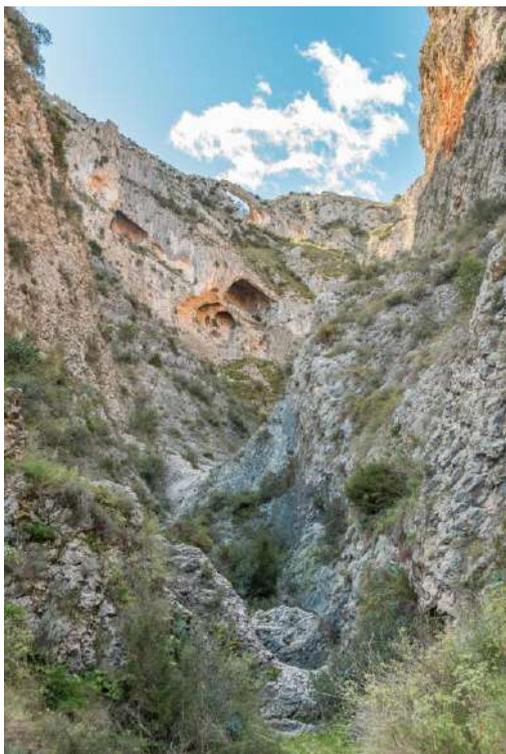


Foto 4: Barranco de la Moleta. Se aprecia su fuerte encajonamiento. Además, en la parte superior de la fotografía se observa el arco de Santa Llúcia y, debajo del mismo, varios abrigos en las capas menos resistentes.

El agua impregna las rocas y las altera o meteoriza. Pero esta alteración es mucho más acentuada en las capas de menor resistencia (por ejemplo, en las rocas más porosas). Estas oquedades se inician en un pequeño entrante en una pared más o menos verticalizada. En estos huecos se acumula la humedad, lo que favorece que la alteración de la roca sea más intensa. Estas oquedades crecen progresivamente en tamaño y se hacen cada vez más profundas. Suelen tener una morfología circular, pero cuando alcanzan las capas más resistentes (tanto las superiores como inferiores) progresan lateralmente adquiriendo morfologías alargadas (Foto 4). En ocasiones, este proceso se ve acelerado por procesos de disolución, debido a su composición carbonatada.

A veces, la configuración del relieve forma paredes, muros o estrechos salientes rocosos, de manera que los abrigos progresan desde los dos lados. Si llegan a conectar forman arcos naturales de gran espectacularidad paisajística como el arco de Santa Llúcia en Penàguila (Figura 7). Cuando se forma un arco, el peso de la roca superior se reparte de forma que crea esfuerzos locales que aumentan la resistencia de la roca, permitiendo que estos arcos perduren durante mucho tiempo. El proceso de meteorización se ralentiza pero no se detiene, hasta que finalmente se produce el colapso de la estructura.

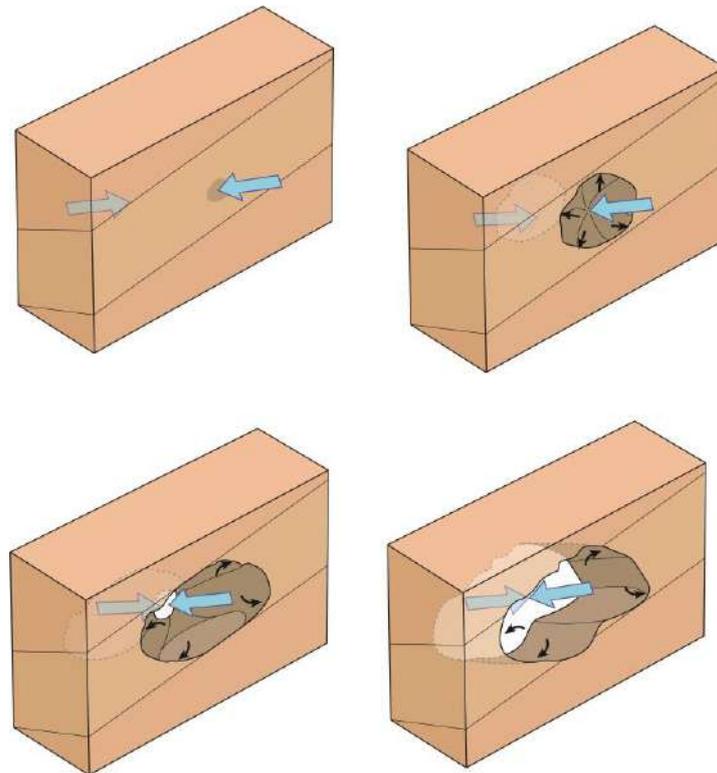


Figura 7: Esquema evolutivo de la generación inicial de un abrigo (parte superior) y de un arco en el caso de que el estrato o banco rocoso sea suficientemente delgado (parte inferior).

Parada 5. El Pont de l'Arca

El Pont de l'Arca forma parte del patrimonio hidráulico de Penàguila. A mediados del s. XIX Joaquín Rico y Soler acometió la construcción de un acueducto de 1750 m de longitud que conducía las aguas de la Font de la Vila hasta Penàguila (las aguas llegaban a la Font Vella situada en el mismo casco de la población) (Figura 8) y el jardín de Santos; ya en los años ochenta del s. XX,

los herederos de Joaquín Rico y Soler cedieron la propiedad al ayuntamiento de Penàguila. Este acueducto, con diferentes reformas a lo largo del tiempo estuvo funcionando hasta hace unas décadas. Actualmente, esta infraestructura hidráulica ha quedado en desuso y permanece como uno de los atractivos patrimoniales y turísticos de la localidad. La Font Vella, ahora es alimentada por el agua de uso urbano que procede del acuífero de Penàguila.

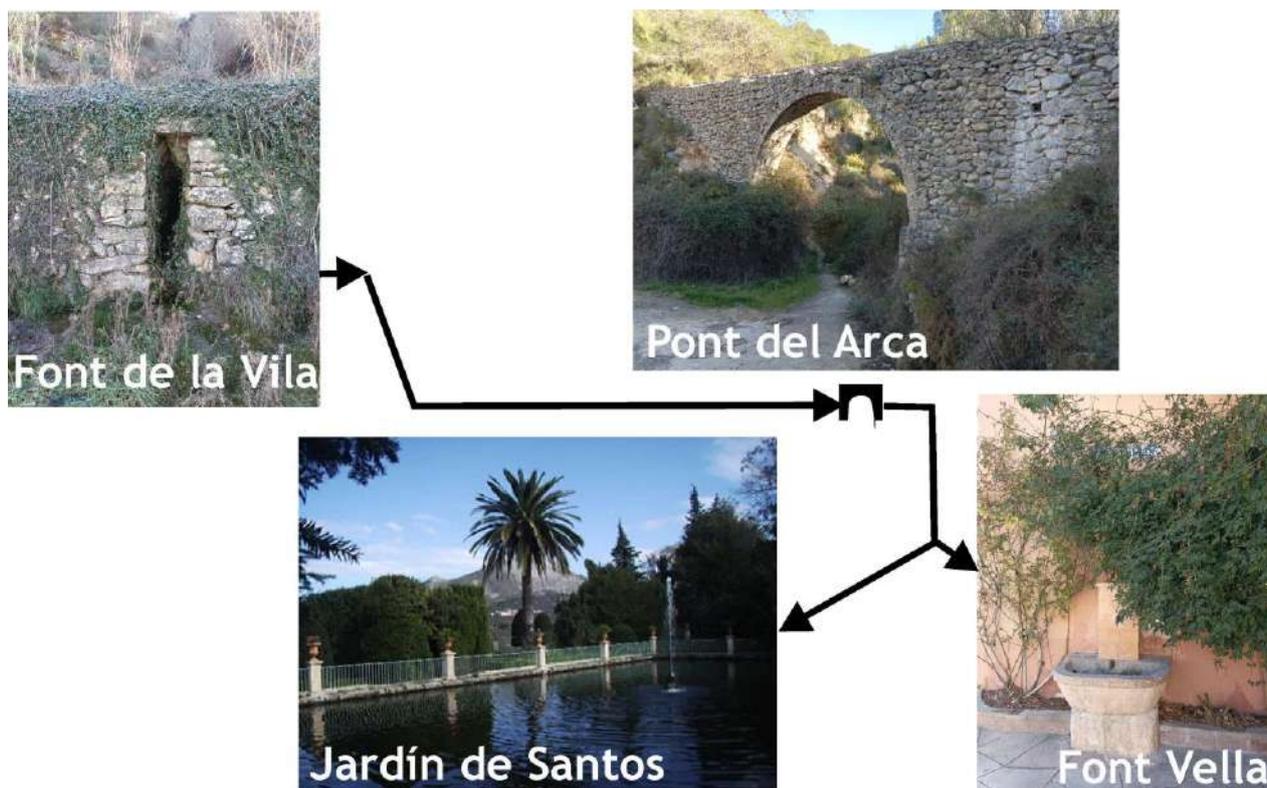


Figura 8: Recorrido del agua de la Font de la Vila hasta Penàguila.

La Font de la Vila es una surgencia natural situada en la vertiente septentrional del Alt de Mahoma. Su emplazamiento está en el término municipal de Alcoleja, aunque sus aguas se aprovecharon en Penàguila desde época árabe. Su descarga se relaciona con el pequeño acuífero de Mahoma. Debido su situación hidrogeológica y a los escasos recursos del acuífero que drena, muestra una descarga modesta y variable, con caudales de agotamiento exigüos. Desde que se abandonó el acueducto del Pont de l'Arca sus aguas han dejado de aprovecharse, y discurren por el barranco hasta alcanzar el río Penàguila. En cuanto a la calidad química, este manantial ofrece aguas de baja mineralización con valores de conductividad eléctrica inferiores a 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Parada 6. Los acuíferos del N de la provincia de Alicante

Desde este punto del itinerario es posible observar una panorámica de algunos relieves montañosos del N de la provincia de Alicante (Foto 5). Estos relieves están constituidos mayoritariamente por terrenos carbonatados que se elevan de las zonas bajas que les rodean en las que predominan los terrenos blandos margosos. Desde el punto de vista hidrogeológico estos grandes relieves constituyen algunos de los acuíferos o unidades hidrogeológicas más grandes de la provincia. En ellos se almacenan importantes volúmenes de agua subterránea.



Foto 5: Vista panorámica en la que observan algunos de los relieves que forman parte algunos de los dominios hidrogeológicos más importantes de la parte septentrional de la provincia de Alicante.

En primer término observamos el **relieve de la Serrella**. Su vertiente meridional constituye un acuífero de calizas del Cretácico (Serrella-Aixortá) que con una morfología de banda estrecha y dirección E-W se extiende entre Benasau y Callosa d'Ensarrià. Presenta unos recursos superiores a 5 hm³/año. Debido a la buena calidad de sus aguas, estas se destinan al abastecimiento urbano de la localidad de Callosa d'Ensarrià y al regadío de campos de frutales, en la que se puede destacar los cultivos de níspero. Por su parte, la vertiente septentrional de Serrella forma parte del acuífero Carrascal-Ferrer cuyas aguas son drenadas por los manantiales del Algar.

Otro de los relieves que se aprecian en la fotografía es la **sierra de Almudaina**, la cual forma parte del acuífero Almudaina-Segaria. Se trata de uno de los acuíferos más extensos de la provincia de Alicante con una superficie de más de 190 km². Este acuífero está formado por una potente serie de materiales calizos y dolomíticos de edad cretácica, que se prolongan desde la población de Gorga hasta El Vergel. Se estima que tiene unos recursos medios de 43 hm³/año, de las que se utilizan algo más de 13 hm³/año, siendo el resto aportaciones que

alimentan cursos fluviales o zonas húmedas.

Por último, es posible visualizar el imponente relieve de la **sierra de Mariola**, el cual está relacionado con diversos acuíferos entre los que se pueden destacar los de Cocentaina, Pinar de Camús o Agres. Este relieve, en el que se alternan formaciones carbonatadas con otras más margosas, es rico en agua subterránea. A lo largo del mismo abundan los manantiales y surgencias frescas y de buena calidad. Entre ellas, se puede destacar el manantial de la Coveta (ubicado en la provincia de Valencia), considerada como el nacimiento del río Vinalopó.

Parada 7. Margas del Tap

Formalmente las margas son rocas compuestas por arcillas y carbonato cálcico (35-65%). El contenido de carbonato dependerá del contexto geológico-climático en el que se formaron, por lo que la proporción de carbonato puede ir incrementándose, y existiendo una gradación entre marga y caliza. Muchas veces se utilizan las denominaciones de margocaliza y caliza margosa para indicar ese incremento de carbonato cálcico.

Desde el punto de vista hidrogeológico muestran un comportamiento muy poco permeable, por lo que suelen actuar como barreras hidráulicas. Al igual que otras rocas de escasa permeabilidad como las arcillas, las formaciones margosas suelen definir los límites de los acuíferos.



Foto 6: Detalle del aspecto en afloramiento de las margas del Tap.

Las margas se generan en ambientes acuosos, tanto marinos como continentales, pero suelen ser más frecuentes las de origen marino dada la gran extensión de las cuencas marinas en nuestro planeta. Ello ha propiciado que en el registro estratigráfico existan numerosas formaciones margosas a lo largo de la historia de la Tierra. En nuestra provincia es frecuente reconocer distintas formaciones margosas en el paisaje como las margas de tonos ocres o verdes cretácicas y las margas blancas y de tonalidades beige o grises terciarias, entre otras, que algunas veces forman paisajes de badlands. Entre estas últimas destacan dos formaciones de margas muy bien representadas en la parte septentrional de la provincia que son las denominadas margas del Tap (Foto 6).

Se denominan margas del Tap o margas en facies Tap a los sedimentos pelágicos

marinos depositados durante el Mioceno Medio y Superior (15 - 7 m.a) en una serie de cuencas del extremo nororiental de la Zona Prebética de la Cordillera Bética. Estas margas presentan coloraciones grises, aunque en superficie muestran una tonalidad blanca. La denominación Tap es un término local empleado en las provincias de Alicante y Valencia que indica el carácter impermeable de estos terrenos (todo apunta que "tap" es el término utilizado en valenciano de tapón). En el registro estratigráfico mioceno hay dos formaciones con estas características por lo que se habla de Tap inferior para las margas correspondientes al Langhiense (15 m.a) y Tap superior a las margas de edad Serravallente-Tortonense (13-7 m.a.).

Parada 8. El río Frainós

El río Frainós nace en las estribaciones septentrionales de la sierra de Aitana y tras algo más de 10 km de recorrido confluye con el barranco de Ares. A partir de aquí se le conoce también como río Penàguila, afluente del río Serpis. Antes de dicha confluencia, el río Frainós discurre en gran medida sobre materiales margosos. Durante el tramo por el término municipal de Alcoleja constituye un curso permanente de agua que va aumentando progresivamente su caudal a medida que reciben las aguas de diferentes manantiales (Foto 7). Entre las principales surgencias que históricamente han alimentado este río se puede destacar como más importantes los manantiales Ull de la Font y Riola-Remeu, los cuales descargan los acuíferos del mismo nombre, de naturaleza caliza y edad Eoceno, situadas en la vertiente septentrional de Aitana.

Actualmente, no toda su descarga llega al río, ya que han sido captadas para destinar sus aguas para regadío y abastecimiento urbano. Además de estos manantiales, en el entorno de Alcoleja existen otras surgencias de escaso caudal, como la Font de Cabrera, que drenan pequeños tramos de roca más arenosa o calcárea que se intercalan dentro de la formación de margas del Oligoceno-Mioceno Inferior.



Foto 7: El río Frainós a su paso por las inmediaciones de la localidad de Alcoleja.

Tabla 1: Algunos manantiales que alimentan al río Frainós. Q: caudal (L/s); CE: conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

| Manantial | Acuífero | Q | CE |
|----------------|----------------|-----|-------|
| Ull de la Font | Ull de la Font | 15 | < 310 |
| Riola-Remeu | Riola | 1,2 | < 280 |
| Espinar | Espinar | 0,8 | <300 |
| Arbre | Arbre | 0,3 | < 470 |
| Viñeta | Riola | | < 400 |
| Collaet | | | |

La calidad del agua del río Frainós en el curso alto es buena, con aguas de mineralización inferior a $450 \mu\text{S}/\text{cm}$, y características que responden principalmente a la procedencia de subterráneas relacionada con diversos acuíferos carbonatados (Figura 9) emplazados en la vertiente septentrional de la sierra de Aitana.

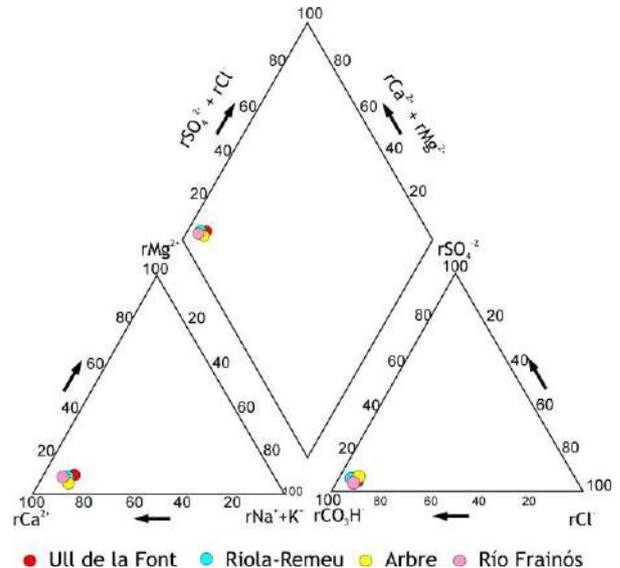


Figura 9: Diagrama de Piper en el que se representan las aguas del río Frainós y de algunos manantiales cuyas aguas alcanzan el río.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las instituciones y entidades que han apoyado y/o patrocinado Hidrogeodía 2022: Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (Universidad de Alicante, UA), Área de Ciclo Hídrico de la Diputación Provincial de Alicante (DPA), Dpto. de Agroquímica y Medio Ambiente (Universidad Miguel Hernández, UMH), Vicerrectorado de Cultura, Deportes y Lenguas (UA), Facultad de Ciencias (UA), Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales (UA), Cátedra del Agua (UA-DPA) Servicio de Comunicación (UMH), Proyecto WaVE Interreg Europe, Ajuntament de Penàguila y Ajuntament de Alcoleja.



CAMPUSHABITAT5U



LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA ALICANTE 2022

Coordinación:

José Miguel Andreu Rodes (UA)
Ernesto García Sánchez (UMH)
Miguel Fernández Mejuto (DPA/UA)

Monitores/colaboradores:

Pedro Alfaro García (UA)
Victoria Arcenegui Baldó (UMH)
María Candela Ruiz (UA)
María Alejandra Feinstein Feinstein (UA)
Héctor Fernández Rodríguez (DPA)
Juan Antonio Hernández Bravo (DPA)
Pau Llorca Llinares (UA)
Iván Medina Cascales (UA)
Constantino Molina Motos (DPA)
José Navarro Pedreño (UMH)
Jesús Núñez Sellés (UA)
Rebeca Palencia Rocamora (DPA)
Fernando Pérez Calvo (DPA)
Conchi Pla Bru (UA)
Julio Ramón Pascual (IES Carrús)
Andrea Recio Pérez (UA)
Juanjo Rodes Martínez (DPA)
Iván Rojas Martín (UA)
Sergio Rosa Cintas (UA)
Víctor Sala Sala (UA)
Francisco Sansano López (IES Mutxamell)
Eva Santamaría Pérez (UA)
Javier Valdés Abellán (UA)
Alicia Vela Mayorga (IES Cabo de las Huertas)

PARA SABER MÁS

Alfaro, P., Delgado, E., Estévez, A., Marco, J.A. y Tomás, R. (2004). *Sierra de Aitana*. En: Geología de Alicante (Ed.: P. Alfaro, J.M. Andreu, A. Estévez, J.E. Tent-Manclús y A. Yébenes): 201-224. Alfaro P. y otros (2009). *Geología* Alicante 2009. Sierra Aitana, 20 p.

Almela, A., Quintero, I. Gómez, E. y Mansilla, H. (1972) *Mapa Geológico de España*. Hoja de Alcoy (821) Plan MAGNA E: 1:50000 IGME.

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

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

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

IGME-DPA (2009). *El agua en Alicante: acuíferos de la sierra de Aitana y su entorno*. Serv. Publ. Diputación de Alicante, 125 p.

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

Marquiegui Soloaga, A. (2013). El patrimonio hidráulico de la provincia de Alicante. Catálogo ilustrado de mil quinientas obras y actuaciones. Tomo I. Ed. Diputación Provincial de Alicante, 457-466 p.

NOTAS



HIDROGEODÍA

2022 ANDORRA

M. Chevalier

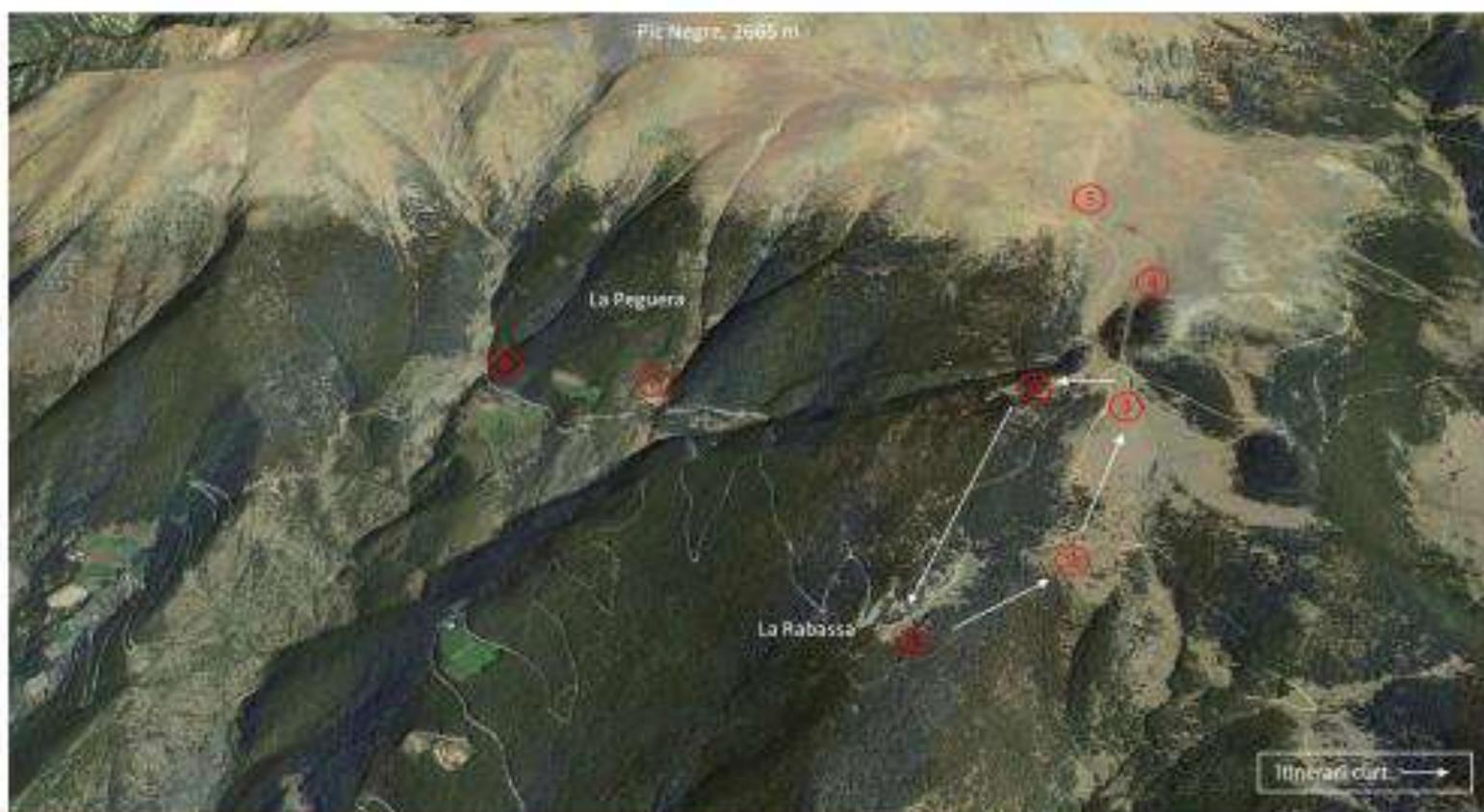
www.fundacionmarcelchevalier.org



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Dissabte, 26 de març de 2022

FONTS I CAPTACIONS D'AIGUA A LA ZONA DE LA RABASSA



Recorregut amb les següents parades:

- 1) La Rabassa
- 2) Font dels Traginers
- 3) Rec de Caborreu
- 4) Captació i font
- 5) Búnquer de les Pedres
- 6) Roca de Pimes
- 7) Riu de les Castelletes
- 8) Riu de la Peguera

EXCURSIÓ GRATUITA I GUIADA

Punt de trobada: Plaça Lauredia (Sant Julià L.)

Hora de trobada: 9:45 h

Hora de tornada: 14:30 h (Bus Comunal)

Hora de tornada: 18.00 h (recorregut llarg)

Portar equipament de neu i lloguer de raquetes de neu a La Rabassa

Per més informació:

<http://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022>

www.fundacionmarcelchevalier.org/activitats



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022

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

¡PARTICIPA!



L'HIDROGEODIA

L'Hidrogeodia és una jornada de divulgació de la Hidrogeologia (branca de la geologia que estudia les aigües subterrànies, tenint en compte les seves propietats físiques, químiques i les seves interaccions amb el medi físic, biològic i l'acció de l'home), que se celebra amb motiu del Dia Mundial de l'Aigua (22 de març).

La jornada consta d'activitats de divulgació, obertes al públic en general, gratuïtes i guiades per especialistes en hidrogeologia i altres especialitats.

L'excursió que organitza la **Fundació Marcel Chevalier (FMC)** com a activitat del dia Mundial de l'Aigua (aquest any dedicat a les Aigües Subterrànies) dins del marc de l'Hidrogeodia que el grup Espanyol de l'Associació Internacional d'Hidrogeòlegs està coordinant en l'àmbit de tot l'estat, porta per títol **FONTS I CAPTACIONS D'AIGUA A LA ZONA DE LA RABASSA (ANDORRA)**.

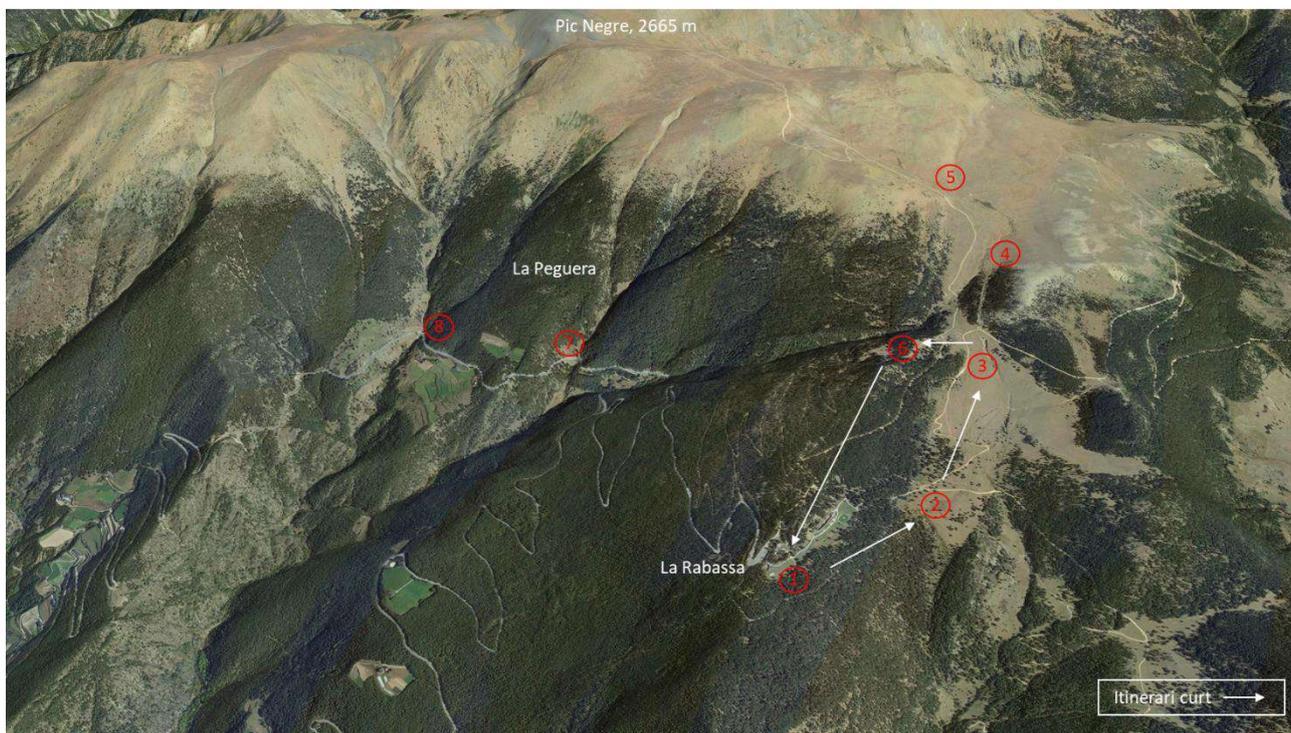


Figura 1. Itinerari de l'excursió : A partir de l'Estació d'Esquí de La Rabassa es realitzarà a peu; a) entre les parades 1 i 6 i tornada a la parada 1 (per al recorregut llarg); i b) entre les parades 1 i 3, de la 3 a la 6 i tornada a la parada 1 (recorregut curt).

INTRODUCCIÓ

L'objectiu principal de la ruta és el d'explicar el funcionament hidrogeològic d'aquesta zona culminant de la zona axial pirinenca caracteritzada per les àmplies paleo-superfícies d'erosió retocades per processos glacials i periglacials, les modificacions antròpiques realitzades a la capçalera i el seu impacte per assegurar l'abastament d'aigua als pobles de la vall i també els efectes de grans pluges en conques torrencials de muntanya. S'explicarà també el marc geològic, geomorfològic i hidrogeològic en què se situa la zona sud del Principat d'Andorra.

PARADA 1. Esdeveniment tempestuós de 1 d'agost 2009

Des de l'aparcament de l'estació d'esquí de fons de La Rabassa veiem els vessants de Claror, una extensa zona de prop de 3 Ha a més de 2000 m d'alçada format per un potent regolit, és l'àrea de recepció i infiltració dels aqüífers que nodreixen els torrents i fonts locals (riu de Caborreu, la Peguera, Font de Traginers, Basses Rojes, riu de Bescaran, riu Runer), però també molt vulnerable pel que fa a l'erosió:

Les pluges que varen caure el dia 1 d'agost del 2009 en la zona de Sant Julià de Lòria i la frontera hispanoandorrana varen ser excepcionalment importants. La pluja total acumulada en 24h (tipologia de dades meteorològiques amb suficient registre de significat estadístic) és d'un període de recurrència inferior a 10 anys, però la intensitat de pluja caiguda s'estima que correspon a la d'una pluja de 24h amb un període de retorn superior a 100 anys. En aquest sentit hi ha constància d'altres fenòmens tempestuosos documentats amb conseqüències similars en un període recent de 30 anys des del darrer recompte fet públic al 2008: de 28 casos tempestuosos 15 corresponen a tempestes típicament estiuenques (53 %), concretament 11 casos entre juliol i agost a tot el País (73%). Així doncs es produeixen pràcticament dues inundacions cada tres anys per tempestes estiuenques (15 casos en 30 anys) al País, dels quals casi 3/4 parts entre juliol i agost essent la Parròquia de Sant Julià de Lòria objecte d'inundació una única vegada entre aquests mesos d'estiu en 30 anys, curiosament un 2 d'agost de 1998. Si hom se centra en el període estiuenca on es poden produir aquests fenòmens tempestuosos (entre juny i setembre) hi ha constància que la duana hispano-andorrana fou objecte d'inundació el 9 de juny 1979.

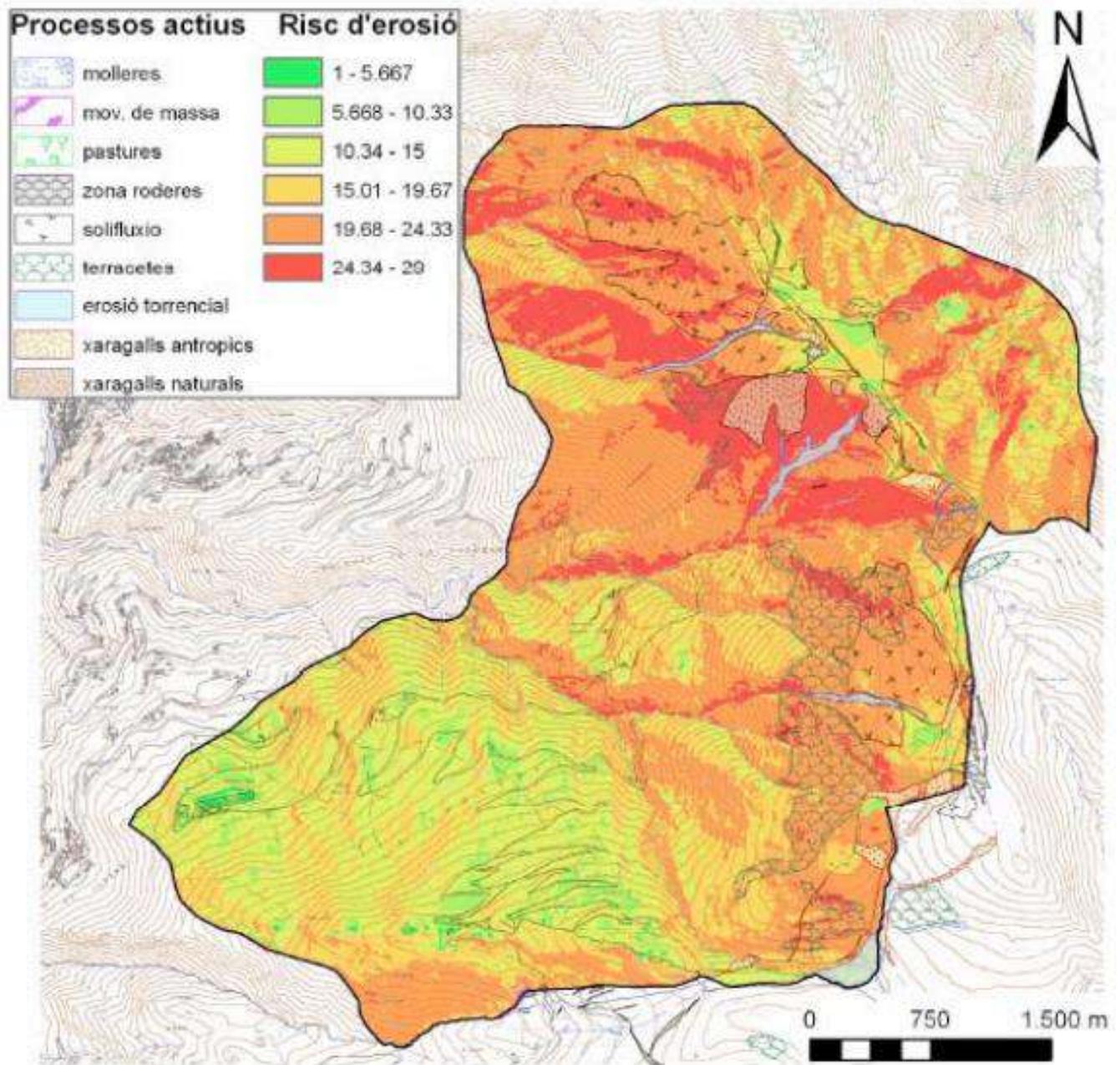


Figura 2. Mapa de comprovació (processos actius més ric d'erosió).

Les pluges que varen caure el dia 21 de juliol de 2015 en la zona de Sant Julià de Lòria eren de fins a 71 litres per metre quadrat en una hora, una quantitat d'aigua molt important en tan poc temps, va provocar que cap a les quatre de la tarda el desbordament dels rius locals, però també l'afectació de la captació de la Peguera i d'Escaldes-Engordany. De fet, aquesta crescuda va causar arrossegalls que van arribar a acumular fins a 8.000 metres cúbics de sediments. Ahir la prioritat va ser recuperar l'abastament normal d'aigua a Aixirivall, la Costa de Nagol i Escaldes-Engordany, a més a més la circulació a la carretera amb accés a Naturlàndia per la Peguera va quedar tancat durant un període de dues setmanes. L'epicentre de la tempesta va ser al camp de Claror amb afectació als dos vessants, el de Sant Julià de Lòria i cap a Escaldes-Engordany.



Figura 3. Foto de la Font de Traginers



Figura 4. Fotografia diari BonDia 22/07/2015

PARADA 2. Aqüífer de Conangle i Font dels Traginers

La Font de Traginers pertany a l'aqüífer superior de Conangle, aqüífer que es divideix en dos tal com es mostra a la següent interpretació.

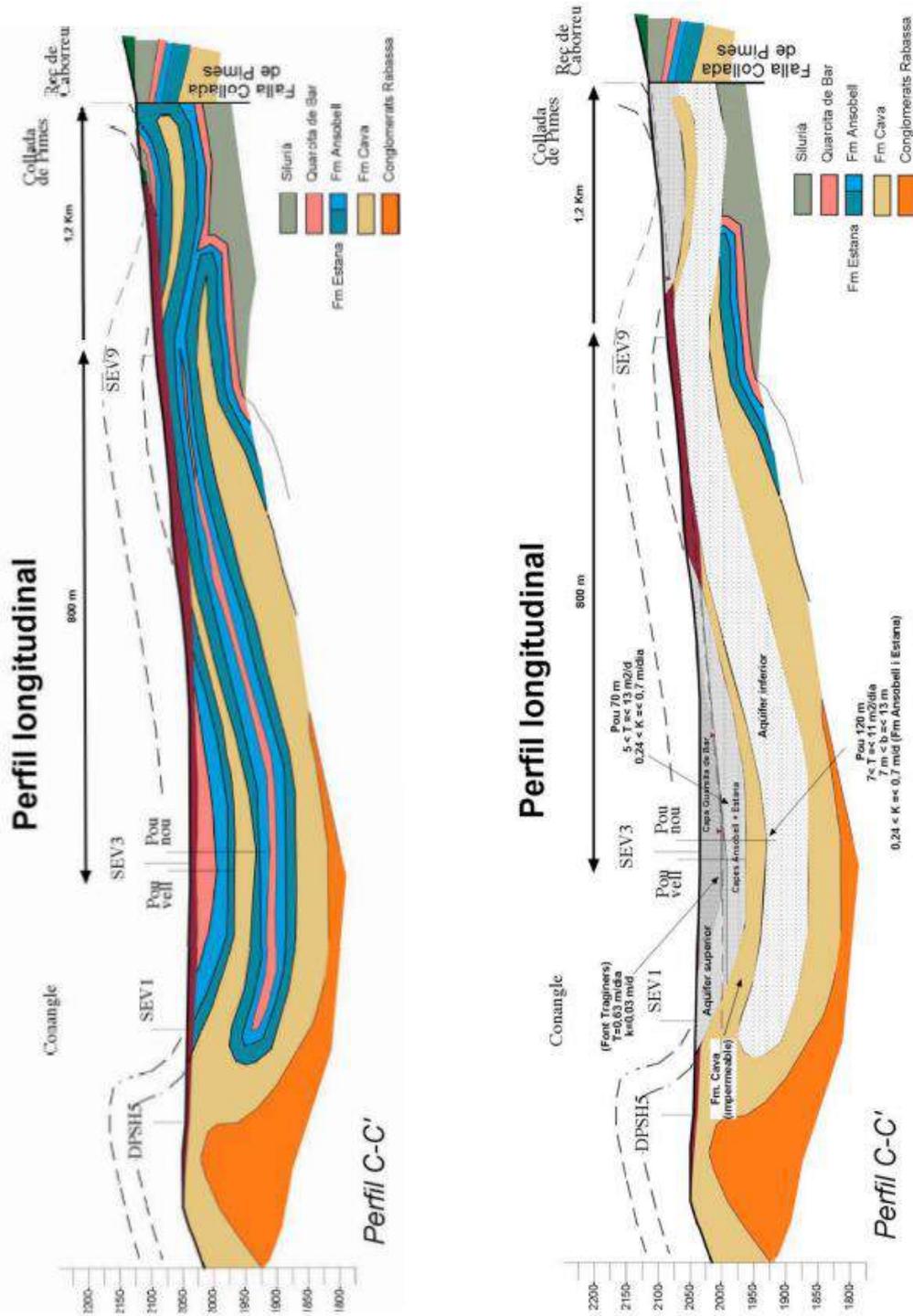


Figura 5. Model conceptual hidrogeològic on es poden distingir els dos aqüífers

PARADA 3-4-5. Aqüífer de Caborreu

L'aqüífer de Caborreu està associat a la infiltració directa de la pluja efectiva als planells somitals de Camp Ramonet. És aquí on també es recarreguen les formacions susceptibles de ser aqüíferes com és el cas de la Fm. Estana i la Quarsita de Bar.

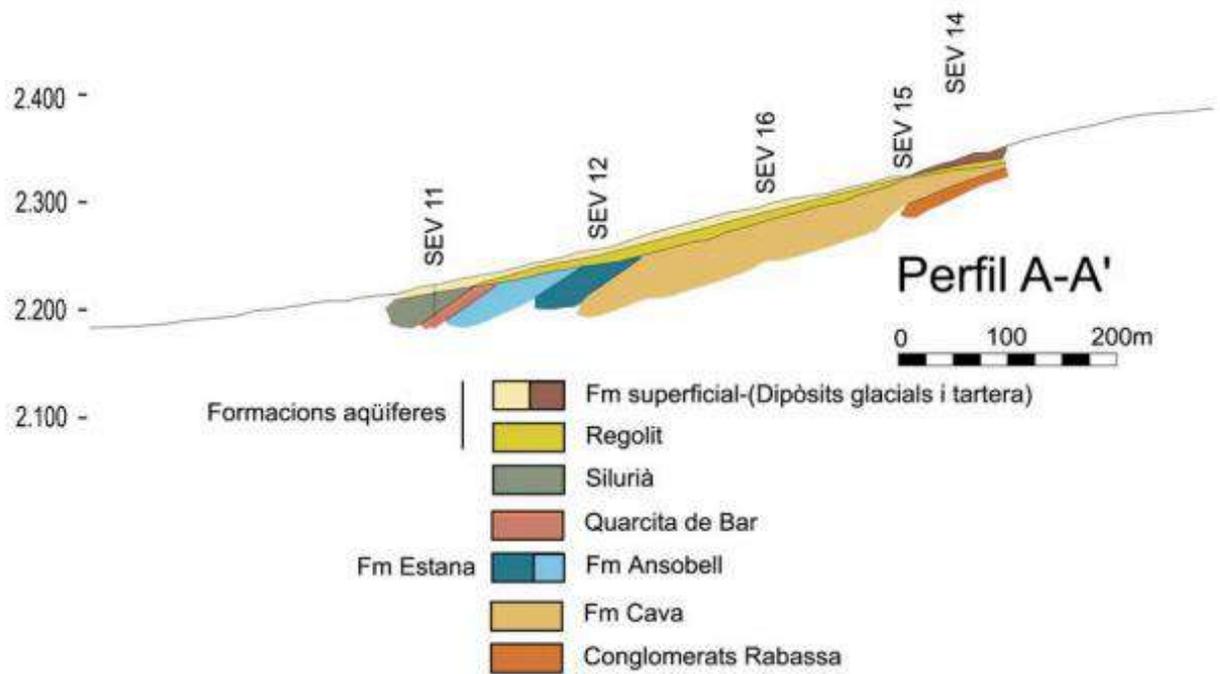


Figura 6. Distribució dels materials de l'ordovicià superior al sector de Conangle

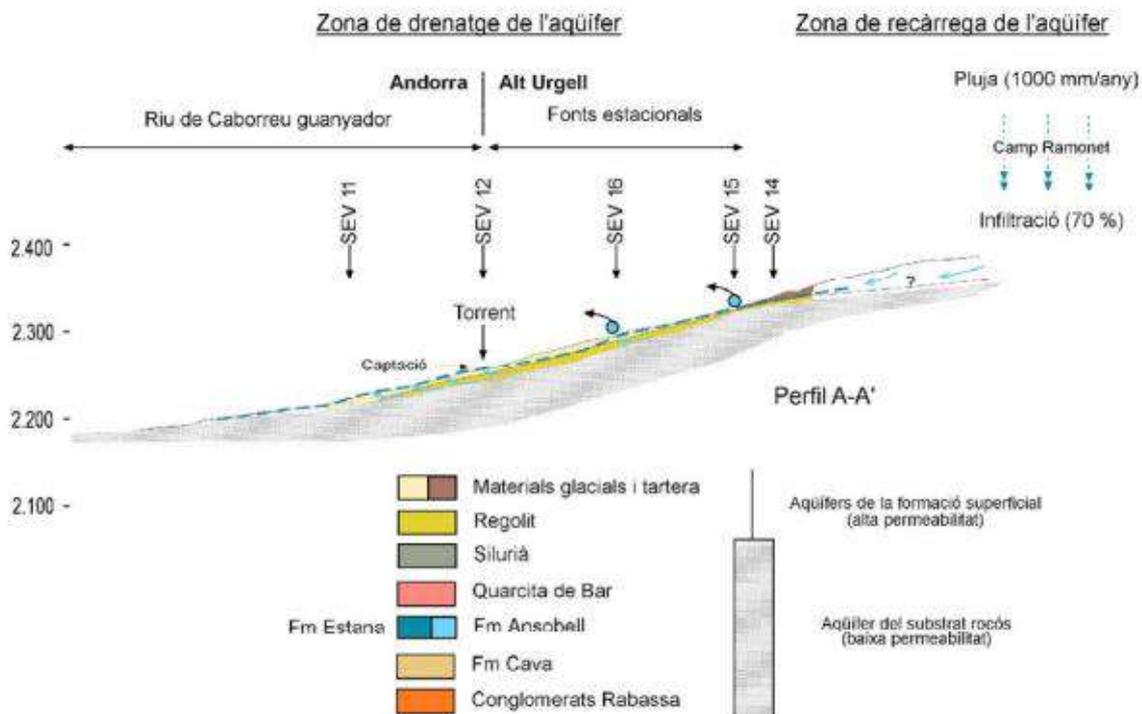


Figura 7. Distribució de l'aquífer lliure de Conangle amb un flux hidro hipodèrmic

PARADA 6-7-8. Collada de roca de Pimes

En aquest sector (punt 5) encara es pot veure un búnquer de la Línia P (Pirineus) contra les accions del maquis posteriors a la Segona Guerra Mundial. Fonts del torrent de Caboreu. Introducció a l'aquífer de Camp Ramonet.

La Roca de Pimes constitueix un punt de separació entre l'aquífer hipodèrmic de Caboreu alimentat per la infiltració dels planells de Camp Ramonet, i els aquífers del pla de Conangle que estan alimentats per la infiltració existent a la collada de Pimes.



PARA SABER MÁS....

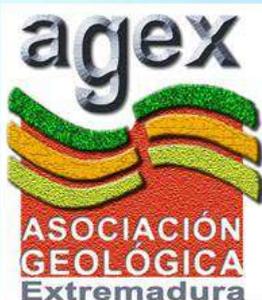
<http://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022>

www.fundaciomarcelchevalier.org/activitats

M. Chevalier

www.fundaciomarcelchevalier.org

NOTAS



HIDROGEODÍA

2022 BADAJOZ



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

Sábado, 26 de marzo 2022

VISITA A LA CAPTACIÓN E INSTALACIONES DE AGUAS “LOS RISCOS” (ALBURQUERQUE)

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA. PLAZAS LIMITADAS.

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA EN 649113115 (WHATSAPP).

FECHA Y HORA. SÁBADO, 26/03/2022, DE 10.00 A 13.00 A.M.

PUNTO DE ENCUENTRO. EMBOTELLADORA LOS RISCOS (VER QR)

Más información en: www.agex.org
y <http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2022/>



COLABORAN:



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

Autores: Francisco Fernández de la Llave. Geólogo
Francisco Javier Fernández Amo. Geólogo
Eduardo Rebollada Casado. Geólogo

EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por hidrogeólogos/as.

INTRODUCCIÓN

EL AGUA MINERAL NATURAL

Según el **Real Decreto 1798/2010**, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano, se define como **Aguas minerales naturales**: aquellas microbiológicamente sanas que tengan su origen en un estrato o yacimiento subterráneo y que broten de un manantial o puedan ser captadas

mediante sondeo, pozo, zanja o galería, o bien, la combinación de cualquiera de ellos. Éstas pueden distinguirse claramente de las restantes aguas de bebida ordinarias por su naturaleza, caracterizada por su contenido en minerales, oligoelementos y otros componentes y, en ocasiones, por determinados efectos, por su constancia química y por su pureza original.



Figura 1. El Agua Mineral Natural como recurso geológico

Características estas que se han mantenido intactas, dado el origen subterráneo del agua que la ha protegido de forma natural de todo riesgo de contaminación.

Para la utilización de esta denominación, las aguas deberán cumplir las características establecidas

en la parte A del anexo I, del citado Real Decreto y los requisitos de declaración y autorización fijados en el artículo 3 para este tipo de aguas, así como las condiciones de explotación y comercialización establecidas en el capítulo II de esta disposición.

AGUA DE LOS RISCOS

Los Riscos de la Higüela es una planta embotelladora de agua gestionada por la empresa Manantiales de Extremadura, S.A. El nombre hace referencia al paraje donde se localiza la explotación: *Riscos de Higüela*, situado

en el término municipal de Alburquerque (Badajoz), muy cerca de la frontera con Portugal. A las instalaciones se accede tomando el camino, que se dirige hacia el oeste, en el P.K. 41 de la ctra. EX-110 (figura 2).



Figura 2. Mapa de situación de Agua de los Riscos

El agua está catalogada como *Agua Mineral Natural* y se vende con el nombre comercial de “Los Riscos”. La Planta embotelladora inició su actividad

en 1987, y tiene una capacidad de producción de 250-300.000 l/día (figura 3,4).



Figura 3. Instalaciones de la embotelladora y afloramiento de la Cuarcita Armoricana



Figura 4.- Planta de embotellado y control de calidad.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Desde un punto de vista geotectónico, el área se sitúa en un límite difuso entre el sur de la Zona Centro Ibérica (ZCI) y la parte septentrional de la Zona Ossa-Morena (ZOM), enclavada en el denominado Dominio Obejo-Valdesequillo (Palacios et al., 2013).

Destaca en la zona la estructura varisca del Sinclinal de La Codosera (figura 5),

que comprende un basamento formado por un complejo terrígeno Neoproterozoico, una alternancia de cuarcitas, lutitas y pizarras, de edad Ordovícico-Devónico y un Devónico terminal de lutitas, con un tramo carbonatado intercalado. También se encuentran granitos de diversos tipos y rocas subvolcánicas de naturaleza básica.

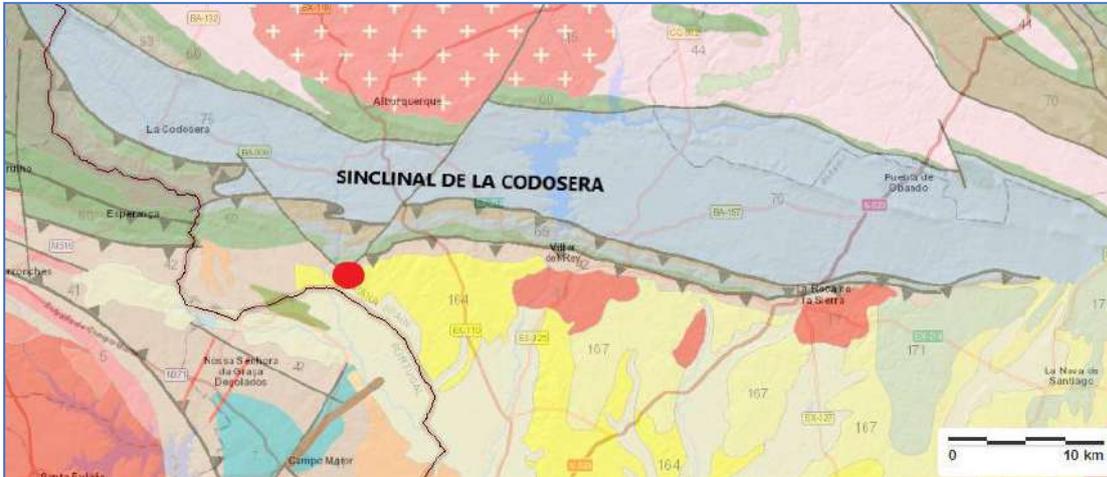


Figura 5.- Contexto geológico. Los tonos verdes, marrones y azul se corresponden con la serie paleozoica. El punto rojo sitúa la explotación del agua subterránea.

Toda la serie presenta una intensa fracturación.

Hacia el sur se sitúan los sedimentos cenozoicos de la cuenca del Guadiana.

Los materiales recientes, procedentes de la degradación del relieve varisco, se

acumulan cubriendo zonas deprimidas de valles y laderas.

El manantial se sitúa en el flanco sur del sinclinal, próximo al borde cuenca cenozoica, en la formación de Cuarcita Armoricana Ordovícica (figura 6).

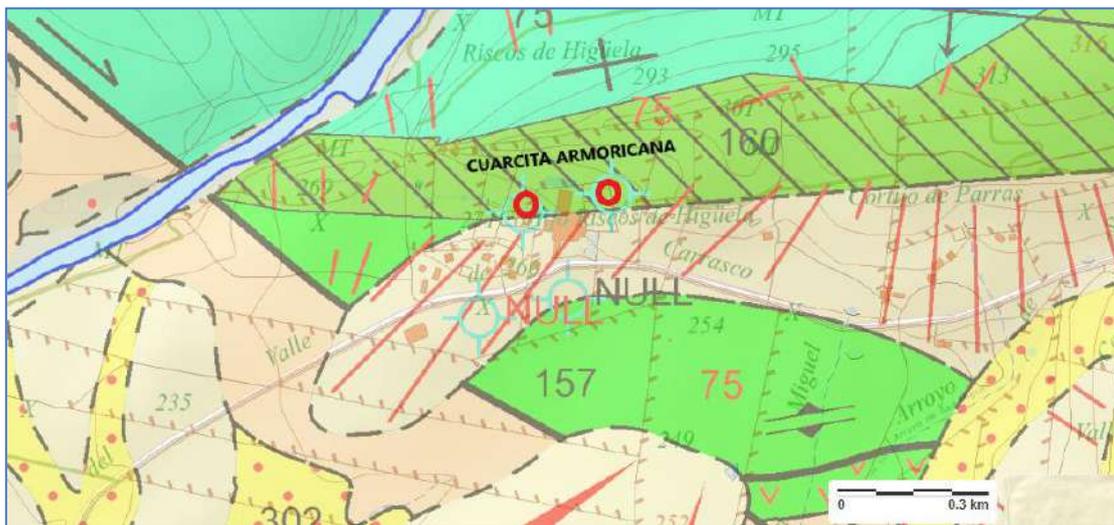


Figura 6.- Mapa geológico del entorno de los sondeos. En verde, las formaciones del Cámbrico-Ordovícico. En rojo, los sondeos sobre la Cuarcita Armoricana.

La intensa fracturación que afecta a las cuarcitas, permite la circulación y el almacenamiento de agua. En la fig. 7, se representa el sistema de fallas que afectan a la formación de la Cuarcita

Armoricana y la banda de cizalla que conecta hidrogeológicamente el sinclinal con el punto de extracción del agua y que probablemente sea la vía principal de recarga.



Figura 7.- Fallas (líneas rojas) y zona de cizalla (banda roja)

HIDROGEOLOGÍA

Tanto el almacenamiento como el flujo subterráneo del agua están ligados al intenso sistema de fracturación que se presenta en las rocas cuarcíticas; se trata de fisuras y fracturas abiertas que permiten la circulación del agua por ellas y su subsiguiente almacenamiento. La circulación por las rocas cuarcíticas no debe incorporar demasiada mineralización al agua, al ser estas rocas escasamente solubles, de ahí su débil mineralización.

Su facies química indica que las aguas en la zona de recarga deben tener una facies bicarbonatada cálcica, ganando sodio y cloruros, en detrimento de bicarbonatos y calcio, ofreciendo la composición que se observa en la surgencia.

El agua es principalmente captada mediante de dos sondeos (Riscos 3 y 4) con una profundidad mayor a los 100m. Los sondeos perforan niveles cuarcíticos fisurados (figuras 8), obteniendo caudales de 5-6l/s.

En las figuras 9,10 y 11 pueden apreciarse los detalles de la columna litológica atravesada por los sondeos.

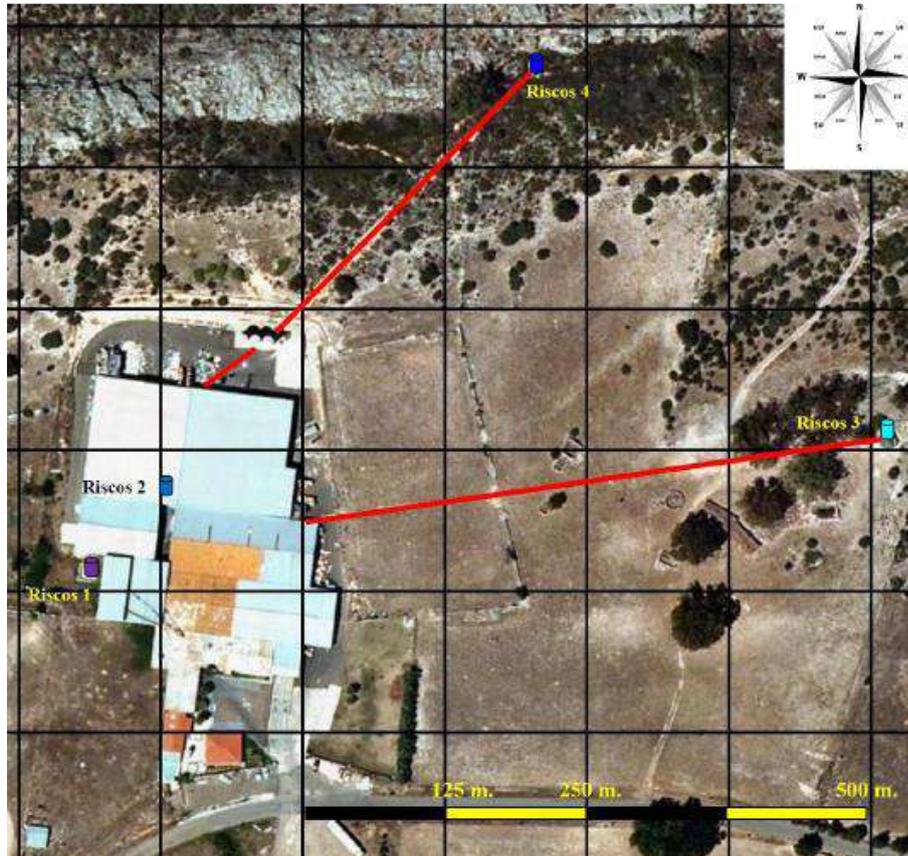


Figura 8. Puntos de agua y pozos



Figura 9.- Instalaciones de la planta de Los Riscos y situación del perfil geológico.

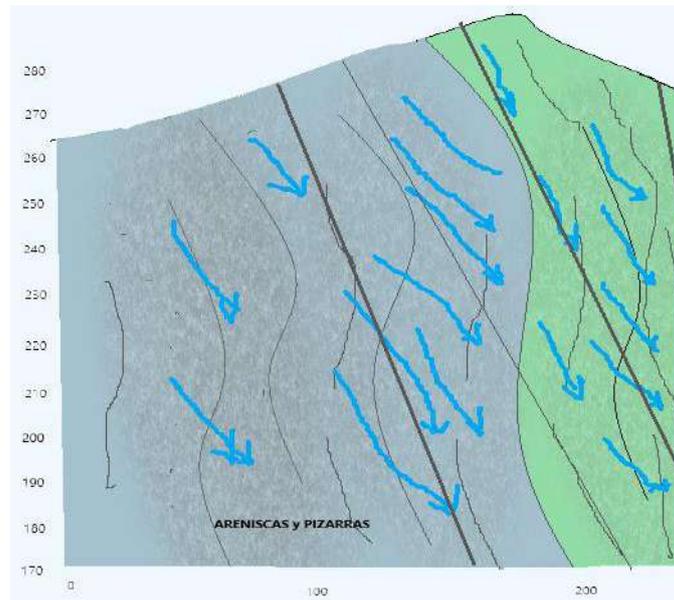


Figura 10. Corte geológico, con interpretación del funcionamiento hidrogeológico.

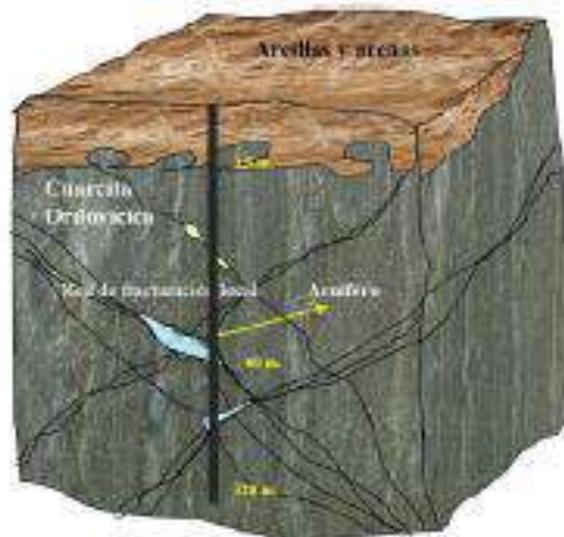


Figura 11. Modelo idealizado del sustrato en los puntos de agua (sondeos)

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

Las aguas del manantial son de muy baja mineralización, de facies clorurada sódica (fig. 12) y surgen con una temperatura aproximada de 17 °C.

Su composición química responde a un modelo de flujo subterráneo asociado a la fracturación de las cuarcitas.

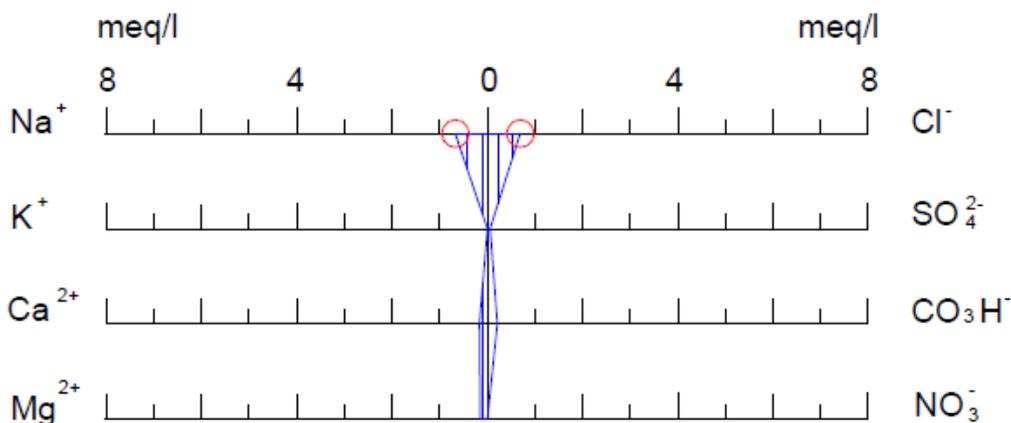
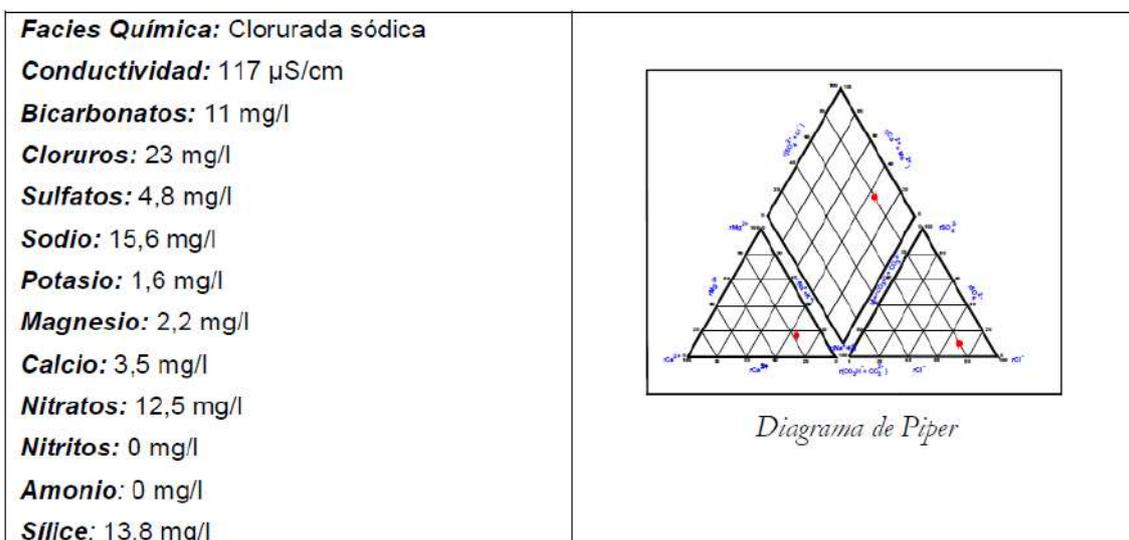


Figura 12.- Composición química del agua. Diagramas de Piper y Stiff.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA BADAJOZ 2022

Francisco Fernández de la Llave.

Geólogo

Francisco Javier Fernández Amo.

Geólogo

Eduardo Rebollada Casado.

Geólogo

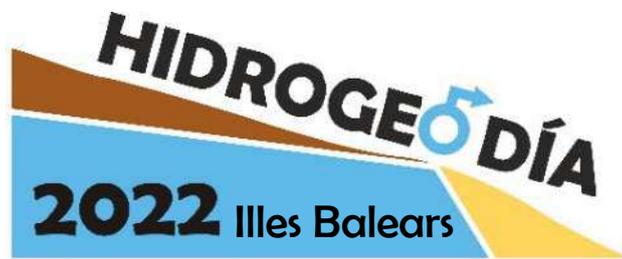
PARA SABER MÁS....

Alcalde. C. (2006). Las aguas minerales de Extremadura. Importancia económica y posibilidades de negocio. Consejería de Economía y Trabajo. Junta de Extremadura.

Palacios, T., Eguiluz Alarcón, L., Apalategui, O., Jensen, S., Martínez-Torres, L., Carracedo, M., Gil Ibarra, J., Sarrionandia, F., Martí Mus, M.(2013). Mapa Geológico de Extremadura a escala 1:350.000 y su memoria. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU), Bilbao. 68x98 cm, 222 pp. ISBN:978-84-9860-850-2.

Sigeo (2006).

<http://sigeo.juntaex.es/portalsigeo/web/guest/aguas-minerales>



HISTÒRIA DE LA INVESTIGACIÓ HIDROGEOLÒGICA A LES ILLES BALEARS

INVESTIGACIÓ DE LES SURGÈNCIES CÀRSTIQUES INTERMITENTS DE SES UFANES

HISTORIA DE LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LAS ILLES BALEARS

INVESTIGACIÓN DEL MANANTIAL KÁRSTICO INTERMITENTE DE SES UFANES

25 de març de 2022

Ponents: Alfredo Barón Périz i Concepción González Casasnovas

Universitat de les Illes Balears
Edifici 76, Antònia Maria Alcover i Sureda, Aula SAL01a
de 18:00h a 20:00h

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

hidrogeologiabalears@gmail.com

● Observatori de l'Aigua



Universitat
de les Illes Balears



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

Hidrogeología urbana, un paseo por Barcelona

26 de Marzo de 2022

EXCURSIÓN GRATUITA

Visita guiada con dos paradas:

1. Park Güell, puerta de acceso de la carretera del Carmel
2. Depósito de aguas pluviales Parc Joan Miró, calle Diputació 7

HORA Y PUNTO DE ENCUENTRO: 9:45 Puerta de acceso preferente para grupos al Park Güell de la carretera del Carmel

HORA Y PUNTO DE REGRESO: 14:30 Parc Joan Miró

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA:

e-mail de contacto: hidrogeo.idaea@gmail.com

ORGANIZA:



COLABORAN:



Ajuntament de
Barcelona



Barcelona
Cicle de
l'Aigua SA



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Agua subterránea, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



JUEVES 24 DE MARZO

CONFERENCIA PRESENCIAL Y ONLINE
AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MEDIO AMBIENTE
EPS RÍO VENA HORA: 19:00

<https://www.youtube.com/watch?v=CjxOI1IGz4E>

SÁBADO 26 DE MARZO

EXCURSIÓN HIDROGEODÍA
HIDROGEOLOGÍA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL
ENTORNO DE BURGOS
GRATUITO



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



UNIVERSIDAD
DE BURGOS

UBUVerde

HIDROGEODÍA
2022

HIDROGEODÍA
2022



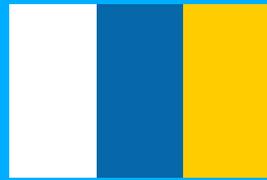
*Consejo Insular
de Aguas de El Hierro*



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



ARSINOE



Hidrogeodía Canarias 2022

17 de marzo
Isla de El Hierro

La importancia de cuidar las aguas subterráneas

<https://youtu.be/tj11GebdQLM>

<https://youtu.be/WZMun5zUAZE>



**Universidad
de La Laguna**

Organiza:

Juan Carlos Santamarta Cerezal

HIDROGEOLOGÍA
2022 CIUDAD REAL

iah aih
DÍA MUNDIAL DEL AGUA
 Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE)

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
 "Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



[PARTICIPAR]

26 de marzo 2022

Cuando magma y agua se encuentran en el Campo de Calatrava



ORGANIZAN:



COLABORAN:



EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades y 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.

En Ciudad Real, el Hidrogeodía 2022 se titula **“Cuando magma y agua se encuentran en el Campo de Calatrava”** y consistirá en una visita guiada por varios puntos representativos donde podremos analizar las relaciones establecidas entre los volcanes y las aguas subterráneas en este territorio:

- 1) **Reconocimiento de morfologías y depósitos hidrovolcánicos en el casco urbano de Ciudad Real**
- 2) **Visita al maar de la Laguna de La Inesperada en Pozuelo de Calatrava**
- 3) **Visita al hervidero y baños de Carrión de Calatrava.**

La visita se articula, por consiguiente, en torno a tres espacios emblemáticos de la región volcánica del Campo de Calatrava donde podremos ver *in situ* las consecuencias geomorfológicas, hidrológicas, hidrogeológicas y biogeográficas resultantes del encuentro del

magma con las aguas subterráneas en esta región. Por la mañana se visitarán los maares de Ciudad Real; al medio día el maar de la laguna de la Inesperada (Refugio de Fauna, Reserva Natural, Humedal Ramsar, LIG y Geositio); y, por la tarde, visitaremos los Hervideros y Baños de Carrión de Calatrava.

LOS VOCANES DEL CAMPO DE CALATRAVA

La actividad volcánica reciente (< 8 Ma.) desarrollada en la zona central de la provincia de Ciudad Real, integrada por un conjunto de morfologías y depósitos de elevado interés científico y geoturístico, es uno de los rasgos característicos del paisaje de esta provincia, repartiéndose los volcanes por un amplio territorio de unos 5.000 km² (Becerra Ramírez, 2013).

Se han catalogado unos 350 volcanes (Figura 1), correspondiéndose el 51% con volcanes magmáticos generados en erupciones efusivas y estrombolianas (conoteles de *spatter*, conos de piroclastos y coladas de lava) y el 49% con edificios generados en erupciones hidromagmáticas (maares) (Becerra Ramírez, 2013). La importante concentración de centros de emisión y la notable extensión de los depósitos volcánicos en la unidad natural del Campo de Calatrava, ha llevado a que tradicionalmente se denomine a todo el territorio eruptivo como región volcánica del Campo de Calatrava (Gosálvez Rey, 2011).

No hay acuerdo científico sobre por qué hay volcanes recientes en la provincia de Ciudad Real: punto caliente, rift abortado, rift oblicuo, un sistema de megafallas que afecta al Mediterráneo occidental con plegamiento litosférico, hipótesis flexural... (Molina, 1975; Ancochea Soto, 1983; Bergamín y Carbo, 1986; Cebriá Gómez, 1992; López Ruiz et al.,

1993; Poblete Piedrabuena, 1994; Rincón Calero, 1999; Gallardo Millán, 2005; Cebriá et al., 2011; Granja et al., 2015). Sí hay consenso en que, en última instancia, 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 25 Ma.

térmica positiva en el manto. La salida del magma a la superficie se ha producido a través de una trama reticular de fallas y fracturas de dirección principal NO-SE y otras trasversales a las primeras, derivadas de la orogenia varisca y reactivadas en la alpina y por la neotectónica, sobre las que se han desarrollado las erupciones. En la zona central del Campo de Calatrava se concentra la actividad volcánica y por ello es donde las tipologías eruptivas y las

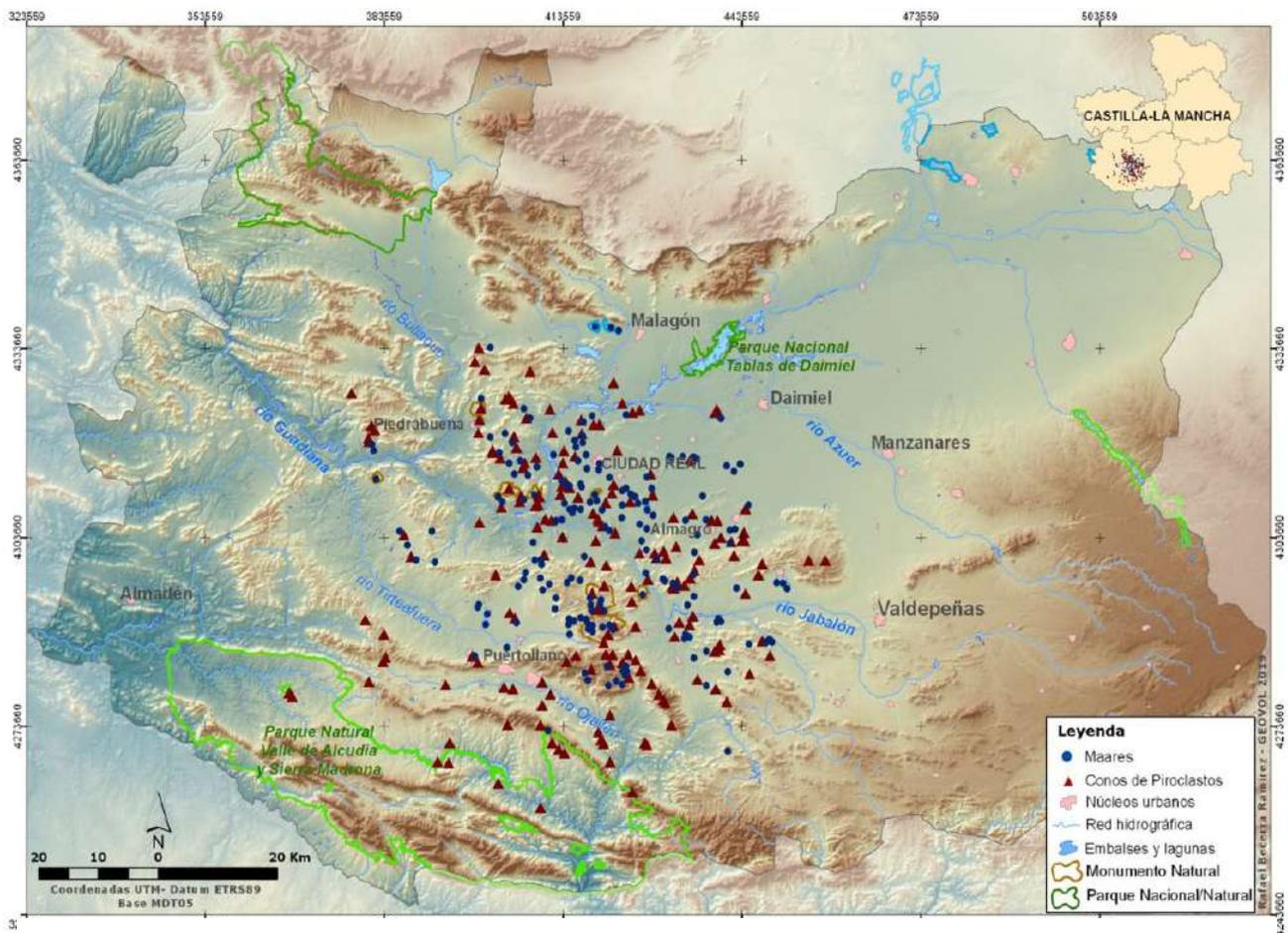


Figura 1. Los volcanes del Campo de Calatrava

Todas estas interacciones han condicionado la actividad eruptiva en el Campo de Calatrava, articuladas en el tiempo por ciclos separados por períodos de calma. Hay que tener en cuenta también que nos encontramos ante un volcanismo de intraplaca, caracterizado por la emisión de rocas volcánicas básicas y ultrabásicas (melilitas olivínicas, limburgitas, nefelinitas olivínicas, basaltos y basanitas) y en el que parece haber jugado un papel importante la existencia de una anomalía

formas de relieve resultantes son también más variadas. La primera erupción volcánica tuvo lugar en Villamayor de Calatrava hace 7.5 Ma (Ancochea y Huertas, 2021), generando el volcán del Morrón, 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 de Granátula y Calzada de Calatrava (González et al., 2007; Poblete et al., 2019).

Hoy sabemos que gran parte del poblamiento del centro de la provincia de Ciudad Real estuvo condicionado por el volcanismo. Pozo de Don Gil, Ciruela, La Puebla, Poblete, Las Casas, Villar del Pozo, Pozuelo de Calatrava, Alcolea de Calatrava, Piedrabuena, Los Pozuelos de Calatrava, Almagro, Almodóvar del Campo, etc., están asociados, bien a los conos de piroclastos y sus coladas de lavas favorables al desarrollo de la agricultura (negrizales) y a la obtención de material para la construcción (canteras), bien a los maares con sus lagunas y su capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas (pozos, pozuelos) (Gosálvez *et al.*, 2020).

CUANDO MAGMA Y AGUA SE ENCUENTRAN

El ascenso de magma hacia la superficie y su encuentro con el agua de 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, la mitad de la energía liberada por la bomba atómica de Hiroshima (Büttner *et al.*, 2002).

La huella de estas explosiones es la apertura de grandes depresiones, denominadas **cráteres de explosión hidromagmáticos o maares**. La palabra maar procede de la región de Eifel en Alemania, con el significado “lleno de agua”.

En determinadas circunstancias, los maares pueden almacenar agua alojando lagunas de carácter temporal (Imagen 1). En el Campo de Calatrava son 65 las lagunas que hemos inventariado hasta la fecha, sobre un total de 170 maares (Gosálvez Rey, 2011).



Imagen 1. Maar de Hoya de Cervera

Otro elemento muy singular presente en el Campo de Calatrava es la presencia de **Hervideros y fuentes agrias** (Imagen 2 y Figura 2). Se trata de manantiales que están relacionados con el ascenso de gases, principalmente CO₂, procedentes del manto que alcanzan la superficie a través de fracturas profundas y que se disuelven en las aguas subterráneas.



Imagen 2. Baño de Barranco Chico en Aldea del Rey

Relacionados con las interacciones de gases mantélicos con las aguas subterráneas en el Campo de Calatrava aparece también otro fenómeno muy singular: los **Chorros** (Figura 2). Se trata de sucesos extraordinarios de descompresión masiva de CO₂ arrastrando agua y material que constituye el acuífero y que siempre están vinculados con la apertura de pozos y sondeos a gran profundidad con fines agrícolas, nunca de manera natural.

Por su espectacularidad, intensidad y duración, el chorro generado en Granátula de Calatrava (Imagen 3), supuso el caso de mayor interés

relacionado con la expulsión súbita de gases del Campo de Calatrava. Iniciado el 25 de julio del 2000, mantuvo una constante salida de gas, agua y material de relleno de la cuenca sedimentaria a lo largo de 176 días, generando gran expectación mediática y popular, con miles de visitas procedentes de toda España para ver tan singular fenómeno.



Imagen 3. Chorro en Granátula de Calatrava. Año 2000

LOS MAARES, UN VOLCÁN SINGULAR Y POCO CONOCIDO

La idea de que agua ajena al sistema volcánico podía jugar un papel importante en las erupciones volcánicas es conocida desde que Humboldt publicó su famoso *Ensayo sobre los yacimientos de las rocas de los dos hemisferios* en 1823. El hidrovulcanismo hace referencia a los procesos físicos y químicos que ocurren cuando el magma en su ascenso es interferido por una acumulación de agua externa al sistema volcánico (Figura 3) (Sheridan y Wohletz, 1981). En el caso del Campo de Calatrava, el magma interactuó con agua subterránea. El contacto magma-agua responde a un mecanismo conocido en procesos industriales y reactores nucleares, lo que se conoce como interacción combustible-refrigerante (*Fuel-Coolant Interactions* o *FCI*) (Wohletz, 1993).

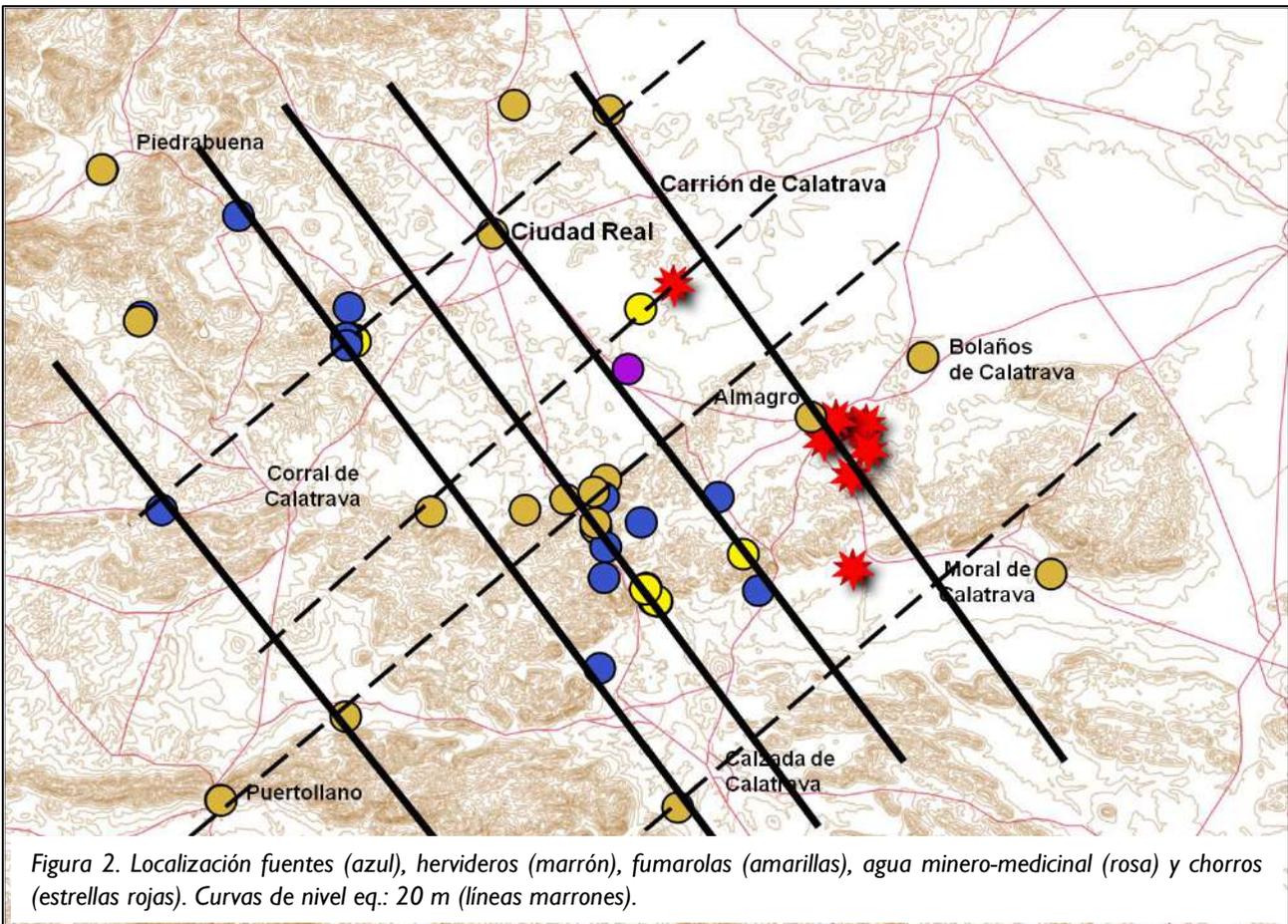




Imagen 4. Maar y laguna de la Posadilla (Ciudad Real)

El resultado final de las erupciones hidrovulcánicas, como ya se adelantó unas líneas más arriba, es la apertura de una amplia depresión y la formación de una cobertera anular compuesta de material fragmentado procedente de la roca donde se produce la interacción y/o del propio magma (tobas volcánicas) (Figura 3). A esta depresión y su cobertera anular se le conoce con el nombre de *maar*, término propuesto por Steininger en 1819 a partir de un topónimo local que proviene de los lagos de la región de Eiffel (Alemania).

Siguiendo a Büchel (1993), el término *maar* comprende la pared o anillo que rodea el cráter, los sedimentos que lo rellenan, el diatrema o embudo de explosión y el sistema de diques de alimentación.

El vértice del diatrema indicaría el nivel donde se produjo la interacción hidromagmática, pero éste generalmente se encuentra relleno por los materiales depositados en el momento de la erupción, así como por los procedentes de procesos de sedimentación postvolcánicos (conos de deyección y sedimentación lacustre).

Un elemento importante a resaltar son los depósitos de tobas que bordean el maar. En una erupción hidrovulcánica se genera una columna eruptiva ancha y de escaso desarrollo vertical, en cuya base se generan corrientes o flujos laterales de baja concentración de

partículas, de carácter turbulento y altamente expansivo, en los que la proporción de partículas sólidas está subordinada a la de los gases y líquidos. Estas corrientes laterales se desplazan radialmente y a grandes velocidades desde el centro del cráter hacia el exterior. Cenizas, *lapilli*, bombas y bloques del sustrato son transportados por el gas en esta corriente, aunque algunas bombas y bloques también caen a tierra en trayectorias parabólicas. A estos flujos de piroclásticos se les denominan oleadas piroclásticas basales (*base surge*) (Moore, 1967; Waters y Fisher, 1971; Crowe y Fisher, 1973), realizándose su deposición en torno a la boca del maar, pudiendo dar lugar a depósitos y morfologías denominadas anillos de tobas o conos de tobas, en los que se reconocen distintas facies (Figura 4).

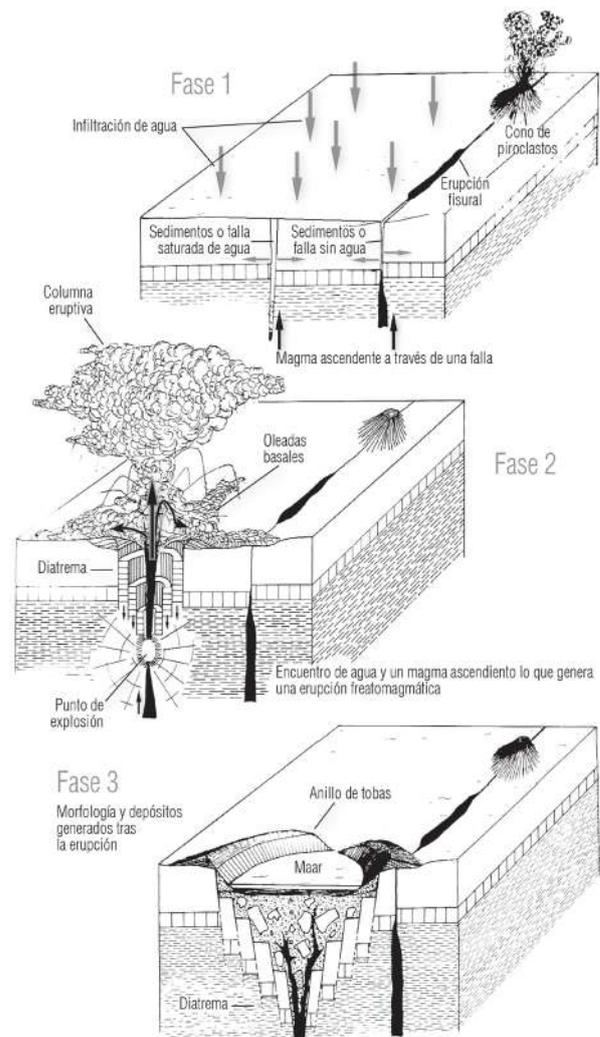


Figura 3. Fases en la formación de un maar. Tomado de Goer, 1994, p. 31

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). En condiciones pluviométricas adecuadas los mares son un espacio idóneo

para la formación de lagunas temporales (Imagen 4), caracterizadas por una marcada irregularidad, que responden a años hidrológicos con precipitaciones superiores a los 500 mm. Estas lagunas constituyen auténticos “puntos calientes” para la conservación de la diversidad biológica (Gosálvez, 2011).

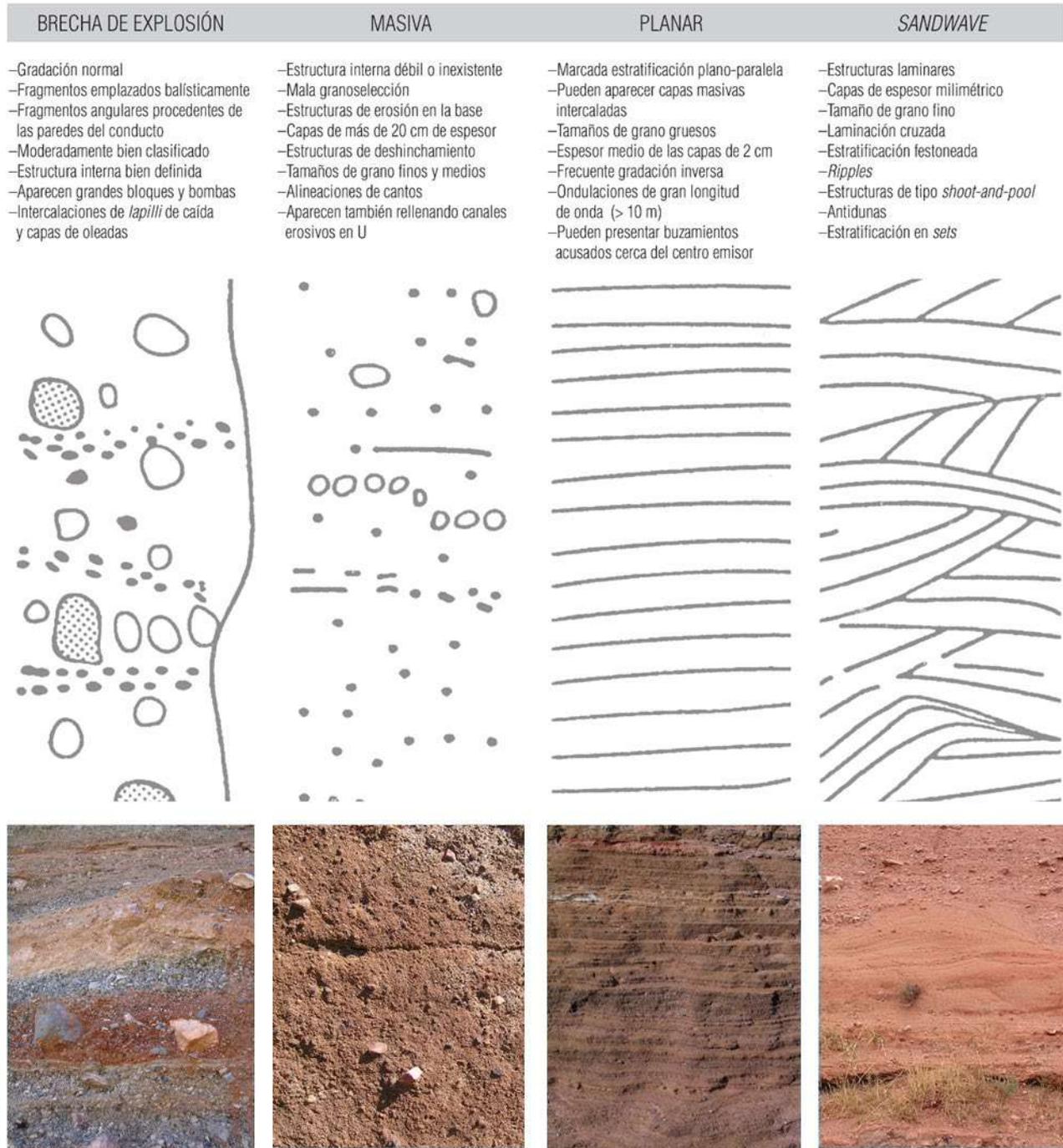


Figura 4. Características de las estructuras volcanosedimentarias comunes en los depósitos de toba del Campo de Calatrava. Fuente: Wohletz, 1993

En el caso de Ciudad Real capital, son cinco los maeres existentes responsables de la actual configuración topográfica de la ciudad, cuatro de ellos localizados al sur (maeres de la Albuera, del Hospital de Ciudad Real o de las Herrerías, del Pozuelo de Don Gil y del Barrio de los Ángeles) y uno al norte, en la salida de la carretera nacional a Toledo (maer de Las Canteras).

PARADA 1. PLAZAS DEL PILAR Y DE CERVANTES

La georruta se inicia en un espacio emblemático de Ciudad Real que la tradición local ha considerado como el lugar donde se encontraba el origen de la ciudad, el Pozo o Pozuelo de Don Gil, localizado entre las plazas de Cervantes y del Pilar, donde hoy se erige una fuente que lo homenajea y una tapa conmemorativa (Imagen 5).



Imagen 5. Tapa conmemorativa de la fundación de Ciudad Real y su localización en la plaza del Pilar

Este espacio tiene una enorme significación simbólica y era uno de los lugares principales desde donde se abastecía de agua la ciudad, apareciendo aquí una fuente con un pilar, de ahí el nombre de la plaza del Pilar.

Justo si nos situamos en medio de ambas plazas nos encontramos en el fondo de uno de los maeres de los cinco reconocidos en el casco urbano de Ciudad Real, el maer de Pozo de Don Gil. Esta afirmación puede suponer para un neófito poco menos que ciencia ficción, pero la trama y la topografía urbana y

el pasado histórico reciente nos abre la mente a la interpretación geomorfológica de estas icónicas plazas ciudadrealeñas.

La trama urbana, condicionada por la topografía, revela claramente el fondo de este *maer*, cuyos límites están bien definidos por las calles Tinte y Ruiz Morote, y las propias plazas. El borde anular del *maer*, la parte más alta del mismo se corresponde con la calle Conde de la Cañada y con la unión de las rondas de Alarcos y del Parque, la avenida de Pío XII y la calle Bernardo Balbuena.

Las paredes internas de este *maer* quedan claramente expuestas en la topografía urbana, como saben muy bien los ciudadrealeños que toman las calles que divergen desde estas plazas, especialmente las meridionales y orientales, destacando las calles Ciruela, Pozo Dulce, Montesa, General Rey, Lanza y Hernán Pérez del Pulgar.

El pasado histórico reciente, a través del testimonio de fotografías disponibles desde principios del siglo XX, atestigua la inundación recurrente de las plazas del Pilar y de Cervantes (Imagen 6), un claro testimonio de la capacidad de recoger las aguas del entorno y almacenarlas en lo que es una zona más baja o deprimida topográficamente, la del fondo del maer.



Imagen 6. Imagen de la Plaza del Pilar en la década de 1930

PARADA 2. GALERÍAS DEL ARCO DEL TORREÓN

A través de la plaza de San Francisco, la calle Palma y la avenida del Torreón nos adentraremos hacia la segunda parada de esta georruta, las galerías del Arco del Torreón.

La aparición de estas galerías, tras una adecuación urbanística inaugurada en el mes de febrero de 2021, permitió descubrir que estaban excavadas en los depósitos de flujos piroclásticos (*base surge*) de un *maar*, el del Barrio de los Ángeles. Este maar tiene un diámetro de casi un kilómetro, extendiéndose desde la avenida de Calvo Sotelo hasta la plaza de San Francisco y el propio Arco del Torreón, y presenta una profundidad de unos cinco metros.

Se caracteriza este depósito por una alternancia predominantemente laminar (Imagen 7), pero con láminas que a veces se entrecruzan (*sandwave*), típica de flujos piroclásticos de gran turbulencia que se desplazan a ras de suelo.



Imagen 7. Estructuras planares y *sandwave* en los depósitos hidromagmáticos de las galerías del Arco del Torreón.

Estos depósitos laminares de las galerías del Torreón presentan, además, huellas de impacto (deformaciones) provocadas por la caída balística de bombas de composición basáltica y de bloques de caliza y de cuarcita y, lo que es más interesante, de trozos de depósitos hidromagmáticos arrancados de otros maars del entorno, probablemente del maar del Pozo de Don Gil. Estas galerías se han propuesto como uno de los geositios a integrar en el proyecto de Geoparque 'Volcanes de Calatrava. Ciudad Real' debido a su gran interés científico y divulgativo, al permitir mostrar a los visitantes uno de los mejores ejemplos de depósitos hidromagmáticos de la ciudad y del Campo de Calatrava.

Un elemento que ha llamado la atención al público es la existencia de un gran "banco" de piedra (Imagen 8), interpretado por los arqueólogos como de origen volcánico, pero que los autores de este trabajo descartaron inmediatamente al tratarse en realidad de un gran bloque de cuarcita arrancado durante la propia erupción, algo de sumo interés pues revela el punto en el que tuvo lugar la erupción.



Imagen 8. Depósitos de oleadas piroclásticas basales y "banco" de cuarcita de las galerías del Arco del Torreón.

PARADA 3. PARQUE JUAN PABLO II

Al Parque de Juan Pablo II se llega a través de la ronda de La Mata y de la ronda de Granada, localizándose en el sureste de la ciudad.

Se trata de una zona verde y de recreo, ubicada sobre el antiguo emplazamiento de la estación de ferrocarril de Ciudad Real y su zona de vías.

El Parque se encuentra dividido en dos partes, por la calle Tabla de la Hiedra. En la primera, destacan tres elementos ornamentales que evocan a los tres tipos de volcanes existentes en el Campo de Calatrava: una colina que recuerda a un cono de piroclastos, una fuente que recuerda a los chorros de agua y CO₂ y una composición de bloques esferoideales de roca basáltica que parece una alegoría a una colada de lava de una erupción efusiva o hawaiana (Imagen 9).



Imagen 9. Composición de bloques esferoideales de basalto alegoría de una colada de lava.

Lo mismo sucede en la segunda parte del Parque, donde tres elementos, la colina, el foso y el anfiteatro, parecen representaciones de un cono de piroclastos, de un maar y de un hervidero (Imagen 10), respectivamente.



Imagen 10. Anfiteatro que recuerda a un hervidero y baño.

Si nos centramos en observar con detalle la composición de rocas basálticas, comprobaremos que estamos ante todo un laboratorio al aire libre de petrología volcánica, pues encontramos en ella disyunciones esferoideales de colada de lava, bombas basálticas de gran tamaño y bloques de *spatter* o escorias soldadas. En algunos bloques de lava se aprecian enclaves de la roca encajante (xenolitos corticales), casi toda cuarcita, que se debieron incorporar al magma mientras ascendía a la superficie (Imagen 11). También se observan microcristales, brillantes a la luz del sol, de color verde (olivino) y de color negro (augita). En un gran bloque separado del resto, hay una gran cantidad de concreciones de carbonatos, formando pequeñas morfologías verrugosas blancas de gran belleza.



Imagen 11. Enclave de cuarcita (xenolito cortical) en los bloques de lava del Parque Juan Pablo II.

PARADA 4. AVENIDA DEL MAR

En la Avenida del Mar encontramos los otros depósitos de flujos piroclásticos visibles en la actualidad en Ciudad Real, depósitos que están vinculados a la parte oriental del anillo de tobas del maar del Barrio de los Ángeles. Es un afloramiento de características excepcionales que se abrió para construir los cimientos de un edificio de viviendas pero que la crisis de 2008 llevó a su abandono.

Una peculiaridad de este afloramiento es que su apertura se hizo siguiendo un plano en damero, lo que permite observar múltiples cortes estratigráficos dispuestos de forma ortogonal (Imagen 12). La potencia total del afloramiento es de algo más de 5 m, en dos bancadas, una de 3,5 m y otra de 1,7 m.

En los frentes abiertos se observa una clara alternancia laminar de capas más cohesionadas con otras más blandas, lo que ha favorecido su

erosión diferencial, pues las capas friables son desgastadas con mayor facilidad que las capas cohesivas, haciendo que estas últimas queden en resalte. Las capas más compactas son de color claro, con presencia de *lapilli* acrecional, y potencias entre 3,4 y 5,4 cm; mientras que las capas más deleznable son de color marrón, de aspecto arcillo-arenoso, con presencia de abundantes cenizas y *lapilli* de caída y potencias algo mayores que las de las capas anteriores (Gosálvez *et al.*, 2020).

Esta sedimentación alternante es típica de corrientes de gran turbidez, con una carga de sedimentos variable (corrientes de densidad piroclásticas, PDC, entre las que se encuentran las oleadas piroclásticas basales), deslizándose sobre la superficie topográfica hasta que disminuye la velocidad de la corriente y da comienzo a la sedimentación del material que arrastra en diferentes capas ordenadas por sus densidades. Estas sedimentaciones suelen dar lugar a formas laminares, pues cuando la corriente se calma se sedimentan los materiales más ligeros.



Imagen 12. Depósitos de flujos piroclásticos de la Avenida del Mar

Por todo ello, interpretamos estos depósitos como el resultado de facies proximales o intermedias de una oleada piroclástica basal emitida desde el maar del Barrio de los Ángeles y deformados por sísmos sineruptivos o posteruptivos (Gosálvez *et al.*, 2020).

PARADA 5. MAAR Y LAGUNA DE LA INESPERADA

La Laguna de la Inesperada, en Pozuelo de Calatrava, cuenta con el único centro de interpretación de un maar en la región volcánica del Campo de Calatrava. Esta laguna, reconocida como LIG y propuesta como Geositio, se encuentra alojada en un cráter de explosión hidromagmático que se localiza en una fisura eruptiva en la que se alinean otros siete maares entre las localidades de Pozuelo de Calatrava y Miguelturra (Figura 5). Algunos autores atribuyen su génesis a la disolución de paquetes de yesos pliocenos. En realidad, la presencia de estos yesos atestigua la existencia de lagunas temporales, al menos desde el Plioceno superior, bajo un clima árido o semiárido (Gosálvez, 2011).

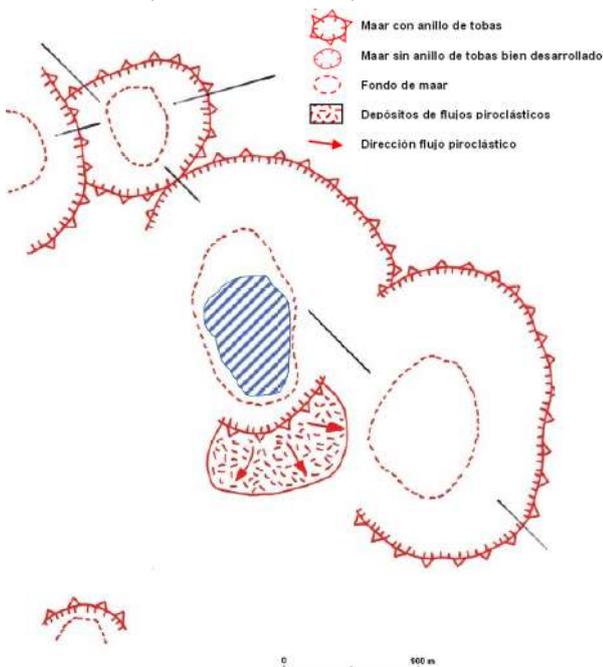


Figura 5. Esquema geomorfológico del maar de la Laguna de la Inesperada. Fuente: Gosálvez, 2011

La interacción de un magma ascendente con agua freática fue lo que provocó la apertura del maar mediante un mecanismo eruptivo de tipo hidromagmático. En superficie es posible reconocer, a través del análisis de diferentes cortes, los depósitos que orlan la cubeta lagunar (Imagen 13) que se corresponden a facies masivas típicas de depósitos de oleadas piroclásticas (Iniesta, 2017).



Imagen 13. Borde S (Arriba Izq.) y Borde NE (Arriba Dcha.) del anillo de tobas del maar de la Inesperada. Depósitos masivos (Abajo Izq.) y depósitos masivos con fragmentos de basalto y yesos (Abajo Dcha.).

Las aguas de la laguna varían de subsalinas a mesosalinas (2.6-37.6 mS/cm), con un pH de entre 7.5 y 10.2, tratándose desde el punto de visto iónico de una laguna de tipo aniónico Sulfatado-Clorurado y de tipo catiónico Magnésico-Sódico. El hidropериодо es estacional, con aportes de aguas por precipitación, descarga de aguas subterráneas y aportes de aguas pluviales y residuales (Iniesta, 2017).

Sus aguas en el pasado se aprovecharon con fines minero-medicinales, al menos desde 1883, fecha en la que el médico D. Mariano Gamboa informa de sus propiedades terapéuticas, siendo beneficiosas para tratar

problemas gástricos, biliares, febriles, de estreñimiento, dismenorreas, amigdalitis, úlceras, psoriasis, reumatismo, etc. Estas propiedades hicieron que llegase a ser embotellada y distribuida, ganando premios en varias ciudades europeas donde se valoró la excelente calidad de estas aguas (Imagen 14).



Imagen 14. Arriba. Análisis de las aguas de La Inesperada por el catedrático de Farmacia de la Universidad Central Gabriel de la Puerta y Ródenas. Abajo. Botella y etiqueta de comercialización.

Esta laguna alberga una importante diversidad biológica que le ha valido su declaración con diversas figuras de protección y reconocimiento internacional.

En relación con la flora y la vegetación, destacan las praderas sumergidas de algas verdes, donde dominan *Chara connivens* y *Ruppia drepanesis*, que tapizan los fondos de la cubeta lagunar. En las orillas aparece un pastizal compuesto de cebadilla silvestre *Hordeum marinum*, *Plantago coronopus* y *Polypogon maritimus*, que en las depresiones más húmedas se ve sustituido por praderas donde aparece *Aeluropus littoralis* y *Puccinellia fasciculata* (Gosálvez, 2011 e Iñiesta y Gosálvez, 2018).



Figura 6. Esquema de la distribución de la vegetación en la Laguna de la Inesperada. Fuente: Iñiesta y Gosálvez, 2018

En los bordes más elevados se instalan rodales de *Suaeda vera* y en aquellos que sólo se anegan en primavera se desarrolla una vegetación terofítica halófila (*Salicornia ramosissima*, *Salicornia europaea*, *Suaeda splendens*). Rodales de carrizo (*Phragmites australis*) y castañuela (*Bolboschoenus*

maritimus) ocupan la zona donde se producen periódicamente vertidos de la depuradora de aguas residuales de Pozuelo, aumentando progresivamente su extensión en los últimos 15 años.

Una orla de tarayes *Tamarix sp.* de porte arborescente rodea la laguna, tratándose de ejemplares plantados al auspicio de un plan de restauración llevado a cabo por la administración autonómica a finales de 1980. En la orilla N destaca la presencia de un pinar de pino carrasco *Pinus halepensis* fruto de una plantación realizada en la década de 1960, que se encuentra en retroceso ante el avance actual de álamos blancos. En el agua destaca la presencia de tapetes microbianos, aunque en retroceso por los vertidos de aguas pluviales y residuales (Gosálvez, 2011 e Iniesta y Gosálvez, 2018).

En cuanto a la fauna, la laguna de La Inesperada alberga la principal colonia de laro-limícolas reproductoras del Campo de Calatrava (avoceta europea: hasta 250-300 parejas, cigüeñuela común: 70-200 parejas, chorlitejo patinegro: 60-70 parejas, gaviota cabecinegra: 2 parejas, gaviota reidora: 150-300 parejas y pagaza piconegra: hasta 150 parejas). La abundancia media es de 797 aves, con un registro máximo de 5265 individuos en enero de 2013, mientras que la riqueza media ha ascendido a 11 especies, con un registro máximo de 22 en abril de 2019 (Gosálvez, datos propios).



Imagen 15. La laguna de la Inesperada llena de patos, fochas y flamencos el 30 de noviembre de 2010

La riqueza total provisional asciende a 70 especies aves acuáticas. Los taxones más abundantes y de presencia más regular son el ánade azulón, la gaviota reidora, la focha común y la cerceta común. El tarro blanco es invernante regular, con hasta 157 individuos. Destaca la presencia continuada de flamenco rosa (hasta 1425 en junio de 2014) y ocasional de chorlito gris, falaropo picogruoso y correlimos de Temminck (Gosálvez, datos propios).

Estas características hacen que la laguna tenga una valoración muy alta y que cuente con diferentes figuras de protección: Refugio de Fauna, Humedal de Importancia Internacional (Convenio de Ramsar), zona Natura 2000 (ZEC Lagunas volcánicas del Campo de Calatrava) y Reserva Natural.

A pesar de estos reconocimientos, existen numerosos impactos que afectan a la conservación de esta excepcional laguna, entre las que destacan afecciones de los niveles freáticos por los numerosos pozos existentes en su entorno para la puesta en cultivo de pistachos, almendros y viñas en espaldera, vertidos habituales de aguas pluviales y ocasionales de agua residuales que está provocando una dulcificación de la laguna con repercusiones graves en la flora y vegetación halófila, en el plancton y en el bentos. Por otro lado, unas 13 has de la laguna se encuentran sepultadas bajo los escombros que sirvieron para rellenarla e instalar el polígono industrial y equipamientos sociales del núcleo de Pozuelo de Calatrava (Gosálvez, 2011).

A finales de 1980 la Junta de Comunidades desarrolló un plan de restauración (eliminación de residuos, plantación de tarays, instalación de una valla perimetral, observatorios, plataformas nidales e islas, compra de terrenos y dotación de un vigilante). Por último, se han producido episodios ocasionales de botulismo aviar en este enclave.

PARADA 6. CO₂ y BAÑOS: EL HERVIDERO DE CARRIÓN

El CO₂ se muestra en la actualidad como un gas presente en los acuíferos de la región volcánica. Su origen está en los procesos de desgasificación del magma bajo la superficie, aflorando el mismo a través de fracturas y de la fisuración de las rocas. Cuando el CO₂ intercepta acuíferos, da origen a los "hervideros" que son manantiales en los que el gas aparece disuelto en el agua (Imagen 16).



Imagen 16. Baño de los hervideros de Villafranca

Otra forma de aflorar los gases magmáticos ha sido a través de la aparición de "chorros" o mal llamados géiseres, en cualquier caso, denominación popular de sucesos extraordinarios de expulsión masiva de CO₂ arrastrando agua y material de la roca que alberga el acuífero.

Estos chorros se producen por procesos de alteración de los gradientes de presión de acuíferos locales saturados de CO₂ procedente de la desgasificación desde el manto (Vaselli *et al.*, 2013; Elío *et al.*, 2015; Nisi *et al.*, 2019). Esta desestabilización, en origen, está inducida siempre por la actividad humana, asociada a la realización o profundización de sondeos y pozos con fines agrarios que acaban produciendo la despresurización de los

sistemas hídricos saturados de gas. Posteriormente, se ha observado que algunos de estos sondeos pueden emitir chorros con relativa frecuencia, salidas vinculadas al aumento de los niveles freáticos de los acuíferos afectados tras intensas precipitaciones en cortos espacios de tiempo. Las cantidades de CO₂ emitidas a la atmósfera en la boca de salida llegan a concentraciones que superan el 20% del volumen del aire.

A lo largo del mes de septiembre de 2007 se llevó a cabo una campaña de campo para evaluar la emisión de CO₂ en el sistema volcánico calatravo, dirigida por científicos del ITER de Canarias (hoy INVOLCAN) con el apoyo de GEOVOL-UCLM, constatándose que Calatrava presenta el mayor valor del múltiplo de la población anómala de gases de origen profundo respecto de la población de fondo geoquímico de todos los sistemas volcánicos europeos estudiados, con un valor de 119.993. La emisión de CO₂ se ha estimado en 2492 t d⁻¹ (Calvo *et al.*, 2010).

Los Baños del Hervidero de Carrión son un manantial natural de aguas bicarbonatado magnésico-cálcicas ricas en gas carbónico (CO₂). Estas características hicieron que se utilizaran para baños y que, durante el S.XX, el ayuntamiento construyera una piscina cuadrada con cuatro escalones (Melero, 2007) que, recientemente, ha sido restaurada y abierta al público.



Imagen 17. Baños del Hervidero de Carrión

En 1865, en la *Crónica de la provincia de Ciudad Real* de José de Hosta, se nos detalla con respecto a Carrión de Calatrava que: “... hay en el término otras varias fuentes de excelente agua, siendo la mas admirable de todas la de los hervideros, que están indicados en particular para las afecciones venéreas y erupciones cutáneas y si se construyese ahí un buen baño, este sitio seria probablemente mas concurrido que Puertollano y Fuensanta” (Melero, 2007).

Esta propuesta es consecuencia de la preocupación por la salud pública de la sociedad del S.XIX que se concretó en diferentes iniciativas que buscaron aprovechar las propiedades curativas de los hervideros calatravos. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del S.XX la mayoría de los hervideros y baños cayeron en un abandono e incluso desidia y hoy se encuentran muy deteriorados o incluso desaparecidos, lo que ha conllevado la pérdida de un bien patrimonial excepcional.

Propuesta de modelo conceptual para explicar las descargas de CO₂ y otros gases

Se ha adoptado un modelo de funcionamiento para comprender el origen de los actuales flujos de CO₂ en el Campo de Calatrava (Figura 7), basado en uno aplicado a sistemas geotermales de Chile por Navarrete Calvo (2012). Se ha partido para ello de los trabajos realizados en nuestro territorio sobre gases.

El contexto geológico proporciona las bases para entender el marco estructural y sedimentario del Campo de Calatrava, donde los materiales paleozoicos constituyen el basamento sobre el que se han desarrollado, hasta catorce cuencas sedimentarias (Gallardo, 2005). Este basamento paleozoico puede estar actuando como reservorio geotérmico debido a su plegamiento y fallamiento (Nisi et al., 2019), característica que puede aumentar de uno a dos órdenes de

magnitud la permeabilidad secundaria de un depósito litológico (González de Vallejo, 2002). Por otra parte, sabemos que las cuencas sedimentarias calatravas presentan una elevada complejidad, al encontrarse rellenas por materiales detríticos, carbonatados, volcanosedimentarios y facies que pueden funcionar como capa sello impermeable (arcillas, yesos y margas yesíferas) (Gallardo, 2005; Benítez y Pulido, 2010; Nisi et al., 2019).

Para entender el origen de la fuente de calor y fluidos, INVOLCAN/GEOVOL (2011) aportaron información clave que sirvió para considerar la existencia de un sistema hidrotermal de baja temperatura (118°C) emplazado a unos 640 m de profundidad (63 bares de presión), desde donde el CO₂ ascendería por exsolución a posiciones más someras a través de fallas o quedando atrapado en acuíferos confinados en las cuencas sedimentarias por capas impermeables (Figura 6).

De acuerdo con la información proporcionada por Calvo et al. (2010), Vaselli et al. (2013), Elío et al. (2015) y Nisi et al. (2019) se puede hablar de la existencia en el Campo de Calatrava de al menos dos fuentes de CO₂: una de desgasificación profunda desde el manto y otra somera que tiene su origen en la actividad biogénica.

Con respecto a la fuente de desgasificación profunda, esta se interpreta en función de análisis isotópicos que corresponde a una desgasificación de origen mantélico, cuyo flujo puede disolverse en un reservorio geotermal intermedio, para luego volver a exsolverse, seguir su ascenso, y disolverse en acuíferos confinados o llegar hasta la superficie a través del sistema regional de fallas.

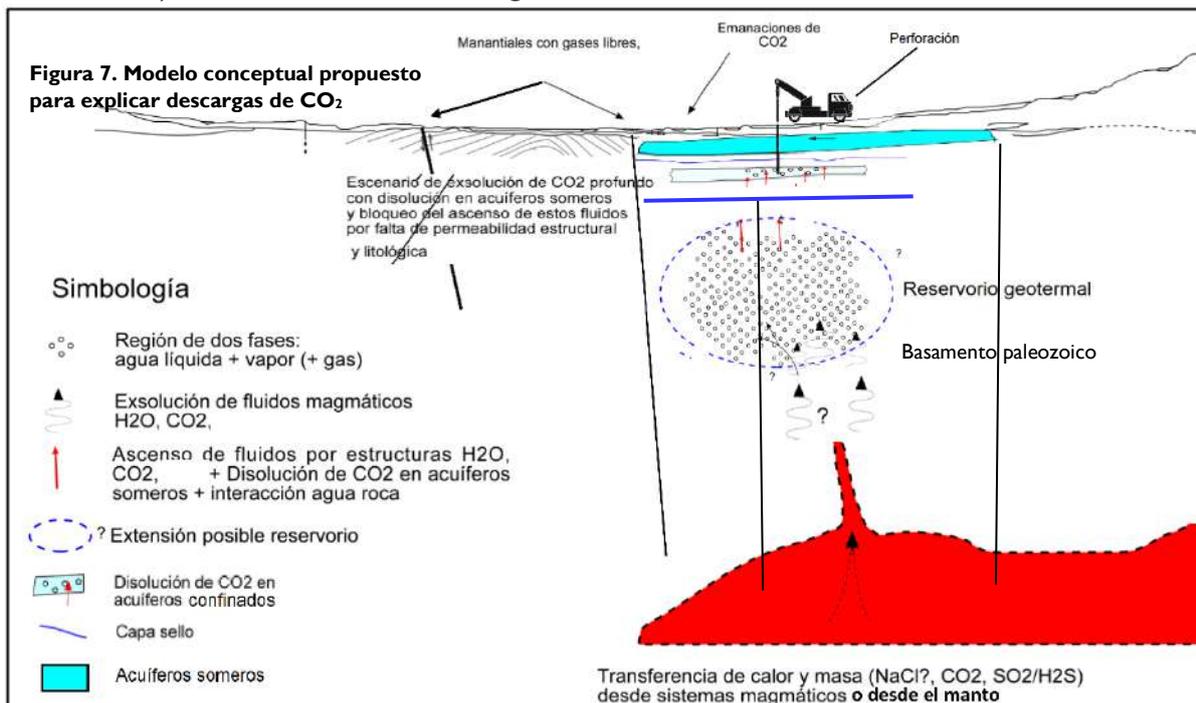
El CO₂ probablemente se exsuelve desde ese reservorio por procesos de ascenso y disminución de presión a través de estructuras preferenciales (fallas) existentes en el

basamento paleozoico, así como también por procesos de ebullición. El ascenso de estos gases desde un reservorio hidrotermal serían los responsables de elevar la temperatura en pozos y acuíferos superficiales, de las manifestaciones hidrotermales y de las alteraciones de minerales (cobalto y manganeso y costras ferromanganesíferas) encontradas en superficie (Crespo Zamorano, 1993 y Poblete Piedrabuena, 1994).

Si el flujo ascendente de CO₂ desde el reservorio es interceptado por acuíferos, a menores condiciones de presión, el CO₂ que es muy reactivo puede interactuar con la roca encajante (Giggenbach *et al.*, 1997), haciendo más eficiente el proceso de disolución de esas rocas en agua y propiciando la formación de HCO₃ como producto. En este proceso de disolución, se consume una parte importante del flujo de CO₂ profundo, generando altas concentraciones de bicarbonato en el agua subterránea cuando se dispone de tiempos suficientes para favorecer la interacción agua-roca, tal y como como se reconoce en los acuíferos calatravos (Benítez-Navío y Pulido-Bosch, 2010; López Gutiérrez y Mejías Moreno, 2011). En consecuencia, las aguas

subterráneas bicarbonatadas del Campo de Calatrava pueden interpretarse en parte como producto de la disolución de CO₂ mantélico en los acuíferos, lo que debe afectar al flujo de CO₂ que puede verse disminuido en cantidad en su ascenso a superficie por efecto de esa disolución en esas aguas subterráneas.

Los valores más elevados de flujo de CO₂, sin mediar la intervención del hombre con sondeos y pozos, están asociados a manantiales termales y a un caso de salida de CO₂ sin agua (La Sima de Granátula de Calatrava), presentando todos ellos una distribución alineada, con una atenuación espacial de la señal de CO₂ en dirección perpendicular a su lineamiento (Elío *et al.*, 2015). Estos datos son característicos de conductos alineados en accidentes tectónicos, no siendo un flujo representativo realmente de emisiones difusas, en sentido estricto, sino que estaría controlado por fallas y fracturas semiactivas que permiten su ascenso. Que los valores anómalos se registren mayoritariamente en manantiales termales o hervideros indicaría que estos flujos (aguas y gases) ascienden a través de esas estructuras tectónicas semiactivas.



Modificado de AURUM-EASA (2011) y Navarrete Calvo (2012). Basado en el modelo de Henley & Ellis (1983).

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA 2022

Organizadores:

Dr. Silvino Castaño Castaño
Hidrogeólogo
Dr. Alberto Celis Pozuelo
Historiador y Geógrafo
Dr. Rafael Ubaldo Gosálvez Rey
Maestro de E. Primaria y Geógrafo

Autores de la Guía:

Dr. Rafael Ubaldo Gosálvez Rey
Maestro de E. Primaria y Geógrafo
Dra. Estela Escobar Lahoz
Geógrafa
Dr. Rafael Becerra Ramírez
Geógrafo
Dra. Elena González Cárdenas
Geógrafa

AGRADECIMENTOS

- Excmo. Ayuntamiento de Ciudad Real
- Excmo. Ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava
- Excmo. Ayuntamiento de Carrión de Calatrava
- Calatrava Parque Cultural
- Proyecto de Geoparque “Volcanes de Calatrava. Ciudad Real”
- Universidad de Castilla-La Mancha

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, a las circunstancias meteorológicas o de la evolución de la Covid-19, incluso a suspenderlo si fuera necesario.

La organización no dispone de 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. Los asistentes cumplirán con las recomendaciones marcadas a la fecha para minimizar los riesgos de la covid-19.

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.
- 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
- Calvo, D., Barrancos, J., Padilla, G., Brito, M., Becerra Ramírez, R., Gosálvez Rey, R.U., González Cardenas, E., Escobar Lahoz, E., Melián, G., Nolasco, D., Padrón, E., Marrero, R., Hernández, P.A. y Pérez, N. 2010: Emisión difusa de CO₂ en 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*, pp. 51-56. Centro de Estudios Calatravos, Ciudad Real.
- 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.
- Crespo Zamorano, A. 1993: *Geología, mineralogía y génesis de los yacimientos de manganeso cobaltífero del Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Tesis Doctoral, UCM, Madrid.
- 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.
- Elío, J., Ortega, M.F., Nisi, B., Mazadiego, L.F., Vaselli, O., Caballero, J. y Grandi, F. 2015: CO₂ and Rn degassing from the natural analog of Campo de Calatrava (Spain): Implications for monitoring of CO₂ storage sites. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 32:1-14.
- 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.
- 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 (Almódovar, Puertollano y Calzada) en relación con el volcanismo reciente*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), Madrid.
- Giggenbach, W. 1997: The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal Systems, en Barnes, H.L. (ed.). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, pp. 737-796. 3th Edition, John Wiley and Sons Inc. Publication.
- 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.
- Henley, R.W. y Ellis, A.J. 1983: Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Reviews*, 19(1):1-50.
- Iniesta Castillo, P. 2017: *El medio natural de la Laguna de la Inesperada (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real)*. Trabajo Fin de Grado. UCLM, Ciudad Real.
- Iniesta Castillo, P. y Gosálvez Rey, R.U. 2018: Mapa de formaciones vegetales del Humedal Ramsar Laguna de La Inesperada (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real, España), en Gosálvez Rey, R.U., Díaz Sanz, C., García Rayego, J.L., Serrano de la Cruz Santos-Olmo, M.A.A y Jerez García, O. (coords.) *Bosque mediterráneo y humedales: paisaje, evolución y conservación: aportaciones desde la Biogeografía*, Tomo I, pp. 455-464.
- INVOLCAN/GEOVOL. 2011. *Caracterización de la emisión de CO₂ a la atmósfera por el "géiser" de Bolaños de Calatrava*. Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN) y Grupo de Investigación GEOVOL, Tenerife.
- López Gutiérrez, J. y Mejías Moreno, M. 2011: *Informe sobre las características geológicas e hidrogeológicas en el entorno de la surgencia de agua subterránea, en el término municipal de Bolaños de Calatrava (Ciudad Real)*. Inédito. IGME, Madrid.
- 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
- Melero, D. 2007: *Ciudad Real, tierra de hervideros, fuentes y baños de aguas minero-medicinales*. Ciudad Real, España: Ed. Diputación Provincial Ciudad Real.
- 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.
- Moore, J.G. 1967: Base surge in recent volcanic eruptions. *Bulletin of Volcanology*, 30, 335-363.
- Navarrete Calvo, A.A. 2012: *Origen y comportamiento del CO₂ difuso del suelo en los sistemas geotérmicos de Juncalito (68°55'50"-8°38'20"W y 26°25'-26°31'30"S, región de Atacama) y Colpitas (69°29'30"-69°23'30"W y 17°50'30"S-18°S, región de Arica y Parinacota), Chile*. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología (Universidad de Chile). Santiago de Chile.
- Nisia, B, Vaselli, O., Elio, J., Giannini, L., Tassi, F., Guidi, M., Darrah, T.H., Maletic, E.L., Delgado Huertas, A. y Marchionni, S. 2019: The Campo de Calatrava Volcanic Field (central Spain): Fluid geochemistry in a CO₂-rich area. *Applied Geochemistry*, 102:153–170
- 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.
- Rincón Calero, P.J. 1999: *Análisis de la deformación incidente durante el periodo neotectónico en el antepaís bético (España Central): Implicaciones morfoestructurales y origen del vulcanismo reciente del Campo de Calatrava (contrastación con otros entornos ígneos)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Sheridan, M.F. y Wohletz, K.H. 1981: Hydrovolcanic explosions: the systematics of water-pyroclast equilibrium. *Science*, 212, 1387-1389.
- Vaselli, O., Nisi, B., Tassi, F., Darrah, T., Bruno, J., Elio, J.M., Grandia, F. y Perez del Villar, L. 2013: Gas discharges for continental Spain: geochemical and isotopic features. *Mineralogical Magazine*, 77 (5), 2401.
- 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 2022



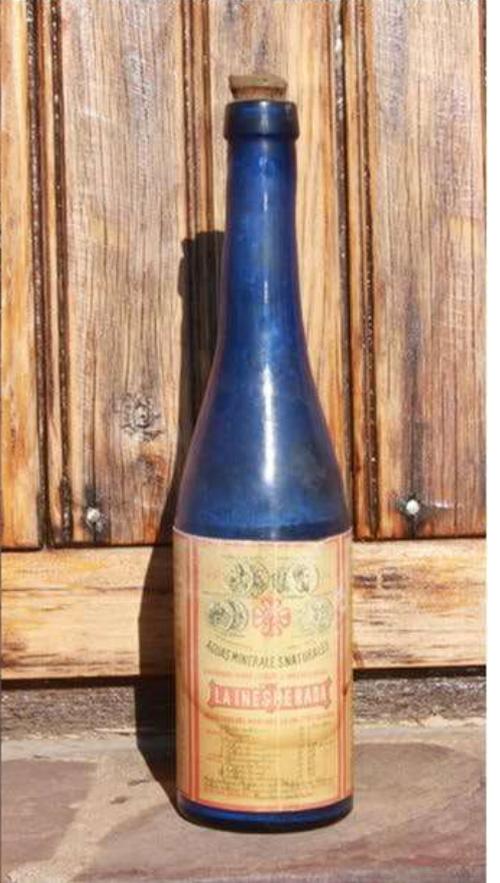
NOTAS

HIDROGEODÍA 2022

**HIDROGEODÍA
2022**

**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

Ciudad Real



ORGANIZAN:   **Universidad de
Castilla-La Mancha**

COLABORAN:      

HIDROGEO DÍA

2022



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

"LA SIERRA DE LOS POLLOS, UN VERGEL EN TIEMPOS DE SEQUÍA"

RUTA GUIADA GRATUITA

26 de marzo 2022 (10:00h)

Recorrido circular con una duración aproximada 3 horas

Adaptado para público infantil

Punto de encuentro: Plaza de España
(frente al Ayuntamiento de CARCABUEY)

Más información: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

Inscripción:

CLICK AQUÍ 

o escanee



ORGANIZA Y
COLABORA:



Ayuntamiento de
Carcabuey



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!



As traídas ao carón da ría



Concello de Vilaboa (Pontevedra) 26 de marzo de 2022

AUTORAS: Acacia Naves García-Rendueles. Universidades da Coruña
Eva Álvarez Expósito. COXAPO



Concello de Vilaboa



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

EL HIDROGEODÍA

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

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

El hidrogeodía se celebra en fin de semana más próximo a la celebración del Día Mundial del Agua (22 de marzo) con la intención de dar visibilidad a las aguas subterráneas, de las que existe escaso conocimiento entre la población general y que representan en torno al 20% del agua dulce del planeta. Este año 2022 en concreto, la fecha elegida es especialmente adecuada ya que las Naciones Unidas han decidido dedicar el Día Mundial del Agua a las aguas subterráneas con el lema “Haciendo visible lo invisible”.

La actividad se celebra en varias provincias españolas desde 2017. Esta edición se celebra simultáneamente en 21 puntos de la geografía española, en Andorra y en dos países iberoamericanos, Chile y Guatemala.

El hidrogeodía se celebra en Galicia desde 2017 organizado por el grupo de

investigación AQUATERRA de la Universidade da Coruña con la colaboración de otras entidades. La actividad se retoma en 2022, tras dos años de interrupción por la pandemia del COVID-19.



2022 Aguas subterráneas



Promoción del Día Mundial del Agua 2022

IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN GALICIA PARA EL ABASTECIMIENTO

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

excavados poco profundos y pozos de barrena de entre 20 y 80 m de profundidad.

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

En la actualidad, si bien se han ido creando sistemas de abastecimiento municipal en algunas poblaciones, estos sistemas autónomos continúan siendo mayoritarios en el rural. La dispersión de la población en muchas áreas hace que un sistema de abastecimiento centralizado requiera una gran inversión inicial para la construcción de la infraestructura y unos costes de mantenimiento que lo hacen insostenible desde un punto de vista económico. Por otro lado, muchos de los vecinos prefieren mantener su sistema autónomo al resultar más barato el servicio y no ver que la conexión a la red municipal represente ninguna mejora.

Este es el caso del municipio de Abegondo (A Coruña), cuyo abastecimiento de agua ha sido analizado en el marco de un proyecto europeo Life Rural Supplies del programa LIFE+, en el que sólo el 40% de la población está conectado al sistema de abastecimiento municipal del 90% al que podría dar servicio. Además, gran parte de las viviendas conectadas mantiene pozos o conexión a traídas vecinales para complementar el servicio y abaratar algunos usos como el riego de jardines o el llenado de piscinas.

El medio geológico está dominado en Galicia por rocas graníticas y metamórficas, como granitos o esquistos, que tradicionalmente se han considerado casi impermeables o de muy baja permeabilidad. Los recursos hídricos subterráneos se han considerado por ello escasos en la estimación de recursos y han sido descuidados en la planificación y gestión de las cuencas. Sin embargo, el uso tradicional de las aguas subterráneas poco profundas demuestra que la roca meteorizada y fracturada almacena un volumen de agua significativo que no debe ser ignorado. Los escasos estudios de los recursos hídricos subterráneos en Galicia estiman que la recarga se sitúa entre el 8 y el 20% de la tasa de precipitación (900-2500 mm/año).

Los recursos en general son más que suficientes para el abastecimiento de la población dispersa en el rural y los problemas de garantía de suministro observados en este tipo de

abastecimientos suelen estar más relacionados con las deficiencias de diseño y gestión de las infraestructuras que con la disponibilidad de recursos.

COXAPO

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

El origen de COXAPO está en el abastecimiento comunitario de agua de Estás (Tomiño), construido y puesto en funcionamiento en los años 70 del siglo XX. Esta experiencia y otras de carácter empresarial de los miembros de la junta de aguas generaron conocimientos para el asesoramiento informal a otros sistemas sobre el uso del agua, el control de la calidad del agua y cuestiones administrativas y legales. Desde 2006, las comunidades de usuarios trabajan juntas en una asociación que les ayuda a gestionar sus sistemas. La asociación creció fuertemente a partir de 2010 al darse a conocer en toda Galicia actuando como interlocutor con la Xunta de Galicia, representando a los sistemas privados de abastecimiento rural en la oposición a la implantación de una nueva tasa (el canon del agua). Actualmente, 150 sistemas de abastecimiento autónomos

en Galicia dan servicio a cerca de 70,000 habitantes.

O HIDROXEODÍA 2022

El hidroxedía en Galicia, O hidroxedía, tendrá lugar en Vilaboa, en la provincia de Pontevedra, el 26 de marzo de 2022.



Ubicación del Concello de Vilaboa (Pontevedra) (www.wikipedia.org).

La actividad comenzará con una **charla-taller sobre el agua subterránea en Galicia y en el entorno de la ría de Vigo**. Esta actividad estará dirigida por la ingeniera e hidrogeóloga Acacia Naves profesora e investigadora en la Universidade da Coruña. Se intentará dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el volumen de recursos hídricos subterráneos en la zona y cómo puede verse afectado por el cambio climático?

- ¿Qué tipos de acuíferos se pueden encontrar en la zona y cómo circula el agua a través de ellos?
- ¿Qué es una falla y qué papel tienen en la circulación del agua subterránea?
- ¿Por qué aparecen los manantiales y en qué lugar podrían encontrarse en el entorno de Vilaboa?
- ¿Cuáles son los principales problemas de calidad de agua en la zona?
- ¿Cómo proteger nuestro recurso?

A continuación, Eva Álvarez técnica de COXAPO realizará una **presentación de las traídas de Vilaboa** describiendo cada una de ellas, mostrando fotos y comentando sus principales problemas de operación, mantenimiento y gestión.



Taller de aguas subterránea en Galicia.

A continuación, se realizará una **visita al Chan de Arquíña y al Miradoiro Candón Grande** para la observación de la topografía, la geología y la situación de los manantiales en la ría de Vigo. Esta actividad estará dirigida por Rafael

Carrera de COXAPO y Francisco Costa del Concello de Vilaboa.



Miradoiro Candón Grande.

Por último, se realizará una **visita a las instalaciones de una de las traídas vecinales de Vilaboa** dirigida por Rafael Carrera (COXAPO) y los miembros de su junta directiva.

AGENDA

11:30 Inauguración de la actividad

- Rafael Carrera, Secretario de COXAPO
- Joaquín Posa, Presidente de COXAPO
- César Poza, Alcalde de Vilaboa

11:45 Obradoiro “As augas subterráneas e as traídas veciñais”.

Acacia Naves, Universidade da Coruña.

12:30 Presentación de las traídas vecinales del entorno de Vilaboa.

Eva Álvarez, COXAPO.

13:00 Visita de Campo.

Rafael Carreira, COXAPO

Francisco Costa, Concello de Vilaboa

Xunta Directiva da traída Palmas-Costa

¿DÓNDE Y CÓMO LLEGAR?

La primera parte de la actividad se comenzará a las 11:00 en:

**Casa Cultural de Ríomaior
Cobres, Vilaboa (Pontevedra)**



Casa cultura de Ríomario (Vilaboa)

Para llegar se ha de tomar la **carretera N-554** que une la carretera N-550 (A Coruña-Tui) a su paso por Vilaboa con el cruce situado en Domaio (Moaña), al que se accede desde la autovía AP-9, el corredor del Morrazo (CG-4.1) y la carretera PO-551 desde Cangas.

En la N-554 se ha de tomar un **desvío** a la altura del lugar de O Costal en **dirección "Muiño/Paradellas"**.

El edificio se encuentra a la izquierda tras pasar bajo un viaducto de la autovía. **Frente al edificio hay un espacio amplio de aparcamiento gratuito.**

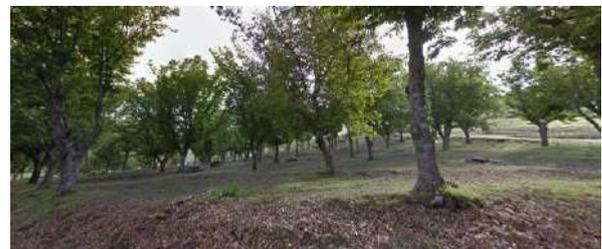
Coordenadas UTM (Google Maps):
42.3240°, -8.6563°

La visita de campo saldrá a las 13:00 de delante del edificio y se realizará en una caravana de coches particulares, siguiendo a los organizadores.

1ª parada: Chan de Arquíña

La distancia es de unos 11 Km (15-20 minutos) y habrá espacio suficiente para aparcar.

Coordenadas UTM: 42.3197°, -8.6974°



2ª parada: Miradoiro Candón Grande

Se subirá caminando en grupo hasta el Miradoiro Candón Grande desde el Chan de Arquíña. La distancia a recorrer será de menos de 4 km.

Coordenadas UTM: 42.3189°, -8.6932°

3ª parada: Depósitos de la traída de agua vecinal de Palmas-Costa

En la bajada se parará a ver las instalaciones de una traída de agua vecinal.

Coordenadas UTM: 42.2938°, -8.6936°



CONSIDERACIONES GENERALES

Se trata de una actividad gratuita dirigida al público general.

No se requieren conocimientos previos de geología ni hidrogeología.

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

El transporte se realizará en vehículos privados.

No se requiere gran estado de forma para realizar el recorrido, pero **para la visita de campo es necesario caminar a unos 4 kilómetros con cierto desnivel**. El recorrido no tiene dificultad técnica, ya que se realiza por una pista forestal.

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

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

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

AGRADECIMIENTOS

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

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

Este año, damos especialmente las gracias a **las comunidades de aguas de Vilaboa** por ofrecerse para realizar la actividad y al **Concello de Vilaboa** por acogernos, cedernos las instalaciones y la asistencia del Alcalde a la jornada.



Vémonos en Vilaboa!

GRANADA



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

27 de marzo 2022
**ARQUITECTURA DE AGUA
EL BALNEARIO DE ALICÚN Y EL
ACUEDUCTO DEL TORIL**

COLABORAN:





EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), y ha sido organizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC) y la Diputación Provincial de Granada en el marco del Convenio de Colaboración existente entre ambos organismos, con la colaboración de: Geoparque de Granada, Instituto del Agua de la Universidad de Granada, Conoce Tus Fuentes, Universidad de Jaén, Balneario de Alicún de las Torres y AQUAconsultores. La jornada consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por especialistas en hidrogeología y otras especialidades.

En la provincia de Granada, el Hidrogeodía 2022 se celebra en **el entorno de los manantiales termales de Alicún de las Torres**. Se llevará a cabo una visita guiada por la ruta de los manantiales y el Acueducto del Toril. Se han previsto 7 paradas temáticas desde las que se podrán observar:

- 1) **Los manantiales termales de Alicún de las Torres.**
- 2) **Vista general del valle del Fardes y de la Depresión de Guadix**
- 3) **Plataforma superior de travertinos y dólmenes sobre la misma.**

- 4) **El Acueducto del Toril, plataformas intermedia e inferior de travertinos y dolmenes sobre la plataforma intermedia.**

ITINERARIO

El punto de partida será el aparcamiento del Balneario de Alicún de las Torres. El itinerario se hará a pie siguiendo las distintas paradas previstas, donde diferentes guías especialistas realizarán las explicaciones.



Figura 1. Punto de encuentro en aparcamiento del Balneario.

Recepción. La organización de los grupos y de los horarios de la ruta se realizará en una zona cercana a los aparcamientos principales, junto a la entrada a la piscina exterior del balneario.

Parada 1. Se visitará una de las surgencias de agua subterránea localizada cerca del balneario denominada la Fuente de la Magnesia. Allí se dará una primera explicación sobre los aspectos históricos del Balneario de Alicún y se explicará la relación de las fallas con el nacimiento del agua en esta zona.

Parada 2. Consistirá en una ruta por una zona llana y elevada constituida por

travertinos (rocas formadas por la precipitación de carbonato cálcico sobre restos de plantas), donde se explicará la geología general de la Cuenca de Guadix-Baza y el origen de la surgencia de los manantiales de Alicún de las Torres.



Figura 2. Muro formado por los crecimientos de carbonato cálcico asociados al acueducto del Toril que crecen sobre la plataforma intermedia de travertinos. Detrás, a la izquierda de los pinos se observa la plataforma inferior de travertinos y, en primer término, la plataforma superior desde donde se ha realizado la fotografía.

Se visitarán los dólmenes de la plataforma superior y una rápida introducción al contexto prehistórico de la zona.

Parada 3. Desde uno de los miradores situados en la plataforma superior de travertinos se explicarán aspectos relacionados con estas formaciones rocosas y sobre cuándo y cómo se formaron las tres plataformas que se observan.

La **Parada 4.** En esta parada se explicarán algunos aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos relacionados con las surgencias de agua termal que es aprovechada para uso terapéutico en el balneario. Se explicarán aspectos relacionados con la procedencia del agua, la forma en la que ha circulado por los acuíferos y la adquisición de sales durante su recorrido, que han dado lugar a sus especiales características, a la construcción de los edificios travertínicos asociados y al muro que constituye el acueducto.

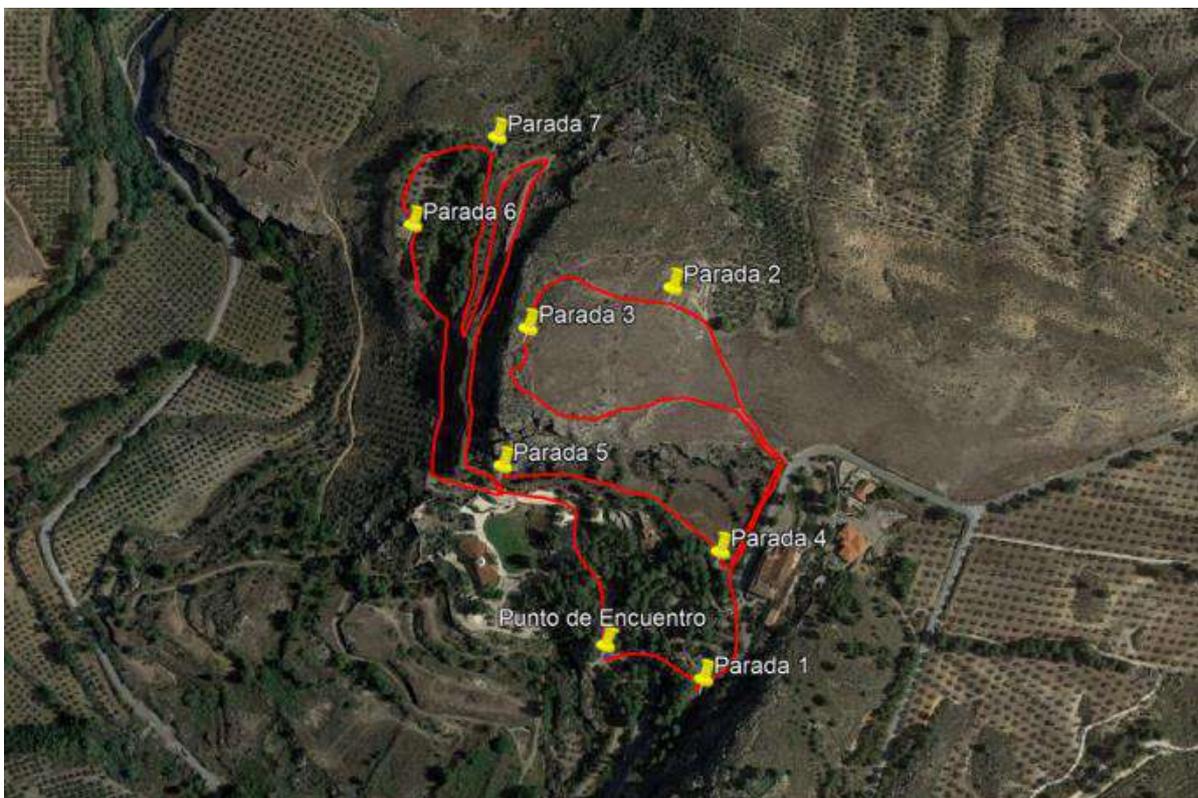


Figura 3. Recorrido a realizar y situación de las paradas.

Se continuará el recorrido a lo largo de la muralla natural de carbonato cálcico que ha construido el agua que circula por el acueducto, hasta llegar al punto de inicio de la misma donde se realizará la siguiente parada.

Parada 5. En esta parada se podrán observar los crecimientos de carbonato cálcico asociados al acueducto y que le proporcionan su morfología característica similar a una muralla que nos acompañarán durante buena parte del trayecto. Se realizará una explicación sobre el Acueducto del Toril, su significado, edad y forma en la que ha crecido a lo largo del tiempo.



Figura 4. Precipitación de carbonato cálcico en las paredes del acueducto del Toril fosilizando las plantas que las recubren.

El crecimiento vegetal en los muros hace que se forme un auténtico jardín vertical. En esta parada también se explicarán los tipos de plantas que crecen en las paredes y los endemismos existentes.

Parada 6. Dólmenes inferiores. En esta zona situada junto al Acueducto del Toril se encuentran varios de los dólmenes de mayor tamaño. Se explicarán aspectos relativos a su uso como zonas de enterramiento colectivo.

Parada 7. Tendrá como objetivo el Acueducto del Toril en su parte final donde se podrá observar la denominada cascada verde, que debe su nombre a crecimientos de algas que producen precipitaciones de

carbonatos de llamativo color verdoso. Aquí también se podrán observar los tramos fósiles del acueducto y se hablará sobre su significado.

Finalmente se recorrerán los pasillos que dejan los tramos activos y fósiles de los canales para finalmente volver hacia el punto inicial de encuentro.



Figura 5. Distintos crecimientos travertínicos asociados a los canales del Acueducto del Toril.



Figura 6. La Cascada verde. Su característico color se debe a crecimientos de algas en la base del canal.

LA DEPRESIÓN DE GUADIX-BAZA

El manantial de Alicún de las Torres se localiza en la parte occidental de la Depresión de Guadix-Baza. Esta Cuenca es una depresión intramontañosa de origen tectónico que quedó individualizada en el sector central de la Cordillera Bética durante el Mioceno superior (hace unos 8 m.a.). Entre los sedimentos continentales predominan los asociados a sistemas fluviales (ríos) procedentes de los relieves circundantes en la parte occidental de la cuenca, y sedimentos depositados en un gran lago en la parte oriental. Estos sedimentos continentales tienen una edad comprendida entre 6 m.a. y



Figura 7. Dominios geológicos de la Cordillera Bética.

0,5 m.a.

Dentro de los sedimentos fluviales es posible distinguir cantos procedentes de las rocas que forman los relieves subbéticos (zonas externas de la cordillera; situadas al Norte) así como cantos de rocas metamórficas pertenecientes a los relieves Béticos de Sierra Nevada y Sierra de Baza (zonas internas; situadas al Sur).

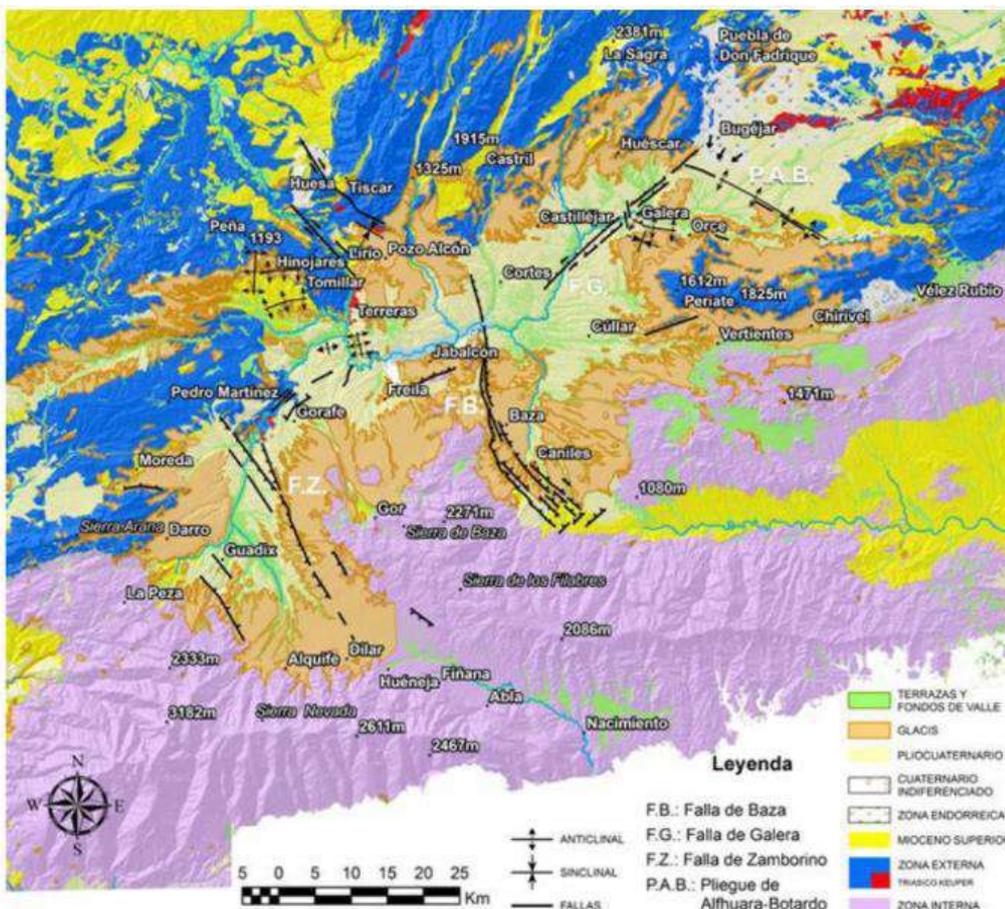


Figura 8. Contexto geológico de la Depresión de Guadix-Baza (García Tortosa et al., 2008)

El relieve actual de la Cuenca de Guadix-Baza está caracterizado por una intensa actividad erosiva, que ha dado lugar a la formación de multitud de barrancos y a un paisaje muy característico denominado *badlands*. Este proceso erosivo es consecuencia del cambio en la dinámica fluvial que se produjo hace unos 0,5 m.a. (Pleistoceno medio). En ese periodo, el drenaje de los ríos pasó de ser de tipo endorreico a exorreico, es decir, los ríos

dejaron de desembocar en un gran lago localizado en la parte oriental de la cuenca para hacerlo en el Océano Atlántico, como lo hacen hoy día, al conectarse con la cuenca hidrográfica del Guadalquivir.

Durante el tiempo en el que se depositaron los sedimentos cuaternarios quedaron fosilizados en los mismos restos de la fauna de macromamíferos que caracterizan el Cuaternario. Hoy día se conocen más de 150 yacimientos de estos fósiles dispersos por toda la depresión.

La erosión posterior que ha generado el paisaje actual nos ha permitido descubrir muchos de ellos, algunos actualmente en estudio. Este hecho ha convertido a esta zona en uno de los mejores conjuntos de yacimientos paleontológicos de megafauna del mundo, que incluye también a los restos humanos más antiguos de Europa occidental.

manantiales termales pero con mucho menor caudal y menor temperatura del agua.

El caudal drenado por el conjunto de manantiales termales del Cerro de la Raja es



Figura 9. Sedimentos de relleno de la cuenca de Guadix intensamente erosionados (badlands). Los tonos asalmonados corresponden a sedimentos fluviales transportados por los ríos subbéticos, los anaranjados a los transportados por los ríos Béticos y los grisáceos a sedimentos de tipo palustre y lacustre depositados bajo lámina de agua.

EL MANANTIAL DE ALICÚN DE LAS TORRES

En el borde norte de la parte occidental de la cuenca de Guadix-Baza, aparece un conjunto aislado de relieves carbonatados de edad jurásica parcialmente recubiertos por sedimentos más recientes (neógenos y cuaternarios).

El conjunto de afloramientos alcanza una superficie de unos 17 km². El de mayor superficie es el Cerro del Mencal, que se caracteriza, como la mayoría de ellos, por la inexistencia de manantiales asociados. La excepción es el Cerro de la Raja, de tan solo 0,4 km² de extensión, donde se localizan los manantiales



Figura 10. Afloramiento de carbonatos jurásicos del Cerro de la Raja, surgencias de aguas termales asociadas, plataformas de travertinos y Acequia del Toril.

termales de Alicún de las Torres, y el Cerro de Alicún, donde hay

el dato peor conocido, pues nunca ha existido un control sistemático. Los distintos trabajos consultados citan caudales medios de 80-90 l/s, pero se desconoce su evolución temporal.

Las características físico-químicas e isotópicas de las aguas han sido mucho más estudiadas. Las aguas termales de los Baños de Alicún son sulfatadas cálcico-magnésicas, con un

procedentes de acuíferos más superficiales.

Los análisis de los isótopos del hidrógeno y del oxígeno del agua nos indican que el agua del manantial se corresponde con aguas infiltradas a cotas de unos 1400 m de altitud. Este dato es coherente con el hecho de que el agua se infiltre en los relieves carbonatados de la zona occidental de la Sierra de Baza, pero también en otros relieves subbéticos.



Figura 11. Modelo de crecimiento de precipitados de carbonato cálcico en el Acueducto del Toril y en las plataformas de travertinos asociadas a los Baños de Alicún.

elevado contenido en sulfato (900-1100 mg/l), de 80-90 mg/l en cloruro y 1950 mg/l de sales disueltas.

El estudio de la evolución del agua en los acuíferos circundantes sugiere la relación de esta surgencia con el acuífero de la Sierra de Baza, área donde se infiltraron originalmente las aguas que luego surgen por el manantial, pero este origen aún está en discusión.

La temperatura del agua en los manantiales es de 33-34°C. Sin embargo, gracias a la modelización de fases de los minerales disueltos sabemos que la temperatura del agua en el reservorio del que procede es de 53-58°C, por lo que el agua ha circulado a unos 600-800 m de profundidad. Su enfriamiento se produce durante el ascenso hacia la superficie y debido a su mezcla con otras aguas

Además, indican que el agua procede fundamentalmente de agua de lluvia de frentes de origen Atlántico. Estos datos también ponen de manifiesto la inexistencia de variaciones estacionales del caudal

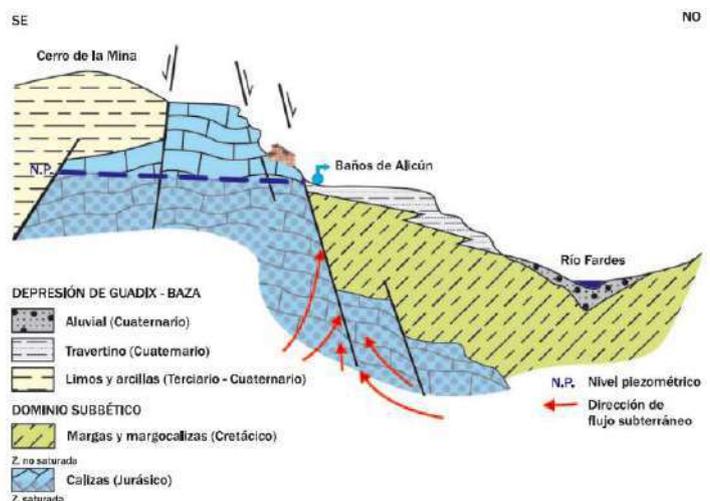


Figura 12. Esquema de funcionamiento hidrogeológico del manantial de Alicún de las Torres (modificado de Diputación de Granada-IGME, 2006).

drenado por el manantial, lo que nos indicaría se trata de aguas confinadas, que circulan sometidas a presión bajo niveles impermeables, posiblemente de mucha antigüedad.

sales que lleva en disolución en forma de carbonato cálcico.

Estos precipitados se producen en zonas agitadas, donde el agua discurre con velocidad y la vegetación es abundante.



Figura 13. Acueducto del Toril y entorno de los Baños de Alicún. Al fondo el Cerro de la Raja. En primer término, la plataforma superior de travertinos

LAS PLATAFORMAS DE TRAVERTINOS

El agua termal empezó a manar en el Cerro de la Raja hace al menos 216.000 años y su evolución a lo largo del tiempo ha dado lugar a la formación de tres plataformas escalonadas formadas por precipitados de carbonato cálcico que previamente el agua llevaba en disolución. En el momento en el que las aguas del manantial de Alicún de las Torres surgen a la superficie, finalizando su largo 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

Como consecuencia, los precipitados envuelven los tallos y ramas de las plantas fosilizándolas. El momento en el que se forman los cristales de calcita se puede datar gracias a que incorporan pequeñas cantidades de uranio, que es inestable y que se descompone siempre a un ritmo constante. Si se mide el producto de esta descomposición (el torio) en relación con el uranio que queda, se puede conocer la edad a la que se formaron estas plataformas de travertinos. Los estudios realizados han puesto de manifiesto que la plataforma que se encuentra más elevada tiene una edad comprendida entre 216.000 y 122.000 años. La estimación de la edad de la plataforma intermedia es más problemática, puesto que la acequia del Toril ha discurrido y discurre actualmente por su superficie, y pudo haber formado precipitados en la parte superficial de la plataforma mucho más modernos.

Los estudios más recientes proponen edades entre 25.000 y 5.000 años para la plataforma

intermedia, sin embargo, estudios previos le asignaron una edad entre 33.000 y 32.000 años. Teniendo esto en cuenta se puede asignar una edad de entre 33.000 y 5.000 años. En la plataforma inferior las dataciones son más coherentes, y dan edades entre 70.000 y 36.000 años. De todo esto pueden deducirse cambios en la localización de los puntos principales de surgencia a lo largo del tiempo. Posiblemente, la posición actual de los manantiales que dan lugar a los baños apareció hace unos 33.000 años, modificando las direcciones del flujo del agua en superficie y, por tanto, las zonas de crecimiento de las plataformas de travertinos. Esto explicaría por qué la terraza intermedia es más moderna que la inferior.

EL ACUEDUCTO DEL TORIL

Actualmente, buena parte del agua que surge por los manantiales termales es conducida por un acueducto, en un trayecto que discurre bajo la plataforma superior de travertinos y sobre la plataforma intermedia. Lo extraordinario de esta acequia es que inicialmente su toma estaba varios metros por debajo de su cota actual. Sin embargo, el paulatino crecimiento de carbonato cálcico en el cauce, consecuencia de las especiales características físico-químicas del agua, ha hecho que el acueducto se haya sobreelevado hasta casi nivelar el punto de toma, y que en algunas zonas se haya formado un muro de hasta 15 m de altura por encima del cual discurre actualmente el agua. Dicho muro, además de un acueducto construido por la naturaleza (el ser humano solo ha ayudado a su mantenimiento a lo largo de varios milenios) puede también considerarse un jardín vertical, pues la porosidad de la roca tobácea que lo forma permite que esté siempre empapado y que crezcan

comunidades de plantas perfectamente adaptadas a la salinidad y temperatura de estas aguas. Uno de los endemismos que crecen en este jardín vertical es el *Limonium Alicunense*, reconocible por sus pequeñas flores violáceas.



Figura 14. Crecimiento de comunidades vegetales en las paredes del Acueducto del Toril.



Figura 15. *Limonium Alicunense*, endemismo asociado al agua termal de los Baños de Alicún y al Acueducto del Toril.

En cuanto a la edad a la que empezaron a desviarse las aguas por el acueducto, solo existen dataciones de los tramos fósiles, que aportaron edades comprendidas entre 3.660 y 2.660 años.

Por último, la utilidad del acueducto es todavía un misterio sin resolver. Debido a la elevada salinidad del agua no es apta su utilización en el regadío y tampoco existen

restos arqueológicos en la zona final de los canales que aporte luz sobre un posible uso ceremonial



Figura 16. Tramo de acueducto fósil, que pudo funcionar como aliviadero o como un antiguo canal abandonado.

LOS BAÑOS DE ALICÚN

El balneario fue declarado de utilidad pública el 20 de julio de 1869 y publicado en la Gaceta de Madrid en 1870. Sin embargo, se ha documentado el uso de sus aguas desde el siglo III y su continuación durante la etapa musulmana. En este primer periodo, las instalaciones existentes se limitarían a una alberca al aire libre. Hasta el siglo XVIII el balneario se mantuvo en periodo de semi-abandono. Sin embargo, en 1811, existían instalaciones capaces de albergar a 120 personas con un edificio cuadrangular que incluía comedor, salas de baile y casino. Actualmente dispone de hotel y un complejo de piscinas, restaurante y barbacoas.

Desde enero de 2008 tiene denominación de Bien de Interés Cultural debido a la zona arqueológica de su entorno.



Figura 17. Instalaciones del Balneario de Alicún

LOS YACIMIENTOS PREHISTÓRICOS

En el entorno de las surgencias de aguas termales de Alicún se ha documentado un rico conjunto de yacimientos arqueológicos. Diversos autores han estudiado las evidencias de monumentos megalíticos y han descrito emplazamientos calcolíticos y paleolíticos.

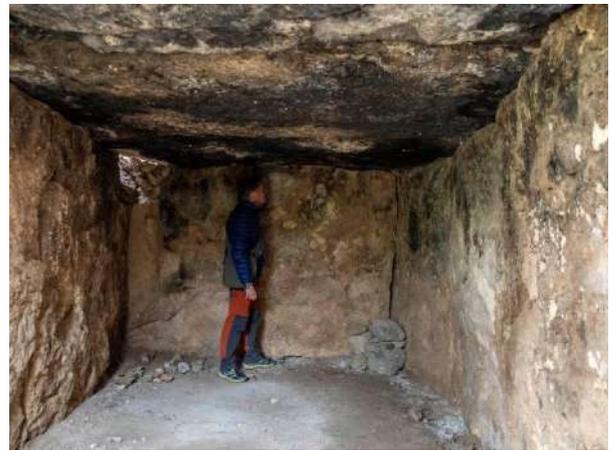


Figura 18. Interior de uno de los dólmenes localizados en el entorno de los manantiales de Alicún de las Torres.

Se han documentado en la zona un total de 238 dólmenes, aunque en la actualidad solo se conservan 142. En el entorno más cercano del manantial de Alicún y del Acueducto del Toril se han descrito 15 megalitos, de los que actualmente se conservan 10 de ellos. Estos sepulcros tienen, por lo general, forma trapezoidal o rectangular, con un corto corredor de entrada. Son construcciones de unos 3,5 m longitud, de pequeñas dimensiones, formadas por bloques de rocas calizas o conglomerados y, en su mayoría, orientados hacia el sur o hacia el este.

Existen además cuatro grandes piedras con diversos petroglifos que se localizan en la cima del Cerro de la Mina, al SE de los manantiales y a escasa distancia. Inicialmente, estos grabados fueron interpretados como zonas de culto con una edad entre 2000 y 2300 años. Sin embargo, actualmente se considera que podrían ser de época histórica relacionadas con la cristianización de lugares con simbolismos paganos.



Figura 19. Petroglifos con símbolos cruciformes en el Cerro de la Mina, Cerca de los Baños de Alicún.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- GRANADA 2022

La visita se hará a pie siguiendo un itinerario de 2,2 km. En turnos con salidas de grupos cada 30 minutos entre las 9 y las 12 horas. El tiempo previsto para la visita serían de unas 2 ½ horas. Será necesaria una inscripción previa rellenando un formulario en el mismo punto de encuentro.

Llevar agua para beber durante el trayecto y calzado cómodo para caminar por el campo. Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc. Muy recomendable llevar cámara de fotos.

El Hidrogeodía 2022 – 6ª Edición Granada es una actividad gratuita y abierta a todo tipo de público que se realiza al aire libre. Los asistentes asumen voluntariamente los posibles riesgos de la actividad y, en consecuencia, eximen a la organización de cualquier daño o perjuicio que pueda sufrir en el desarrollo de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han apoyado y/o patrocinado el Hidrogeodía 2022-Granada: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Granada-CSIC, Diputación Provincial de Granada, Geoparque de Granada, Universidad de Jaén, Instituto del Agua de la Universidad de Granada, AQUAconsultores y al Balneario de Alicún de las Torres.

MONITORES Y GUÍAS DEL HIDROGEODÍA GRANADA 2022

Antonio González Ramón
Sergio Martos Rosillo
José Antonio Navarro García
Jorge Jiménez Sánchez
Francisco Juan García Tortosa
Ana Ruiz Constán
Gema Alcaín Martínez
Virginia María Robles Arenas
Tomás Peinado Parra
Carlos Marín Lechado
María Cristina Jiménez Escamilla
Luis Miguel Hueso Quesada
Javier Sancho Gil
José Antonio Garrido García
Antonio López Marcos
Carlos Herrera Morcillo

ELABORACIÓN DE LA GUÍA

Antonio González Ramón
Ana Ruiz Constán
Sergio Martos Rosillo
Francisco Juan García Tortosa

PARA SABER MÁS....

Azañón JM, Pérez-Peña J V, Roldán FJ, Alfaro P, Castro J, Fernández-Chacón F, García-Tortosa F, Martín Rojas I, Galve JP (2015). Itinerario 4: Procesos superficiales activos en la Cuenca de Guadix y paleosismicidad de la Falla de Baza. *Cuadernos de Campo del Cuaternario*, 2: 35-45

Fernández Chacón, F. (2009). *Contribución al conocimiento hidrogeológico de una depresión interna en clima mediterráneo semiárido*

(cabecera del Guadiana Menor, Cordillera Bética). Tesis doctoral. Univ. de Granada

García-Tortosa FJ, Alfaro P, Galindo-Zaldívar J, Gibert L, López-Garrido AC, Sanz de Galdeano C, Ureña M (2008). Geomorphologic evidence of the active baza fault (Betic Cordillera, South Spain). *Geomorphology* 97: 374-391.

Herrera C, Medina, F. (Eds) (2018). *Las piedras de agua. El Balneario de Alicún de las Torres.*

Prado Pérez, A. (2011). *El sistema termal de Alicún de las Torres (Granada) como análogo natural de escape de CO₂ en forma de DIC: implicaciones paleoclimáticas y como sumidero de CO₂* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones).

Portugal, M. T. M. (2009). *Balneario de Alicún de las Torres.* Monografías de Aguas Minerales y Minero medicinales.

NOTAS

HIDROGEODÍA 2022

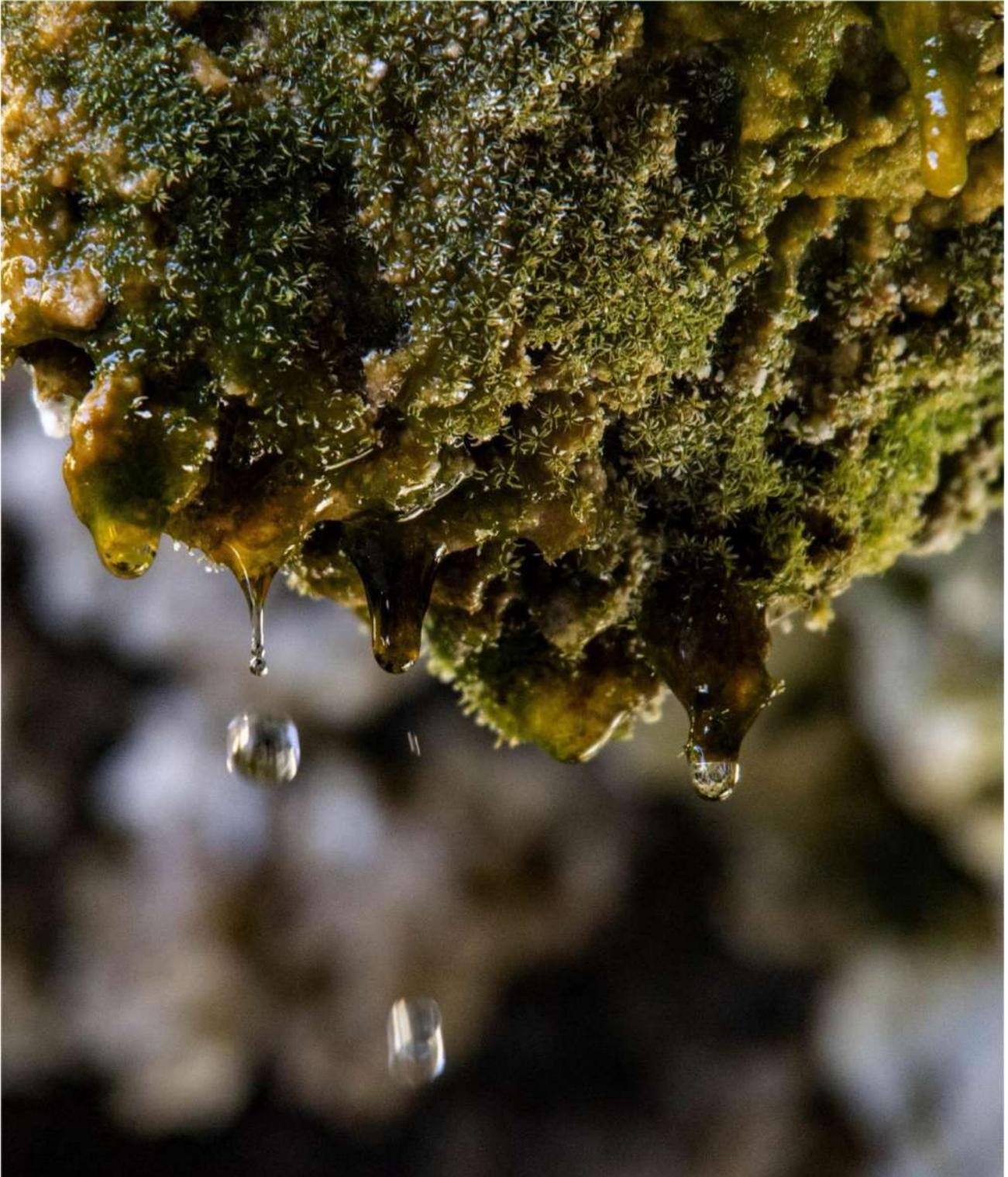
ORGANIZAN:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Gran España



Diputación
de Granada
Avanzamos juntos



COLABORAN:



HIDROGEODÍA
2022 GUADALAJARA

CSIC Instituto Geológico
y Minero de España



Centro de Investigación y Tecnología Científica
del Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Domingo, 27 de marzo de 2022
Las cien fuentes de
Cifuentes

EXCURSIÓN GUIADA GRATUITA
Plazas limitadas

SALIDA AUTOBÚS : 9 am, Palacio del Infantado (Guadalajara)
LLEGADA : 3 pm (ver PDF con anuncio aparte)

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA e.diaz@igme.es

**Un recorrido para
conocer los diferentes
tipos de acuíferos y
aguas subterráneas del
término municipal de
Cifuentes (Guadalajara)**

**Más información
y folleto de la excursión en:**

<http://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

COLABORAN:

**Ayuntamiento
de Cifuentes**



colectivo
100 fuentes



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

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 tiene lugar el domingo 27 de marzo por el entorno de Cifuentes (Guadalajara) y se enmarca entre las actividades realizadas con motivo del Hidrogeodía del año 2022, organizado por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE). El objetivo específico es dar a conocer las fuentes y manantiales del entorno de Cifuentes. Puedes encontrar más información sobre la AIH-GE y las actividades del hidrogeodía en: <https://www.aih-ge.org/hidrogeodia/>

ITINERARIO

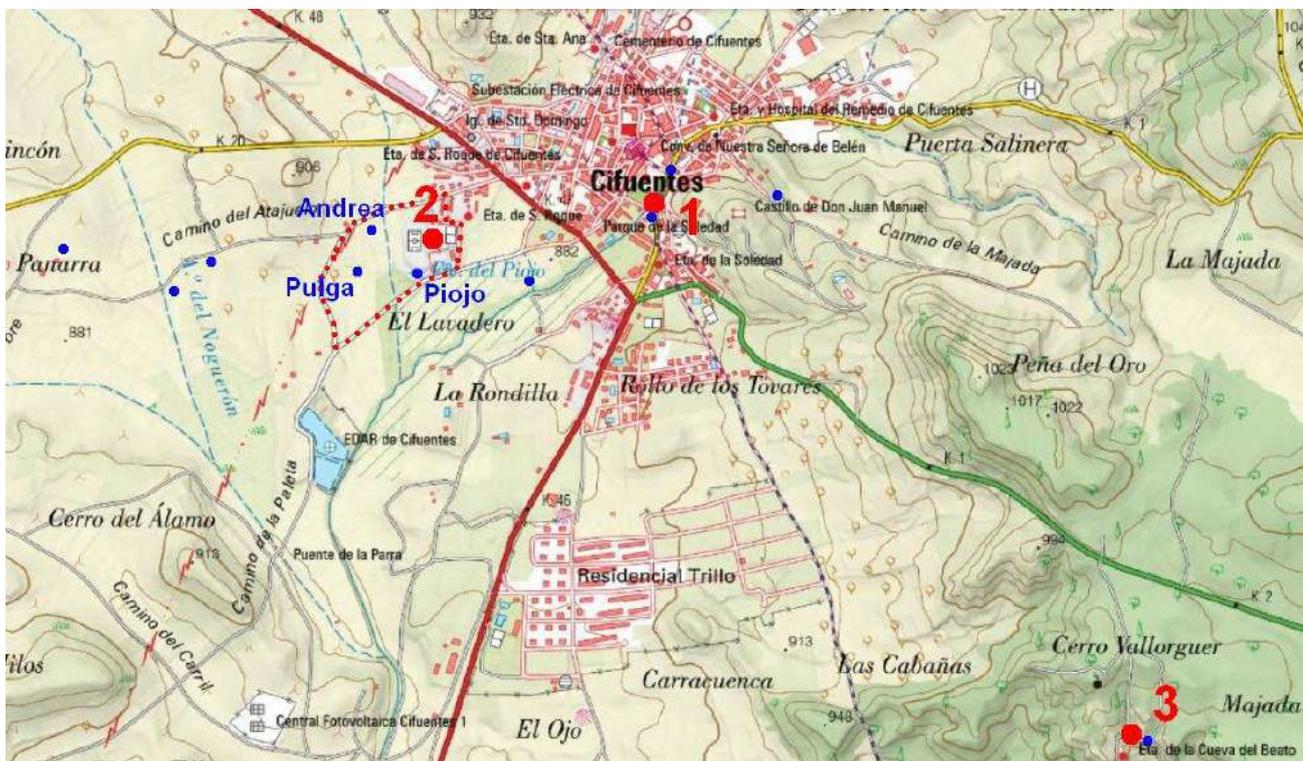


Figura 1. Mapa de situación de las paradas y manantiales.

Cifuentes se encuentra en la zona centro de la provincia de Guadalajara, dentro de la comarca natural de La Alcarria, al borde de la Meseta Central y cerca del límite con la Cordillera Ibérica. Este contexto geológico es el que, como veremos, condiciona sus aguas subterráneas y sus manantiales. El término municipal, con una superficie de 219 km², es el quinto más extenso de la provincia de Guadalajara. Está constituido por la villa de Cifuentes y diez núcleos de población, de los cuales tres son Entidades de Ámbito Territorial Inferior al Municipio (EATIM) (Gárgoles de Abajo, Gualda y Moranchel) y el resto son pedanías (Carrascosa de Tajo, Gárgoles de Arriba, Huetos, Oter, Ruguilla, Sotoca de Tajo y Val de San García).

El nombre de Cifuentes aparece como tal ya en el siglo XIII, aparentemente en referencia a las cien fuentes del término, entendiéndose *cien* en el sentido de *gran cantidad*. *Cienfuentes* hace referencia, por tanto, a la abundancia de manantiales en la cabecera del río Cifuentes. De hecho, el inventario realizado estos últimos años por el Colectivo 100 fuentes ha identificado ya más de 60 manantiales y fuentes tan sólo en el antiguo término de Cifuentes, sin incluir las del resto del actual municipio con sus pedanías.

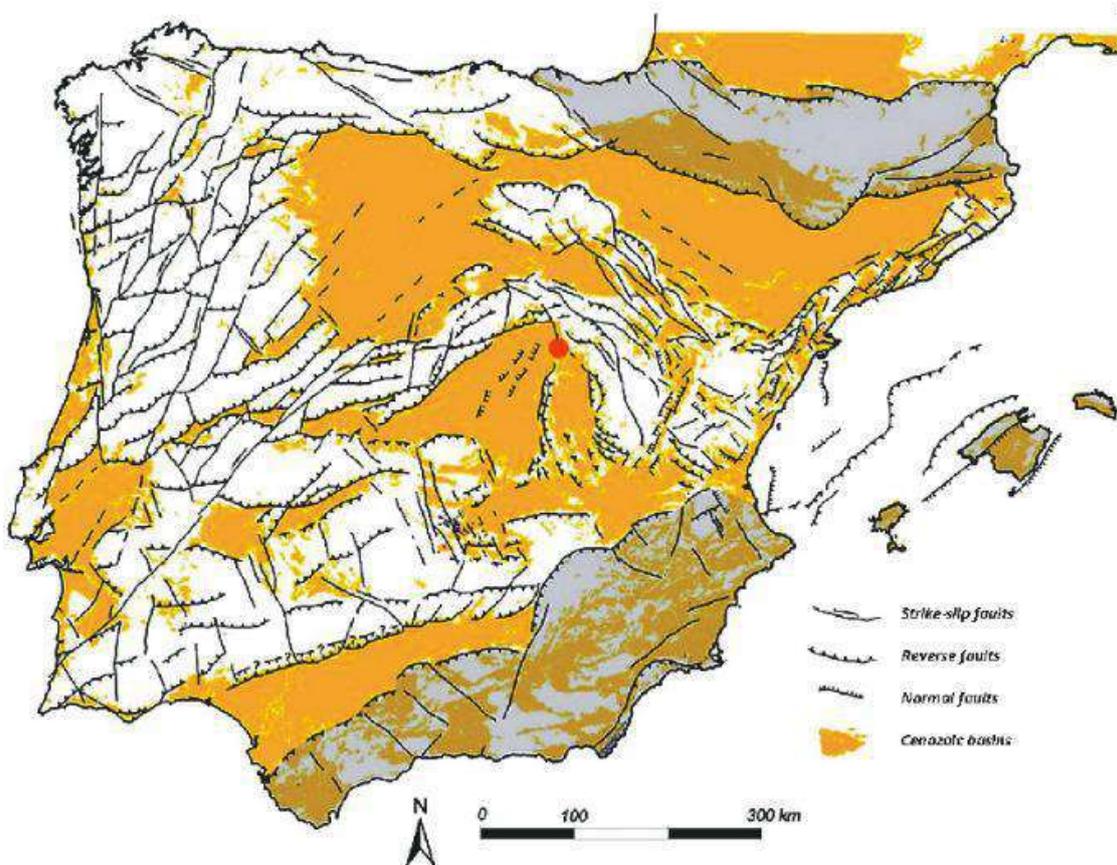


Figura 2. Mapa geológico de España con indicación de las principales cuencas cenozoicas y las fallas que las limitan, así como la situación de Cifuentes (Punto rojo).

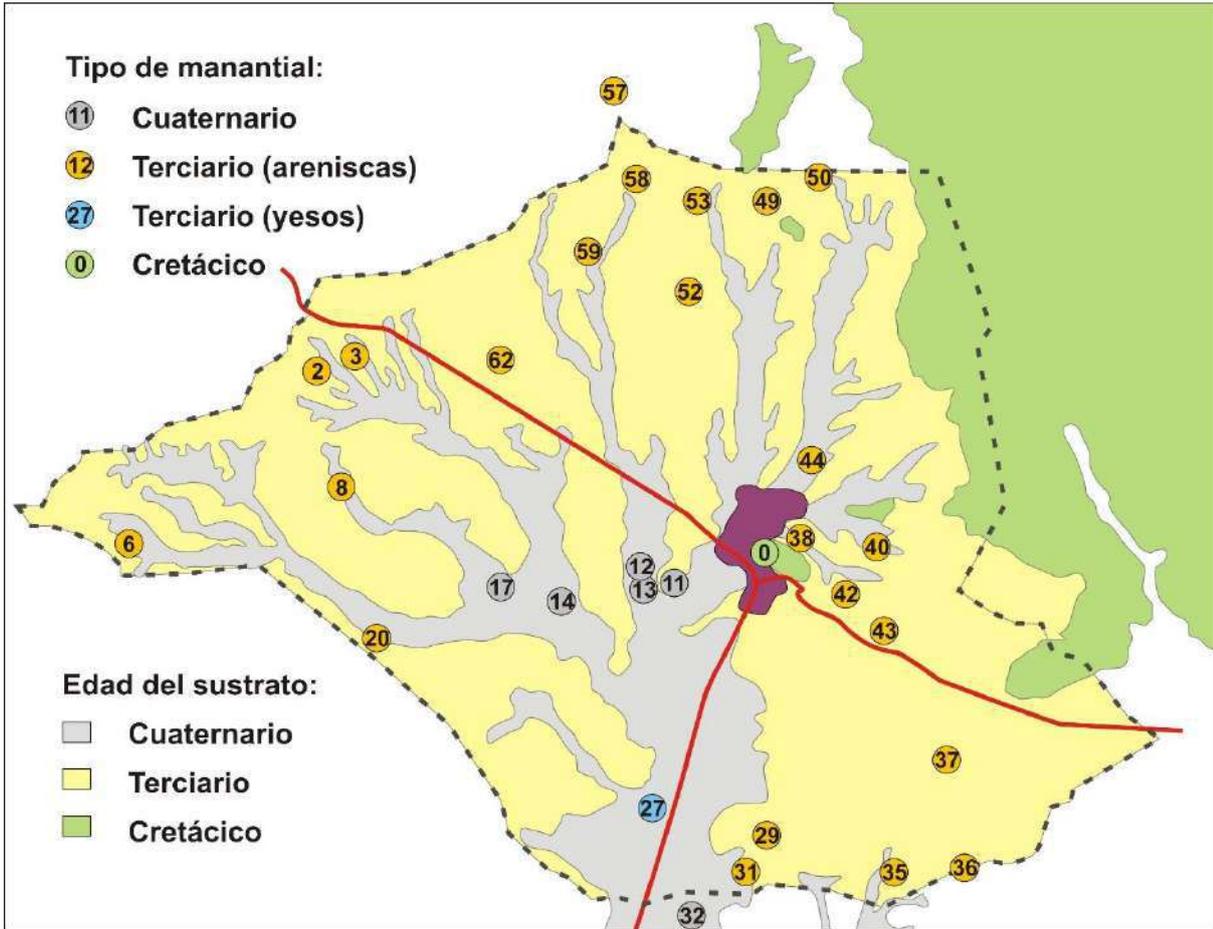


Figura 3. Mapa de situación de los distintos manantiales de la zona en relación con el sustrato geológico.

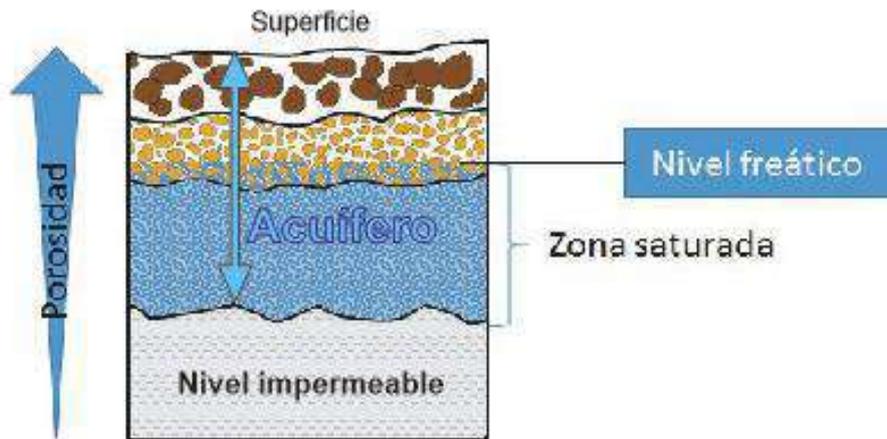


Figura 4. Esquema de la estructura de un acuífero tipo de la zona.

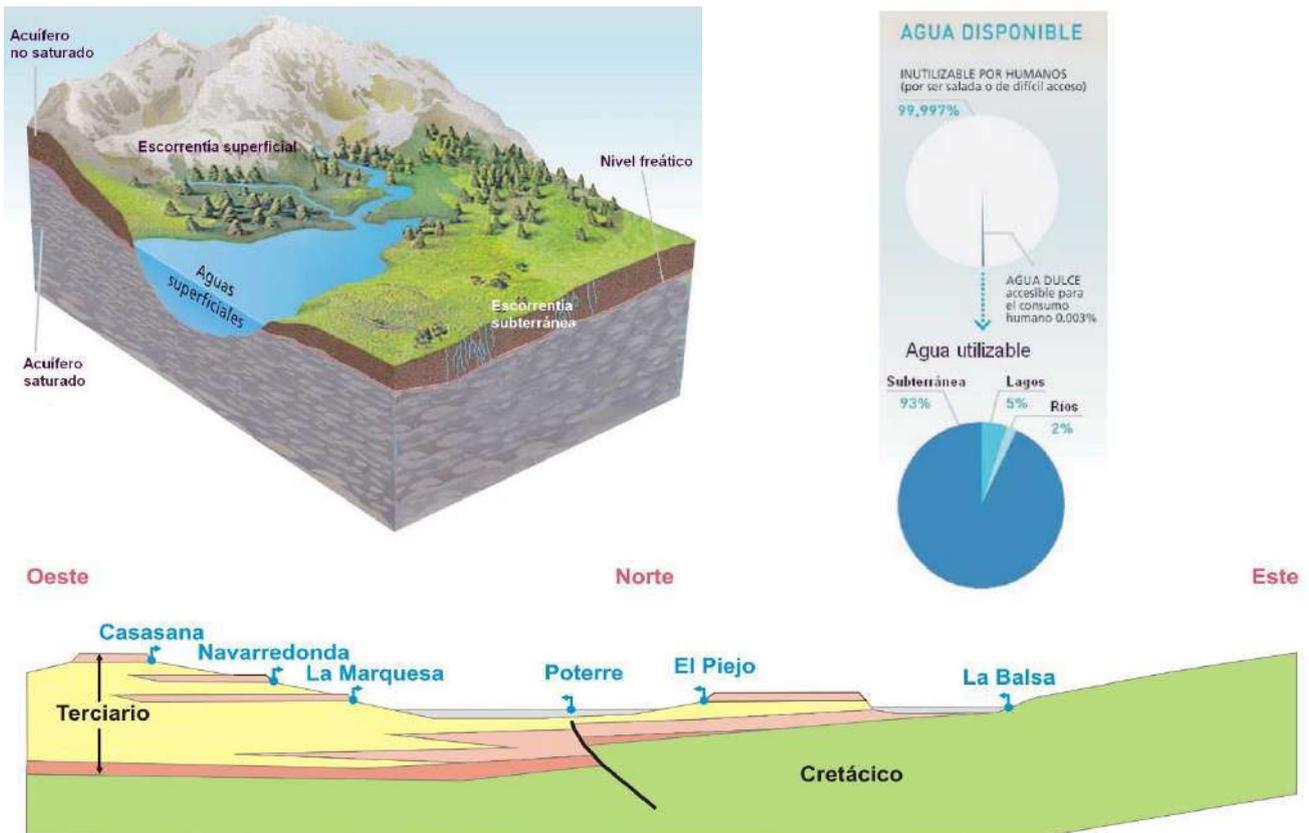


Figura 5. Esquemas de las aguas superficiales y subterráneas (parte superior) y corte geológico con los tipos de manantiales en la zona (parte inferior).

Las rocas del entorno de Cifuentes nos cuentan la historia de tres importantes periodos geológicos que afectaron a la zona central de la placa ibérica durante los últimos 100 millones de años:

- **Las rocas del Cretácico (Parada 1)** son calizas y dolomías, unas de las rocas más antiguas de la zona, y forman los relieves de la sierra y la paramera cercana. Contienen minerales y fósiles que nos aportan información sobre climas tropicales y un mar cálido con playas, sobre los movimientos de las placas tectónicas, y sobre la circulación subterránea del agua para dar lugar a cuevas y manantiales. Con las rocas del Cretácico se construyeron la mayor parte de la iglesia de Santo Domingo y del convento de San Francisco.

- **Las rocas del Terciario (Parada 3)** forman el sustrato de la mayoría de los pueblos del entorno de Cifuentes y son las que dan lugar a los característicos paisajes de la Alcarria. Las areniscas se han usado en muchas casas y en construcciones antiguas, como la muralla, el castillo y el puente de La Balsa. Las lutitas (arcillas y limos consolidados) se han usado para hacer tejas, tinajas y otros tipos de cerámica. Los yesos se han usado para hacer revocados, molduras y como cemento.

- **Las arcillas y arenas del Cuaternario (Parada 2)** fueron depositadas durante las inundaciones que de vez en cuando afectan al río Cifuentes. Cubren las vegas de este río y sus afluentes, y suelen dar lugar a buenos huertos.

PARADA 1. Los Manantiales y la Balsa (AGUA DEL CRETÁCICO)

Hacia el norte y el este de Cifuentes están las rocas del Cretácico. Son las más antiguas de este entorno, las más resistentes a la erosión, y por eso forman los relieves más altos. Se trata de calizas (rocas de carbonato cálcico) y dolomías (rocas de carbonato de calcio y magnesio). Su composición es importante porque es lo que condiciona el tipo de agua que se bebe en Cifuentes.

El agua que se infiltra en estas rocas carbonatadas del Cretácico de la sierra y paramera, entra fácilmente por sus fracturas y las va disolviendo lentamente, durante miles de años, formando cavidades que pueden dar lugar a grandes cuevas. El agua subterránea sigue circulando lentamente por las fracturas, disolviendo más rocas y cargándose cada vez más en el carbonato cálcico y magnésico del que están hechas. El área en el que se infiltra esta agua de lluvia es muy grande, así que, cuando sale a la superficie en los manantiales de Cifuentes, tiene un caudal abundante y estable, y además es muy “dura” (alcalina, rica en cal disuelta).



Figura 6. Foto de un día de colada en Cifuentes, a pocos metros del manantial en que nace el río Cifuentes. Al fondo a la derecha, el cauce llega a La Balsa bajo el puente (foto del primer tercio del siglo XX).



Figura 7. La presencia de pequeñas matas de algas caráceas creciendo en el fondo de La Balsa de Cifuentes indica que el agua es carbonática, limpia y de buena calidad.

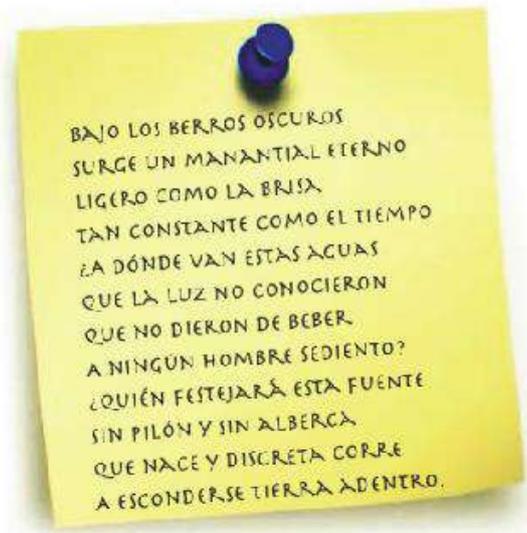
PARADA 2.
Fuentes de Andrea, La Pulga
y el Piejo
(AGUA DEL CUATERNARIO)

En las vegas fluviales y partes más bajas de los valles están los sedimentos del Cuaternario, que son los más recientes en términos geológicos (los menos antiguos). Se trata de los depósitos de arenas, gravas y sedimentos finos (limo y arcilla) dejados por el río Cifuentes y sus principales afluentes cada vez que hay inundaciones o cambian de curso, depositando sedimentos poco consolidados y muy permeables. Observa en el mapa que los manantiales están más o menos alineados. Esto es importante, porque indica que existe un condicionante previo rectilíneo para la situación de los manantiales.

El tipo de manantial que encontramos en estos depósitos del Cuaternario de las vegas es de aguas surgentes carbonáticas. Normalmente se trata de zonas que antiguamente se encharcaban debido a alguna surgencia del agua subterránea, impidiendo el cultivo normal de la superficie del terreno. En consecuencia, fueron drenadas mediante surcos profundos excavados para canalizar el agua surgente hacia los cursos fluviales. ¿Por qué crees que estos manantiales son surgentes?



Dibujo fantasía fuente de la Andrea.
Andrea Arbeteta



BAJO LOS BERROS OSCUROS
SURGE UN MANANTIAL ETERNO
LIGERO COMO LA BRISA
TAN CONSTANTE COMO EL TIEMPO
¿A DÓNDE VAN ESTAS AGUAS
QUE LA LUZ NO CONOCIERON
QUE NO DIERON DE BEBER
A NINGÚN HOMBRE SEDIENTO?
¿QUIÉN FESTEJARÁ ESTA FUENTE
SIN PILÓN Y SIN ALBERCA
QUE NACE Y DISCRETA CORRE
A ESCONDERSE TIERRA ADENTRO.

Fuensanta García Martín

Fuente de la Pulga

Figura 8. Dibujo de la Fuente de Andrea y Poesía dedicada a la Fuente de la Pulga.

PARADA 3. Fuente de la Cueva del Beato (AGUA DEL Terciario)

El entorno de Cifuentes está sobre rocas del Terciario, que son algo más variadas en cuanto a su composición y resistencia a la erosión. Por un lado, hay capas de roca dura, como la caliza y la arenisca, que suelen tener fracturas y poros interconectados, y son permeables (pueden contener agua y transmitirla). Por otro lado, hay capas con sedimentos blandos como las arcillas, que son muy poco permeables (no dejan circular el agua fácilmente). Así, el agua que se infiltra en las rocas del Terciario circula fácilmente dentro de las capas de rocas porosas y resistentes (arenisca o caliza), mientras que casi no circula, o lo hace muy, muy lentamente, en las capas arcillosas.

Las capas duras de arenisca actúan como esponjas recolectoras del agua de lluvia

infiltrada, por las que circula lentamente el agua subterránea, mientras que las blandas (arcillas y limos) actúan como una capa impermeable. Cuando, por la erosión, una de estas capas resistentes por las que fluye el agua queda expuesta en la superficie del terreno, se forma un pequeño manantial en la parte inferior de la capa, en el límite con las arcillas.

El agua de estos manantiales en las rocas del Terciario suele ser más blanda (menos alcalina) que la que circula por el Cretácico, porque las areniscas del Terciario tienen menos carbonato y, sobre todo, porque el agua no ha circulado por ellas tanto tiempo hasta salir a la superficie como en las del Cretácico.



Figura 9. Jornada de voluntariado organizada por el Colectivo 100fuentes el 18 de abril de 2015 para la limpieza y mantenimiento de la Fuente de los Frailes, tradicionalmente utilizada para obtener agua blanda para cocer las legumbres.

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA GUADALAJARA 2022

Esta actividad ha sido organizada y la guía elaborada por Enrique Díaz (IGME-CSIC).

PARA SABER MÁS ...

Díaz-Martínez E. & Mediavilla A. 2010. Una visita al Parque Cretácico de Cifuentes. Ayuntamiento de Cifuentes, 14 p.

Díaz-Martínez E. & Mediavilla A. 2011. Nos vemos en el Terciario. Ayuntamiento de Cifuentes, 14 p.

Díaz-Martínez E. & Mediavilla A. 2012. Viaje al Cuaternario. Ayuntamiento de Cifuentes, 14 p.

García Martín F & García Martín M. A. 2013. Cifuentes, 3 paseos por fuentes y manantiales, Folleto I. 20 pp.

García Martín F & García Martín M. A. 2018. En busca de las cien fuentes de Cifuentes. Colectivo 100fuentes y Ayuntamiento de Cifuentes, Guadalajara, 96 pp. y mapa.

NOTAS

19 de marzo de 2022

Hidrogeología de los Cabezos de Huelva. Fuente Vieja y el antiguo sistema de abastecimiento de agua a la ciudad

VISITA GUIADA GRATUITA

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA

email de contacto:
hidrogeodiahuelva@gmail.com

Se recomienda llevar ropa y calzado
cómodo y agua

PUNTO DE ENCUENTRO:

Plaza de Toros
(junto hacho Colón)
Huelva

Hora de salida: 10:00

Hora de llegada (estimada): 14:00



Información detallada y folleto de la excursión próximamente en:
www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2020/ www.uhu.es/fexp/difusion.htm



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por especialistas en hidrogeología. En la provincia de Huelva, el Hidrogeodía está organizado por investigadores del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Huelva.

Existe un gran desconocimiento de los acuífero pues están ocultos en el subsuelo, por ello el lema del día Mundial del Agua en 2022 es: 'Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible'

En Huelva, el Hidrogeodía 2022 se hará en **la zona de los Cabezos y su entorno, para conocer este acuífero y su importancia en el abastecimiento de agua en la historia de Huelva**. Llevaremos a cabo una visita guiada por varios puntos representativos, indicados en el mapa del final de esta guía. El recorrido total que realizaremos es de unos 1900 m, finalizando en el Parque Moret.

ITINERARIO

El punto de partida de nuestro recorrido será una pequeña plaza en la calle Pérez Galdós, detrás del colegio Manuel Siurot (figura 1 y mapa del recorrido al final de la guía).



Figura 1. Punto de encuentro en la calle Pérez Galdós (Parada 1 en el mapa del recorrido).

PARADA 1: ENTORNO GEOLÓGICO

Geológicamente, los materiales que afloran en el entorno de la ciudad de Huelva corresponden al relleno de la cuenca del Guadalquivir. Las principales unidades litoestratigráficas que existen en la zona, con edades comprendidas entre el Mioceno superior (unos 7 millones de años) y la actualidad son de muro techo:

- Formación Arcillas de Gibrleón: constituida por arcillas y margas de color gris azulado y edades comprendidas entre el Mioceno superior y el Plioceno inferior. Se interpretan como los materiales depositados en un mar profundo, con poca energía y mucha materia orgánica. El límite superior de

estos materiales aflora en la base del talud que observamos en esta parada.

- **Formación Arenas de Huelva:** constituyen la mayor parte del talud de los cabezos. Se trata de limos y arenas finas de color amarillento y una potencia de unos 20 m. Esta formación ocupa una gran extensión del área estudiada (Fig. 2) y se atribuye al Plioceno inferior (Mayoral y Abad, 2008). Se caracteriza por presentar niveles fosilíferos muy ricos que se pueden ver en el talud, principalmente concentraciones de moluscos, la mayoría originados durante eventos tormentosos en un medio marino de poca profundidad.
- **Formación Arenas de Bonares:** también del Plioceno inferior, están compuestas por arenas finas que progresivamente se hacen más gruesas hacia techo, donde se observan pequeñas intercalaciones de niveles de conglomerados con cantos silíceos (Mayoral y Abad, 2008). Se

depositaron en un medio costero (frente de playas) con una influencia continental cada vez mayor. Sólo afloran en algunos sectores de la arte superior del cabezo del Conquero. En el corte se ven con un color ligeramente más claro mientras que la formación Arenas de Huelva es más amarillenta.

- **'Alto Nivel Aluvial', o Formación Conquero:** formación dispuesta de forma erosiva con las anteriores y que se sitúa a techo de toda la serie. Está definida por un nivel de conglomerados, gravas, arenas y arcillas de colores rojizos, de origen fluvial y de edad Plioceno superior-Pleistoceno (Mayoral y Abad, 2008).
- **Estuario y marismas:** formada por materiales finos (limo-arcillosos) de edad holocena. Corresponden al relleno del estuario tras la estabilización marina (García-Navarro et al., 2009). Sobre esta unidad de relleno estuarino, se disponen materiales antrópicos (Fig. 2).

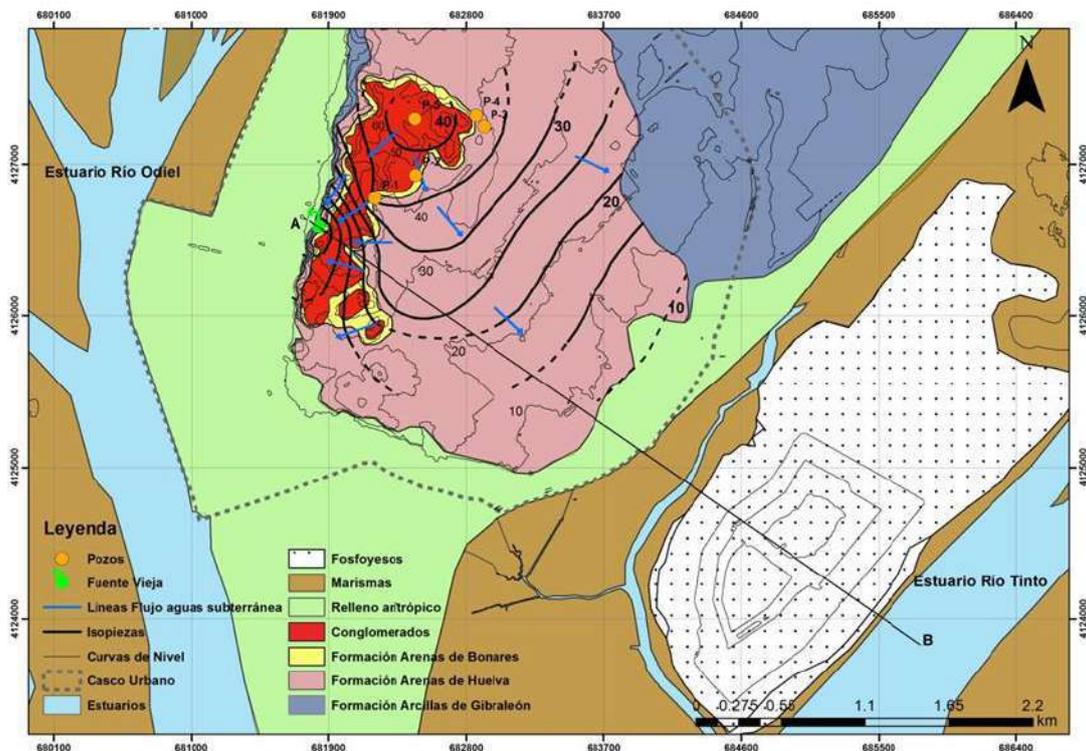


Figura 2. Mapa geológico de la ciudad de Huelva con la situación de Fuente Vieja. Se muestran de forma aproximada la distribución de las isopiezas (líneas que indican la cota del agua subterránea en relación al nivel del mar), las direcciones de flujo del agua subterránea y los pozos muestreados. La línea A-B indica el corte hidrogeológico representado en la figura 8.

Desde el punto de vista hidrogeológico las arcillas y margas que se sitúan en la base de la serie (Formación Arcillas de Gibraleón) actúan como materiales impermeables. Por el contrario, las Arenas de Huelva y Bonares están compuestas en su mayoría por arenas permeables. Las gravas y arenas rojas de la formación Alto Nivel Aluvial que coronan la serie tienen pocos finos y, por tanto, constituyen los materiales con mayor permeabilidad de la zona. El conjunto de las Arenas de Huelva, Arenas de Bonares y Alto Nivel Aluvial constituye un acuífero detrítico de pequeña entidad, con una superficie de 6.1 km² (Fig. 2) y un espesor máximo aproximado de 60 m. Debido a sus pequeñas dimensiones, este acuífero no está considerado como una masa de agua subterránea a efectos de la gestión de los recursos hídricos.

PARADA 2: FUENTE VIEJA

La captación de aguas subterráneas mediante galerías ha sido una técnica muy extendida históricamente para el abastecimiento de numerosas ciudades, así como para obtener agua para regadío. A lo largo del siglo XX el desarrollo de los métodos de perforación de sondeos de pequeño diámetro pero gran profundidad equipados de potentes bombas y la construcción de numerosos embalses, permitió la obtención de caudales muy superiores a los aportados por las galerías y se produjo su abandono progresivo.

Las galerías consisten en perforaciones subhorizontales, realizadas en laderas de materiales permeables, que interceptan el nivel freático, de forma que el agua gotea al interior o bien penetra por las paredes o a través del suelo (Fig. 3). Las galerías tienen una

ligera pendiente (entre el 0,3 y 0,5%) hacia el exterior de forma que el agua fluye por gravedad hacia donde se necesita. La longitud de estas galerías es muy variable, entre una decena de metros y más de 50 km, con pozos verticales de acceso al exterior (denominados lumbreras) espaciados habitualmente entre 50 y 150 m. La sección suele ser pequeña; en Irán las medidas habituales son 0,8 m de ancho y sólo 1,2 m de alto (Ahmadi et al., 2010). Aunque en otras zonas pueden tener mayores dimensiones, las empleadas en el abastecimiento a Huelva son incluso más estrechas, con 0,4 m de anchura y 1,25 m de altura (Bermejo y Campos, 2020).

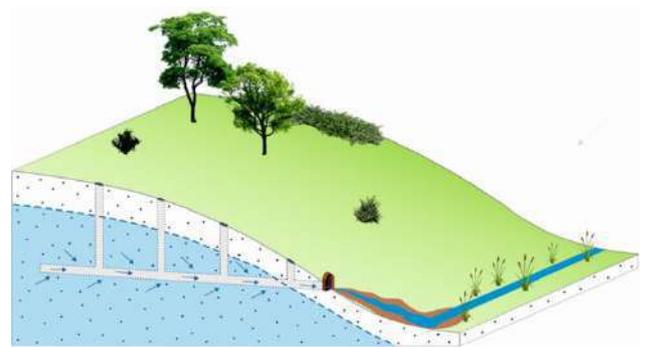


Figura 3. Esquema típico de una galería de captación de aguas subterráneas

Se cree que estos sistemas se desarrollaron inicialmente en el primer milenio antes de Cristo en Oriente Medio, donde se denominan 'qanats'. Durante los periodos de dominación romana y árabe esta tecnología se expandió por el norte de África, España e Italia. Otras galerías similares de origen romano muy abundantes en la provincia de Huelva son las utilizadas en las zonas mineras del Andévalo denominadas 'socavones'. Su morfología y características constructivas son similares a las de las galerías de captación, pero en este caso el objetivo no era la obtención del agua, sino lo contrario, desaguar las minas con el fin de poder realizar la extracción del mineral.

La ciudad de Huelva se encuentra alejada de suministros superficiales de agua dulce, por lo que el aprovechamiento de las aguas subterráneas fue clave para poder aprovisionar la urbe. La Fuente Vieja (Fig. 4) se sitúa en el borde oeste del contacto de los materiales permeables que constituyen los Cabezos de Huelva con los materiales arcillosos (Formación Arcillas de Gibraleón).

Consta de un depósito receptor, situado junto a la salida de la surgencia, con dos galerías subterráneas que parten hacia el norte y hacia el sur. En la actualidad la galería norte solo es accesible en un recorrido de unos 20 metros, mientras que la sur se ha reconocido hasta 90 metros desde el depósito receptor. Las galerías se disponen paralelas a los bordes del afloramiento de los materiales permeables.



Figura 4. Fotografía de Fuente Vieja

Ambas galerías están sin revestir, lo que permite que el agua penetre en las mismas a través de las paredes, el techo y el suelo. La galería norte llegaría hasta las inmediaciones de la Ermita de la Cinta, a más de 1 km en línea recta desde Fuente Vieja, con brazos que se introducían hacia el este por debajo de El Conquero, aunque se desconoce su trazado. Los estudios de datación sitúan su construcción en el periodo de dominación romana, concretamente a la segunda mitad del

siglo I d.C. Fuente Vieja constituyó la principal fuente de suministro de agua a la capital hasta el último tercio del siglo XIX (Peña Guerrero, 1996).

En la figura 5 se representa el caudal en Fuente Vieja entre febrero de 2018 y febrero de 2019, junto con los valores de precipitación diaria. El año hidrológico 2017/18 tuvo una distribución de las precipitaciones muy irregular; el otoño y la mayor parte del invierno fueron muy secos pero a final de febrero se inició un

periodo muy lluvioso que se alargó hasta el 17 de marzo (precipitaciones de 264 mm). Antes del inicio de las precipitaciones el caudal en Fuente Vieja era próximo a 0.5 L/s pero a pesar de estas fuertes precipitaciones el caudal apenas varió (Fig. 5). En mayo sí se produjo un incremento del caudal, con un desfase de unos dos meses desde las lluvias de marzo, alcanzándose valores próximos a 1 L/s. Durante el verano los caudales descienden situándose nuevamente en torno a 0.4 L/s. El

caudal medio en este periodo ha sido de 0.50 L/s (43 m³/día). No obstante, el caudal de la fuente era probablemente mayor en la antigüedad, pues la urbanización de parte de la zona de recarga debe haber producido una significativa reducción de la infiltración del agua de lluvia, además de los derrumbes y atascos en el sistema de galerías desde que se abandonó definitivamente su mantenimiento hace casi 100 años.

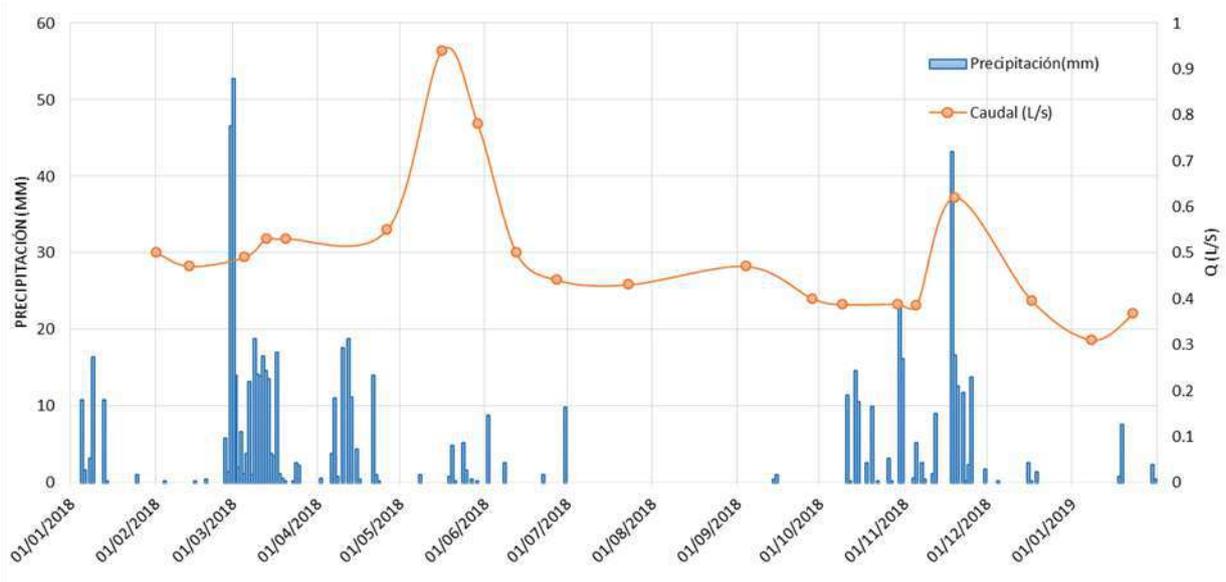


Figura 5. Evolución de las precipitaciones y el caudal de Fuente Vieja desde febrero de 2018 a febrero de 2019.

En la figura 6 se muestra un esquema del sistema de captación de galerías subterráneas próximas a Fuente Vieja. El agua de la galería sur se dirige hacia el depósito, pero cerrando la salida del agua del depósito de Fuente Vieja el nivel del agua ascendía de forma que se podría superar la contrapendiente hacia el depósito de la galería sur y también el agua captada por la galería norte podría conducirse hasta el núcleo urbano antiguo.

En cuanto a la calidad del agua que mana a través de la fuente, los análisis realizados indican una alta salinidad, con valores de conductividad eléctrica próximos a 2000 μ S/cm y altas concentraciones (superiores a

100 mg/L) de bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, sodio y nitratos, de forma que el agua es muy dura (unos 70 °F). Probablemente el agua de Fuente Vieja tenía unas mejores características de calidad en el pasado, cuando en la zona de El Conquero sólo existían algunas haciendas con cultivos.

Existen algunas referencias históricas que recogen que el agua de Fuente Vieja tenía una buena calidad. Así, Rodrigo Caro tras su visita a Huelva en 1622 escribe 'ay un antiguo aqueducto, que por debaxo de tierra da muy buena agua, y bastante a la villa' (Lara Ródenas, 1996). Richard Ford en 1845 también apreciaba el agua del sistema de galerías como

‘deliciosa’ y según el Diccionario geográfico-estadístico-histórico de Pascual Madoz de 1847 se dice: ‘Consiste en una porción de galerías subterráneas que forman entre sí un laberinto por debajo de los Cabezos, cuyas filtraciones de agua potable y de excelente calidad abastecieron cumplidamente a los moradores de este pueblo y buques que arribaban en tiempos antiguos....., si bien se aprovechan ahora las de pozos, no tan delgadas como aquéllas ni tan sabrosas y cristalinas’ (Peña Guerrero, 1996).

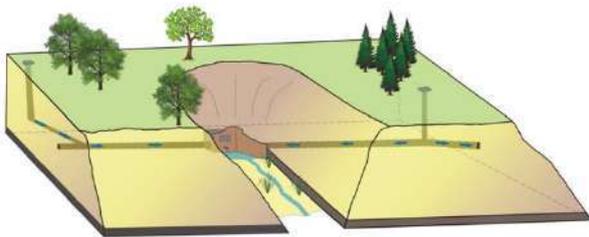


Figura 6. Representación esquemática de Fuente Vieja y el sistema de galerías que parten de ella.

Estos testimonios de visitantes ilustres probablemente no eran muy rigurosos y en, mayor o menor medida, ensalzarían las condiciones locales. En otros informes más fiables y en numerosos documentos de la época contemporánea se habla de una deficiente calidad y aparecen referencias a un agua con problemas de dureza e incrustaciones (Peña Guerrero, 1996). Así en un informe de Baldomero y Leal de 1883 se recoge: ‘Sus aguas, impregnadas de sustancias

calcáreas y magnesianas, obstruyen con facilidad la cañería y, de tiempo en tiempo, se hace necesario limpiar los sedimentos, vulgarmente conocidos como agua cuajada’, mientras que en la memoria de 1886 de Gonzalo y Tarín se dice: ‘el agua es de mediana calidad, por la cantidad de sales de cal y de magnesia que contiene’ (Peña Guerrero, 1996). No obstante, en comparación con otras posibles fuentes de suministros, como varios pozos de la zona del núcleo urbano antiguo, el agua de Fuente Vieja debía ser de mejor calidad.

La elevada dureza del agua es visible hoy en día por una fina capa blanquecina de carbonato cálcico que se forma sobre la superficie del agua en el depósito y las galerías de Fuente Vieja tras algún tiempo sin alterar el agua (Fig. 7). Esta precipitación de carbonato cálcico da lugar a nódulos irregulares y estalactitas en el techo de las galerías y alineaciones calcáreas horizontales, a modo de molduras, en las paredes.

Fuente Vieja se encontraba en un estado de semiabandono (Fig. 4). Sus aguas son utilizadas para el riego de pequeñas huertas que se sitúan al pie de los cabezos. Recientemente el Ayuntamiento ha licitado las obras para recuperar esta zona y poner en valor este importante patrimonio hidráulico de la ciudad de Huelva, aunque las obras están paradas en la actualidad.



Figura 7. Fotografías de las finas láminas de precipitados de carbonato cálcico flotando sobre el agua que se forman en el depósito y las galerías de Fuente Vieja.

PARADA 3: LOS CABEZOS

El relieve de la zona de los Cabezos está condicionado por la geología, de forma que las mayores altitudes (con un máximo de 68 m) se alcanzan en la zona donde afloran los conglomerados y gravas del 'Alto Nivel Aluvial'. Debido a un basculamiento de toda la región hacia el SE, la cara oeste de los Cabezos presenta un relieve abrupto mientras que hacia el este se tienen pendientes mucho más suaves.

El relieve de los Cabezos destaca entre los estuarios de los ríos Tinto y Odiel y constituyen uno de los principales rasgos de la ciudad de Huelva, formando parte del Inventario Andaluz de Georrecursos por su gran valor científico, didáctico y turístico. Además, permiten contemplar unas magníficas vistas de las marismas del Odiel.

PARADA 4: ACUÍFERO Y ABASTECIMIENTO DE AGUA

En la zona del Conquero es donde el nivel freático del acuífero de los Cabezos se encuentra a mayor profundidad (hasta unos 10 m), mientras que en la mayor parte de la ciudad de Huelva el nivel freático se encuentra a menos de 5 m de profundidad. En la figura 8 se muestra un corte hidrogeológico de dirección aproximada NW-SE, Fuente Vieja constituye la única salida visible del acuífero. Debido a que las arcillas de Gibraleón buzan suavemente hacia el sureste, los materiales permeables de la Formación Arenas de Huelva se introducen por debajo de los depósitos de marismas y de los apilamientos de fosfoyesos (Fig. 8), por lo que en esta última zona el acuífero se dice que está confinado.

La recarga del acuífero se produce mediante la infiltración de las precipitaciones, que es mayor en la zona donde afloran los materiales más permeables del Alto Nivel Aluvial y menor sobre las formaciones Arenas de Huelva y Arenas de Bonares. De una forma aproximada, se estima que la recarga en los

materiales del Alto Nivel Aluvial se sitúa en torno a 60 mm/año, mientras que para las Arenas de Huelva y Bonares se estima un valor de 40 mm/año. Con estos datos y considerando las superficies de afloramiento (0.63 km² de la formación Alto Nivel Aluvial y 5.47 km² del resto de materiales permeables)

se tendría una recarga natural próxima a 250.000 m³/año (unos 8 L/s). En la actualidad la recarga del acuífero debe haberse reducido notablemente, dado que el 85% de su superficie se ha urbanizado, aunque en la zona de El Conquero, la de mayor infiltración, el porcentaje urbanizado es menor.

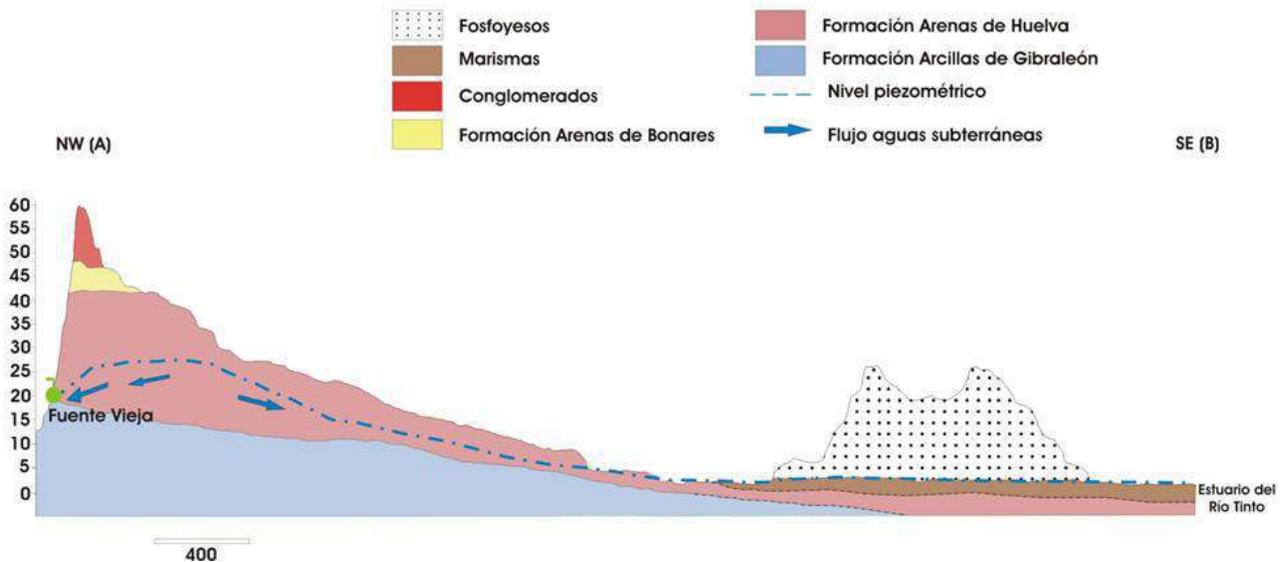


Figura 8. Perfil hidrogeológico en dirección aproximada NW – SE pasando por Fuente Vieja (localización del perfil en la figura 2).

Las líneas isopiezas unen puntos donde el nivel piezométrico en el acuífero es igual y nos permiten conocer la dirección del movimiento del agua subterránea. Como se observa en el mapa de isopiezas (Fig. 2), las salidas del acuífero se producen principalmente hacia Fuente Vieja, al oeste, y hacia el río Tinto, al este. Fuente Vieja, situada en un barranco que se introduce hacia el Conquero y, por tanto, próxima a donde los niveles freáticos y el espesor saturado del acuífero son más elevados, probablemente constituía la principal salida del acuífero en condiciones naturales. Aunque menos importante, la disposición de los materiales acuíferos y las líneas isopiezas (Fig. 4) también indican un flujo subterráneo hacia el sur, donde se localizaba el núcleo urbano antiguo de Huelva, por lo que también podría existir alguna surgencia natural utilizada por los primeros onubenses.

También es muy probable que estos pobladores utilizaran pozos para su abastecimiento pues, como se ha comentado, en la zona antigua de Huelva el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie del terreno. No obstante, los pozos de esta zona debían ser poco productivos, ya que los materiales que captan (la formación Arenas de Huelva) son de baja permeabilidad y contienen elevados porcentajes de finos, de forma que la calidad del agua sería peor que la de Fuente Vieja. Los pozos más productivos y con aguas de mejor calidad se encontrarían en la zona de El Conquero, donde nos encontramos pero, además de estar alejados del núcleo urbano antiguo, un inconveniente para la extracción de agua de estos pozos sería su mayor profundidad.

Con el crecimiento de la ciudad en la época romana, seguramente las surgencias naturales

dejaron de ser suficientes. Además, los pozos situados en el antiguo núcleo urbano podrían presentar problemas de contaminación por los residuos generados por el incremento de la población. En estas condiciones, se construiría el sistema de captación de galerías del Conquero a partir de la surgencia natural de Fuente Vieja, situada aproximadamente a 1 km al norte de donde se concentraba la población, junto con las galerías o conducciones para transportar el agua hasta donde se necesitaba. Como se ha comentado, los romanos conocían bien la tecnología para realizar estas galerías, como muestran los numerosos 'socavones' de esta época construidos para desaguar las minas de la Faja Pirítica Ibérica. Los materiales del Conquero, mucho más blandos y fáciles de excavar, no debieron suponer un problema, aunque por otro lado el ser menos resistentes también tienen el inconveniente de requerir un mantenimiento más frecuente para evitar los problemas de derrumbes o acumulación de partículas en las galerías.

Probablemente, la galería sur llegaría hasta la zona del núcleo urbano antiguo, aunque quizás con algún tramo en superficie. Este sistema de abastecimiento de agua continuaría sin grandes cambios durante la dominación árabe y la Edad Media. Según recoge Lara Ródenas (1996) 'el acueducto llegaba a la villa de Huelva por la calle de San Andrés, abandonando probablemente entonces la forma de galería de captación de aguas y conduciendo su suministro a través de atanores hacia la Fuente de la Plaza de San Pedro y, posiblemente, más allá'. De esta forma, el principal punto de suministro de la población lo debió constituir la fuente de la plaza de San Pedro, aunque en algunos años existían problemas de suministro en esta fuente debido a la disminución del caudal por la sequía o al deficiente mantenimiento de las galerías subterráneas y la población tenía que acudir a la Fuente Vieja (Lara Ródenas, 1996), situada a aproximadamente 1 km de distancia. Además existían distintos pozos públicos como el de

Regaza, situado en la calle San Andrés, el del Consejo, situado frente a la Ermita de Nuestra Señora de la Soledad, y pozos particulares en los corrales de las casas y en las haciendas del entorno (Lara Ródenas, 1996).

Durante los siglos XVII y XVIII el abastecimiento de agua a la ciudad no sufrió modificaciones importantes, aunque los problemas de suministro eran cada vez mayores debido al deficiente mantenimiento en la limpieza de las galerías, que sufrían la acumulación de sedimentos y frecuentes derrumbes, al desconocimiento sobre el trazado de las galerías, a las tomas de agua sin autorizar por parte de los hortelanos de la zona del Conquero (que extraían el agua por las lumbreras del sistema de galerías), al daño de las raíces de los árboles y al incremento de la población (Lara Ródenas, 1996). Así, a finales del siglo XVIII se produjo un periodo de casi de 20 años en los cuales no llegó agua a la fuente de la plaza de San Pedro, probablemente ocasionado por derrumbes en las galerías causados por el terremoto de Lisboa de 1755 (Lara Ródenas, 1996; Peña Guerrero, 1996). En 1772, gracias a una donación privada, se realizaron importantes obras en el sistema de galerías, de forma que el agua llegó nuevamente a la fuente de la plaza de San Pedro y se construyó una nueva fuente pública en la plaza de Las Monjas. Sin embargo, los problemas de suministro a estas fuentes no tardaron en reaparecer, de forma que a finales del siglo XVIII los habitantes de Huelva (unos 5000) tenían que ir a la Fuente Vieja para abastecerse (Lara Ródenas, 1996).

Como se ha comentado, la recarga natural del acuífero se estima de una forma aproximada en unos 250.000 m³/año (8 L/s), pero de estos existe una parte importante que fluye hacia el este y no podría ser utilizado por la población. Considerando que con el sistema de galerías se conseguiría incrementar el caudal hacia la zona oeste, se estima que los recursos utilizables por la población podrían ser 3 o 4 L/s, lo que dividido por 5000 habitantes

equivale a entre 50 y 70 litros por habitante y día. Aunque en la actualidad se necesita una mayor dotación por habitante, en el siglo XVIII esta cantidad debía ser más que suficiente. El problema era que a menudo el agua no llegaba hasta el núcleo urbano y la población tenía que desplazarse a Fuente Vieja. Es de destacar que en esta época no se pudiera mantener de una forma correcta el sistema de galerías subterráneas que fue construido durante el periodo romano, lo que muestra que sus conocimientos de ingeniería hidráulica eran superiores a los que se tenían en la Edad Moderna y gran parte de la época Contemporánea.

En el siglo XIX el principal abastecimiento de los vecinos de Huelva seguía siendo el agua que manaba de Fuente Vieja, a pesar de la considerable distancia del centro neurálgico de la población, de forma que se regulaba las horas en las que debían aprovisionarse tanto vecinos como aguadores, así como los precios a abonar por estos últimos (Peña Guerrero, 1996). Algunos pozos públicos sólo podían utilizarse como abrevadero de caballerías por el pésimo estado de sus aguas (Peña Guerrero, 1996). Los problemas se agravaron en la segunda mitad de este siglo por el gran incremento la población en Huelva debido a la actividad minera en la provincia, llegando a más de 20.000 habitantes a finales del siglo. Haciendo los mismos cálculos con esta población que anteriormente, resulta una dotación por habitante de sólo unos 15 litros al día. La fuente de la plaza de Las Monjas, primero, y luego la de la plaza de San Pedro se secaron completamente y el agua de Fuente Vieja ya no era suficiente para abastecer a la población, de forma que se producían frecuentes disturbios (Peña Guerrero, 1996). Los vecinos se tenían que desplazar hasta otros pozos más lejanos, como la Noria Farias, situada al norte de Fuente Vieja, y que tenía además un agua cuya calidad dejaba mucho que desear (Peña Guerrero, 1996).

La iniciativa privada buscó nuevas fuentes de suministro de agua a partir de pozos más alejados. La primera de estas redes la construyó Sundheim para el abastecimiento del Hotel Colón, inaugurado en 1883, y posteriormente se amplió a otros usuarios. El abastecimiento se realizaba desde varios pozos situados al norte de la ciudad y en 1904 tenía una producción de agua de 380.000 L/día (equivalente a 4,4 L/s; Peña Guerrero, 1996). En la misma época también se inició la construcción de una segunda red privada propiedad de Antonio de Mora y García, suministrada por varios pozos situados en la zona de La Ribera, a unos 7 km al noreste de Huelva, que se convirtió en poco tiempo en el principal abastecimiento de Huelva (Peña Guerrero, 1996). Ya a principios del siglo XX el Ayuntamiento emprendió distintos estudios sobre varias posibilidades para suministrar agua de calidad y en cantidad suficiente a la ciudad, tanto de aguas subterráneas como superficiales. Hacia 1910, tras algunas experiencias infructuosas, se decidió que la mejor opción era construir un embalse de 3,25 hm³ de capacidad en los arroyos de Castaño y Candón, en la zona de Beas (Peña Guerrero, 1996), comenzando la historia actual del abastecimiento a Huelva.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE HUELVA

Se recomienda llevar ropa, calzado cómodo, bebida y protección solar. La visita guiada comenzará a las 10:00 y la hora prevista de finalización será sobre las 14:00.

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

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA HUELVA 2022

Esta actividad ha sido organizada por los siguientes investigadores del Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Huelva:

Manuel Olías Álvarez

María Dolores Basallote Sánchez

Carlos Ruiz Cánovas

Francisco Macías Suárez

Juan Antonio Morales González

Raúl Moreno González

Rafael León Cortegano

Ricardo Millán Becerro

Jonatan Romero Matos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Dpto. de Ciencias de la Tierra, la Facultad de Ciencias Experimentales, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía, la Cátedra de Aguas de Huelva y la Asociación Internacional de Hidrogeólogos.

PARA SABER MÁS....

Bermejo Meléndez, J., Campos, J.M. (eds.) (2020). *Aqua Onobensis. El acueducto de Onoba Aestuarium*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 296 p.

Camacho, M. A., García Navarro, E. y Alonso Chaves F.M. (2008). *Ingeniería Geológica*. En: *Geología de Huelva: lugares de interés geológico*, 2º edición. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, Huelva, 52-55.

García Navarro, E., Camacho, M.A, y Morales, J.A. (2009). *Características geológico-geotécnicas del relleno holoceno de la Ría de Huelva*. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22(3-4): 221-230.

Lara Ródenas, M.J. (1996). *El abastecimiento de agua en la Huelva del antiguo régimen. El acueducto y las formas de su presencia social*. En: *El agua en la historia de Huelva*. Ed. Empresa municipal de Aguas de Huelva S.A, 59-113.

Mayoral, E. y Abad, M. (2008). *Geología de la Cuenca del Guadalquivir*. En: *Geología de Huelva: lugares de interés geológico*, 2º edición. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, Huelva, 20-27.

Olías, M., Rodríguez Cárdenas, A., Adame, J.A. (2020). *Contexto hidrogeológico de los Cabezos de Huelva y el antiguo sistema de abastecimiento de agua*. En: *Aqua Onobensis. El acueducto de Onoba Aestuarium*, 22-47.

Peña Guerrero, M.A. (1996). *La cuestión del agua en la Huelva contemporánea. Los sistemas de abastecimiento entre la tradición y el progreso*. En: *El agua en la historia de Huelva*. Ed. Empresa municipal de Aguas de Huelva S.A, 115-158.



NOTAS

MATA BEJID Y ARBUNIEL, DOS MANANTIALES IGUALES... PERO DIFERENTES

EXCURSIÓN GRATUITA

Plazas limitadas a **40 asistentes**, por orden de inscripción hasta **20 marzo**

IMPRESINDIBLE RESERVA PREVIA

Formulario de Google Forms:

<https://forms.gle/o2hk3yaKCdEir74v8>

E-mail de contacto: respino@ujaen.es

PUNTO DE ENCUENTRO

Parada de Autobuses Rotonda Pavos Reales (Campus de Las Lagunillas de la Universidad de Jaén)

HORA SALIDA: **9:30 h**

HORA FINALIZACIÓN APROX.: **14:30 h**

Se recomienda llevar:

- Ropa y calzado cómodo
- Agua y comida

ORGANIZAN



Universidad
de Jaén

Departamento de Geología



GrupoMéxico
MINERÍA

Mínera Los Frailes

26 de marzo de 2022



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022



HIDROGEODÍA

2022



Universitat de Lleida
Departament de Medi Ambient
i Ciències del Sòl



ETSEA
Universitat de Lleida

Sábado, 26 de marzo de 2022 Las aguas subterráneas de la Conca de Tremp – Isona (Lleida)

Profesorado de la excursión: Josep Maria Màsich, Manel Pascual y Carles Balasch.

Visita guiada con las siguientes paradas:

- 1.- Port de Comiols.
- 2.- Pozo de Conques
- 3.- Estany de Basturs
- 4.- Embalse de Talarn
- 5.- Llac de Cellers
- 6.- Congost de Terradets y Forat de l'Or
- 7.- Cabalgamiento del Montsec.

INSCRIPCIÓN Y TRANSPORTE GRATUITOS

HORA DE ENCUENTRO: 8:15 h.

LUGAR DE ENCUENTRO: Rectorado de la UdL Puerta de la Rambla d'Aragó desde donde se partirá en autocar hacia el Port de Comiols.

Se comerá en el Hostal del Lago. La inscripción no incluye la comida que ira a cargo de cada participante (opción de picnic). Hora de regreso al Rectorado de la UdL: 19:30 h

IMPRESCINDIBLE RESERVA PREVIA mediante correo electrónico enviado a

medi6655@gmail.com

indicando nombre, apellidos y teléfono de contacto. La aceptación será por riguroso orden de recepción de los correos hasta un máximo de 50 participantes.

Para más información:

<http://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

Fluvial
Dynamics
Research
Group

RIUS



22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guiadas por especialistas en hidrogeología. En este su primer año, se ha querido sumar a la actividad la Universitat de Lleida.

INTRODUCCIÓN

La presente guía resume el contenido de la excursión organizada por el **“Departament de Ciències de Sòl i Medi Ambient” de la “Universitat de Lleida”** como actividad conmemorativa del día Mundial del Agua del día 26 de marzo de 2022, dedicado en este año a las Aguas Subterráneas.

El objetivo principal de la ruta es explicar los principios del funcionamiento del acuífero principal de la Conca de Tremp – Isona constituido por las areniscas de Areny (Cretácico superior) y descubrir sus

manifestaciones sobre el terreno. Las explicaciones a lo largo de la jornada, además

de conocer la hidrogeología de la conca, permiten, también, analizar el marco hidrológico, su contexto histórico desde Lleida hasta la conca.

ITINERARIO

Durante el trayecto hasta la primera parada se hace una presentación genérica del HIDROGEODIA, se informa sobre la ruta y se comenta el marco hidrológico y social en el que se sitúa la zona visitada y el Prepirineo de Lleida.

Finalmente, ya en la Vall d'Àger, se explica brevemente la sedimentología de los materiales eocénicos cabalgados por el manto del Montsec y se da por concluida la excursión. La ruta que se seguirá, indicada en la Figura 1, consta de las siguientes paradas:

- EXPLICACIÓN EN RUTA. HIDROLOGIA Y SOCIEDAD EN LAS TIERRAS DE LLEIDA.
- PARADA 1. ALTO DEL COLL DE COMIOLS.
- PARADA 2. POZO SURGENTE DE CONQUES.
- PARADA 3. ESTANYS DE BASTURS.
- PARADA 4. PRESA DE TALARN.
- PARADA 5. EMBALSE DE TERRAETS.
- PARADA 6. CONGOST DE TERRAETS Y FORAT DE L'OR.
- PARADA 7. FRENTE DEL CABALGAMIENTO DEL MONTSEC.

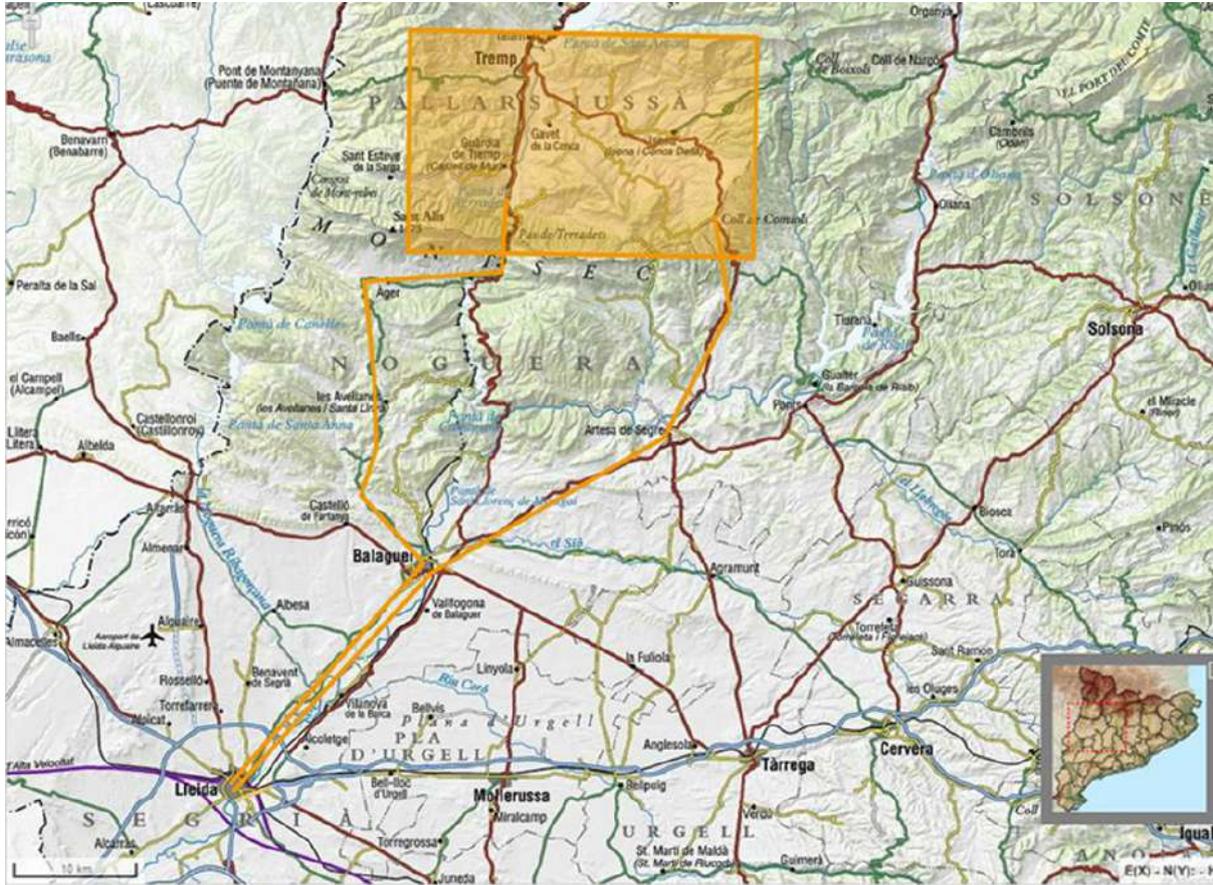


Figura 1. Recorrido de la excursión conmemorativa del día mundial del agua 2022 (HIDROGEODÍA) sobre las Aguas Subterráneas de la Conca de Tremp-Isona.

Desde la salida de Lleida hasta la llegada a la primera parada prevista en la jornada se sigue paralelamente el río Segre y el canal hidroeléctrico de Balaguer. El paisaje invita a explicar el contexto hidrológico-social de la provincia de Lleida, que se irá ampliando durante la excursión.

Esta demarcación occidental catalana está atravesada de norte a sur por los ríos Segre (el más oriental), el Noguera Pallaresa y el Noguera Ribagorçana (el más occidental).

Los Nogueras aportan sus aguas al río Segre entre Camarasa y Corbins, aguas abajo de Balaguer, y este las tributa finalmente al río Ebro.

La generosa pluviometría e innivación en la zona Pirenaica, donde nacen los ríos mencionados y las importantes infraestructuras de regulación de los ríos (embalses de Baserca, Escales, Canelles, Santa Anna en la Noguera Ribagorçana, Talarn, Terradets, Camarasa en la Noguera Pallaresa y, Oliana y Rialp en el Segre, entre otros) ha

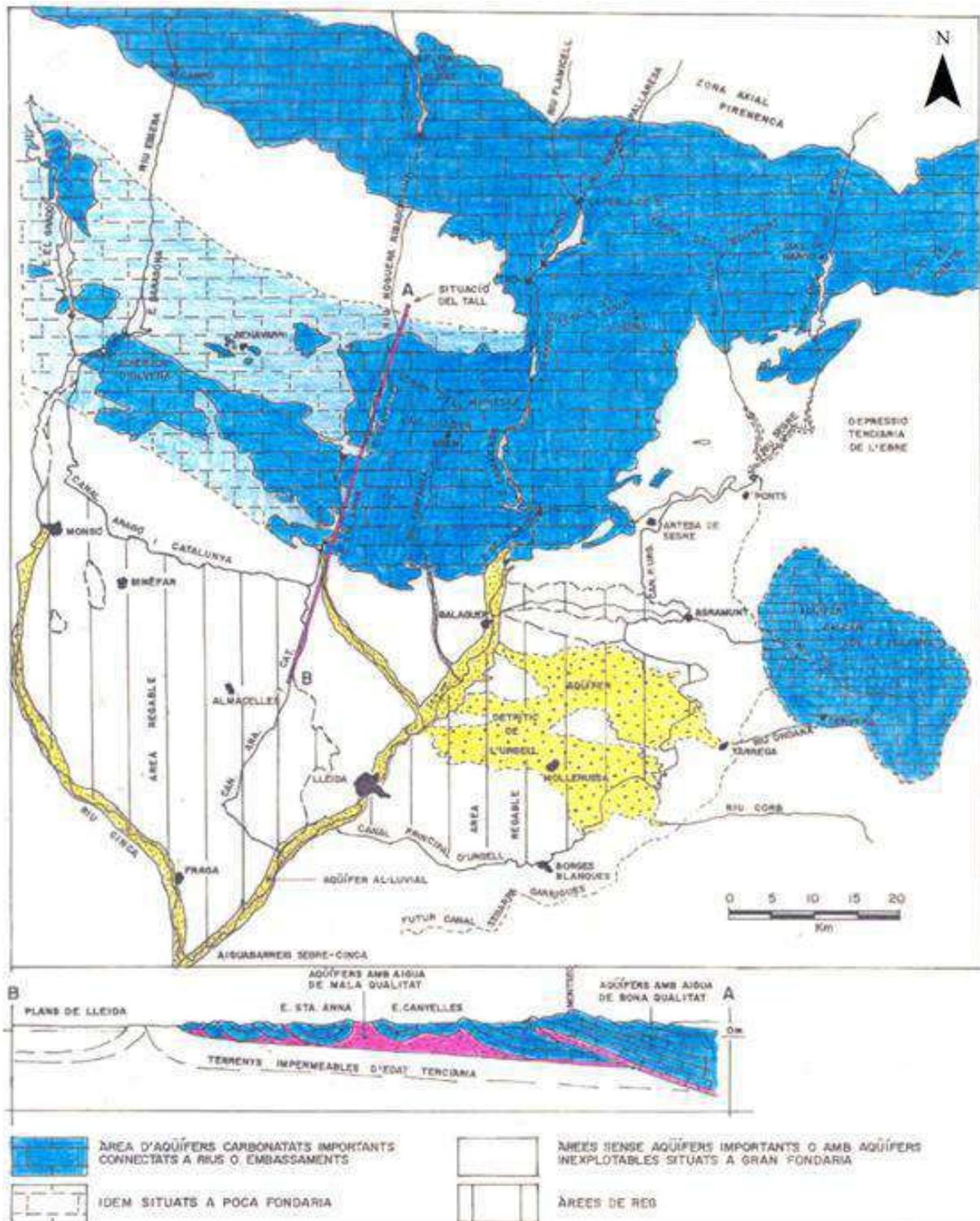


Figura 2. Mapa esquemático donde se representan los principales ríos, embalses, canales de riego, principales zonas de regadío y principales zonas acuíferas (en azul acuíferos con permeabilidad por fisuración, fracturación y/o karstificación, y en amarillo los acuíferos detríticos, incluye perfil ilustrativo), entre el río Cinca y límite oriental de la cuenca del río Segre. Hay que señalar que el canal Segarra-Garrigues, en trazos en el esquema, ya es una realidad).

ha permitido que las zonas áridas del sur puedan beneficiarse de importantes zonas de regadío y de una generación de energía hidroeléctrica muy notable (Figura 2).

Actualmente los tres ríos están intensamente explotados principalmente por las demandas de los riegos de los Canales de Urgell, Algerrí-Balaguer, Pinyana, y Aragón y Cataluña, y por los numerosos saltos y canales hidroeléctricos de los embalses antes mencionados (canales de Balaguer y de Serós, principalmente).

El agua que se va derivando hacia los canales desde la parte media de las cuencas, se retorna al río Segre en el sur de la provincia (Figura 3).

Mientras, en los ríos, entre los puntos de derivación y los retornos al Segre, los caudales están muy disminuidos respecto a los que debieran circular en situación no influenciada. Las aguas captadas circulan decenas de kilómetros por los canales generando en los ríos, principalmente en el Segre, problemas ambientales por bajo caudal e incrementos de las concentraciones en nitratos (Figuras 3-4).



Figura 3. Mapa del tramo bajo del río Segre con los canales hidroeléctricos de Balaguer y de Serós que discurren paralelamente al río con una parte importante de su caudal. Fotografías del río Segre aguas debajo de Camarasa (foto izquierda) y a su paso por la localidad de Vilanova de la Barca junto al canal hidroeléctrico de Balaguer que discurre paralelamente al río con un caudal importante (foto derecha).

hídricos mencionados con una garantía de suministro sostenible ambiental y

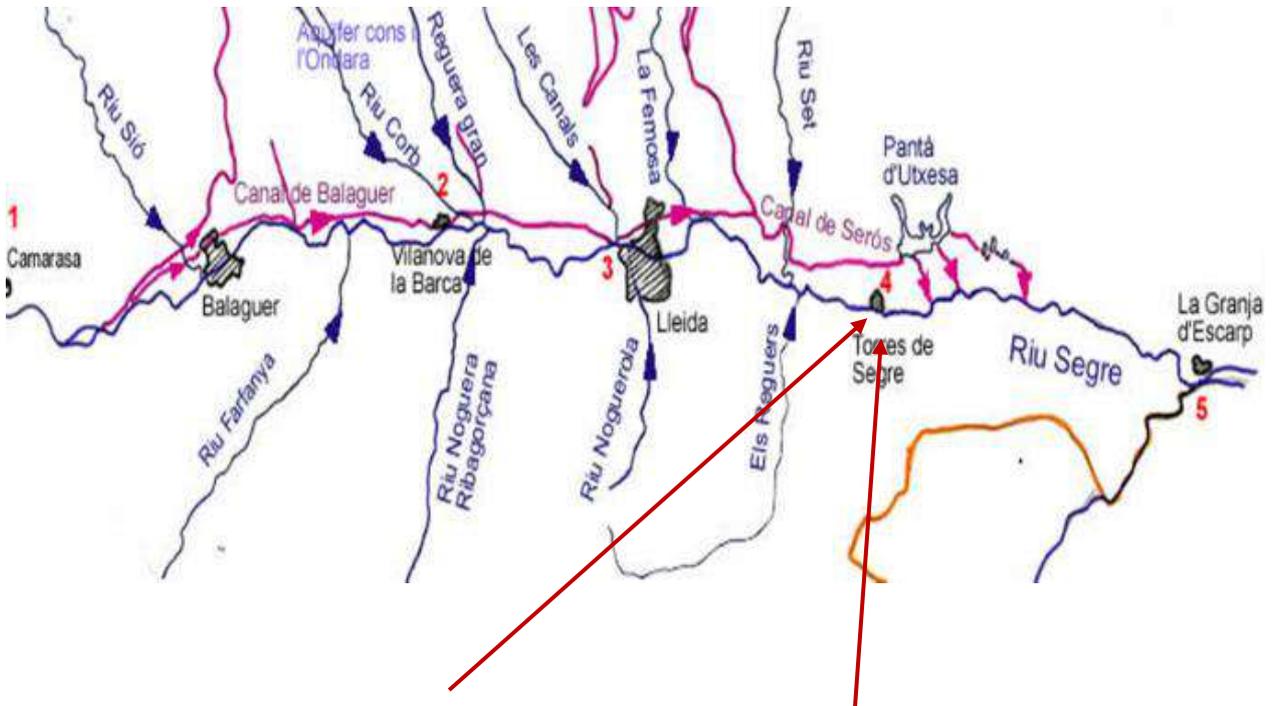


Figura 4. Idem que la figura anterior. Las imágenes muestran el aspecto del río Segre en las inmediaciones de Torres de Segre en épocas secas donde se pueden observar los efectos de la presencia elevada de nutrientes y bajos caudales que favorecen el estancamiento de aguas, anoxia, eutrofización, exceso de macrófitos, disminución de biodiversidad, presencia de mosca negra, etc. En épocas húmedas estos problemas disminuyen, pero en general se están incrementando.

A estos problemas, en los últimos años, se une la demanda de la nueva zona de regadíos del Canal Segarra – Garrigues, la cual, sumada a las anteriores, permite plantearse seriamente si son suficientes los recursos hídricos disponibles para todos los requerimientos

económico, o al menos analizar que modelos sociales son los más adecuados ante este escenario.

En la figura 5 (cálculos estimativos propios) se ilustra que podría haber pasado al principio del

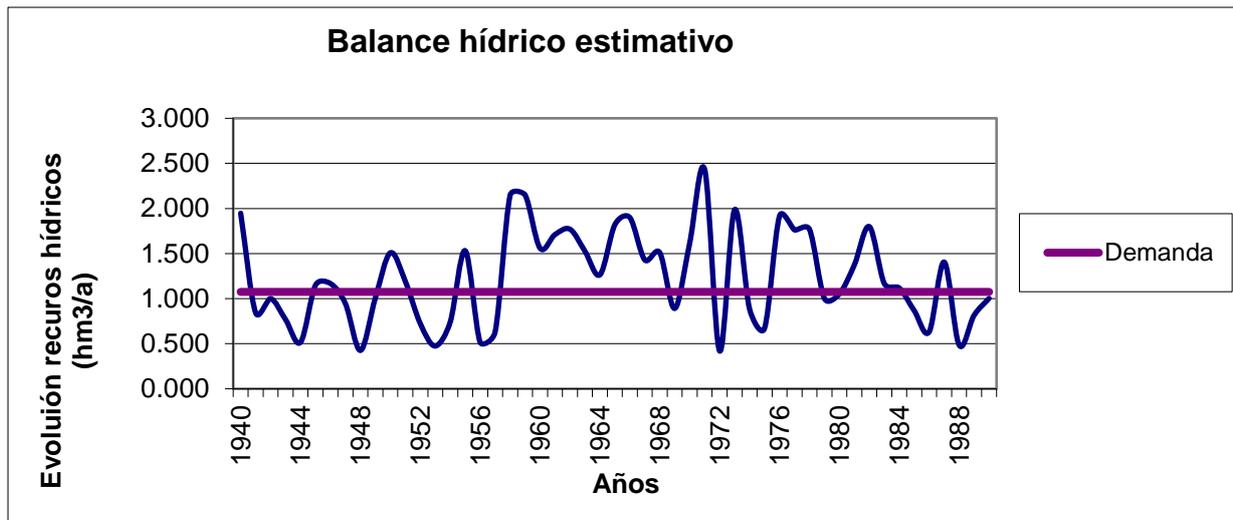


Figura 5. Gráfico donde se ilustra (cálculos estimativos propios) que podría haber pasado en el periodo medio del siglo pasado (entre 1940 y 1990), si en las condiciones climáticas de aquellas épocas (precipitaciones, temperaturas, evapotranspiraciones...) hubiera existido la demanda máxima que actualmente se prevé para un futuro próximo, es decir, suponiendo la necesidad de respetar caudales ambientales mínimos en los ríos (Segre y Noguera Pallaresa) de 347 hm³/año, demandas de los canales de Urgell de 470 hm³/año, demanda urbana e industrial de 40 hm³/año y una demanda del Canal Segarra-Garrigues de 218 hm³/año. La línea malva representa la demanda total y el trazo azul marino la evolución temporal de los recursos hídricos originados de forma natural en las condiciones climáticas de aquellos años en las cuencas de los ríos Noguera Pallaresa y Segre. Se observa como durante muchos años los recursos disponibles no satisfacen las demandas y solo en series de años húmedos hay excedentes respecto a la demanda (principalmente años 60 – 70).

siglo pasado, si en aquellas épocas hubiera existido la demanda máxima que ahora se prevé para un futuro próximo.

Estas previsible bajas garantías en cuanto a la satisfacción de las necesidades hídricas para todas las actividades de la demarcación permiten plantearse, que, ante la realidad del cambio climático, la sostenibilidad de las demandas futuras mencionadas que se prevén presenta serias dudas de ser viable, o al menos se hace necesario ser conscientes de la realidad para adaptarse a ella.

Dentro de este escenario es donde se encuentran una serie de acuíferos que almacenan importantes cantidades de agua y durante la ruta se expondrá el posible papel que estos pueden desempeñar ante las perspectivas expuestas. En la ruta, el acuífero de la Conca de Tremp-Isona vehiculará las explicaciones, y como se verá, aunque es un acuífero útil para solución de los problemas locales, no lo es para contribuir a soluciones globales sobre la problemática planteada en la gestión de grandes recursos.

PARADA 1. ALTO DEL COLL DE COMIOLS

Desde lo alto del Coll de Comiols (entrada al Geoparque Mundial UNESCO Origenes) contemplando el paisaje de la Conca de Tremp-Isona (Figura 6), se exponen los objetivos de la excursión, la situación geográfica del recorrido y el contexto geológico que se observará durante el mismo.

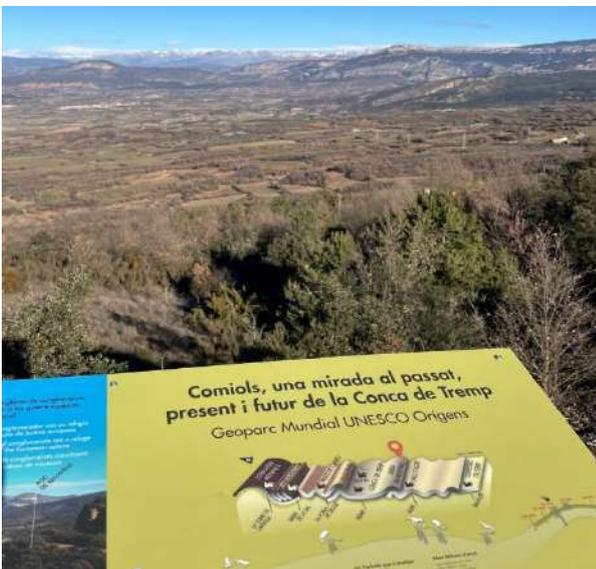


Figura 6. Vista panorámica de la Conca de Tremp-Isona y entrada al “Geoparque Mundial UNESCO Origenes”.

Situación geográfica y contexto geológico

La conca de Tremp-Isona se sitúa en el centro geográfico de la Provincia de Lleida, en la margen izquierda del río Noguera Pallaresa entre Tremp, Isona y el Congost de Terradets (La Guardia de Noguera).

Geológicamente forma parte del conjunto de formaciones sedimentarias mesozoicas y terciarias, entre los cabalgamientos del Montsec (al sur) y de Sant Corneli-Boixols (al norte). La serie, en vertical, comprende desde el Triásico hasta el Oligoceno. La constituyen conjuntos de materiales carbonatados, areniscas, margas y conglomerados. Durante la excursión nos interesa centrar la atención en las formaciones siguientes: calizas campanienses, **areniscas maastrichtienses (areniscas de Areny)**, **margas y arcillas de la facies garumniense**, calizas del llerdense (Eoceno) y conglomerados oligocénicos.

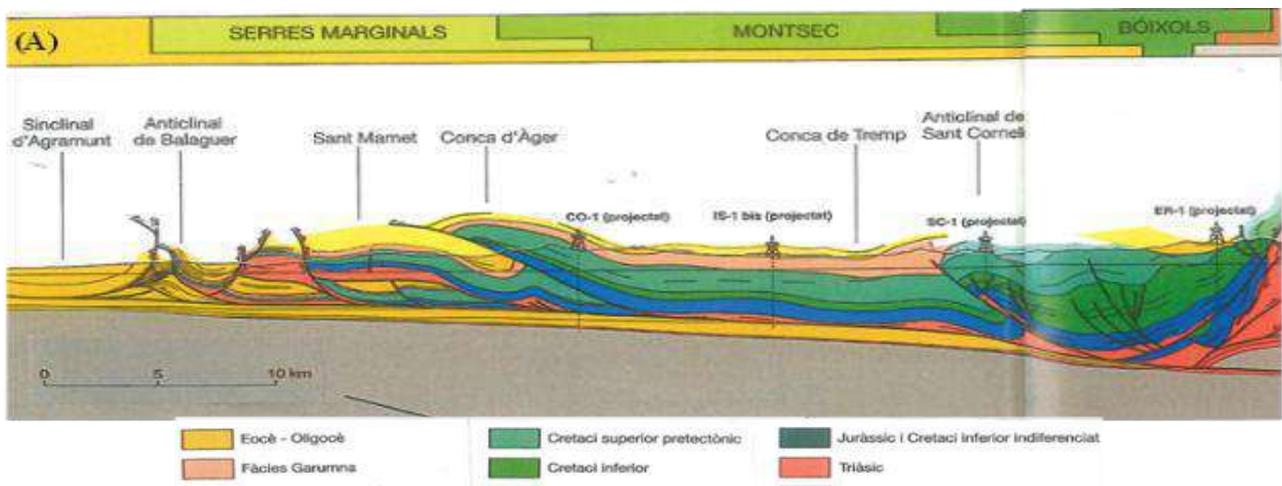


Figura 7. Parte meridional del perfil ECORS mostrando los sedimentos del Triásico, Jurásico, Cretáceo, Eoceno y Oligoceno plegados como consecuencia de la orogenia Alpina (IGCC, 2016).

La Figura 7 reproduce la parte meridional del llamado perfil ECORS que ilustra la estructura geológica actual de los materiales mesozoicos de los Pirineos de los cuales forma parte la zona visitada. Esta disposición estructural de los materiales mesozoicos y cenozoicos de los Pirineos meridionales es resultado de la historia geológica de la sedimentación marina que se originó en el mar protoatlántico que posteriormente, una vez plegado, dio lugar al levantamiento de la cordillera.

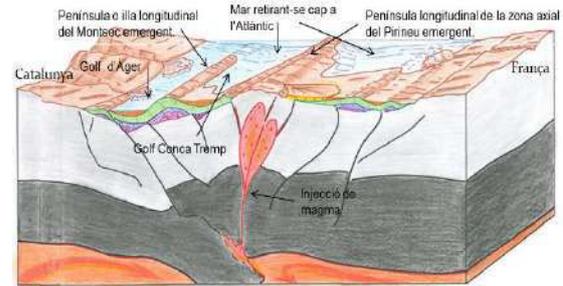
La evolución paleogeográfica se inicia hace unos 250 millones de años (principios del Triásico), cuando la zona estaba afectada por una etapa distensiva que separaba Europa de la península Ibérica durante 150 millones de años. Durante todo este tiempo se dieron procesos de sedimentación principalmente en ambiente marino, que acumularon centenares de metros de sedimentos que se visualizaran durante la excursión. Cuando la etapa distensiva deja paso a la compresiva, durante la cual el mar Pirenaico empieza a retirarse hacia el actual Golfo de León, empiezan a emerger tierras de Este a Oeste.

Durante esta etapa, los sedimentos marinos mesozoicos empiezan a plegarse y deslizarse en sentido sur, en la vertiente catalana y norte en la francesa, que darán lugar a los cabalgamientos de las Sierras marginales (Camarasa, Montroig), Montsec (que se visitará) y Boixols en la parte catalana. Se formaron brazos de mar con penínsulas o islas longitudinales orientada de O-E, abiertas al Atlántico (Figura 8A) dándose un ambiente ideal para la presencia de vida abundante, entre la cual los dinosaurios, restos de los cuales se exponen en Coll de Nargó y Isona.

Posteriormente durante el levantamiento de la cordillera, tras algunas transgresiones marinas de menor entidad (calizas con alveolinas del Ilerdiense), es cuando empiezan a predominar los procesos erosivos que originan grandes

masas conglomeráticas de las que son testimonios las formaciones de la Pobla de Segur y que también se observan en el Coll de Comiols (Oligoceno).

A)



B)

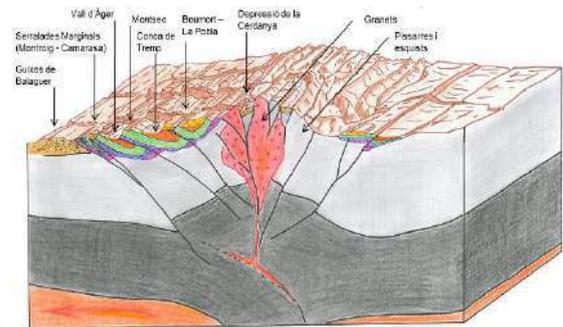


Figura 8. Ilustraciones del proceso de formación de los Pirineos. A/ Situación hace 40-65 millones de años (~Eoceno). El mar pirenaico se va retirando hacia la situación del actual golfo de León. B/ Situación parecida a la actual. Se han formado los cabalgamientos y los valles fluviales actuales se han encajado formando congostos (Terradets, Collegats, Camarasa, Montrebei, Escalles, etc.) Los esquemas son adimensionales y únicamente ilustrativos (Pascual et al. 2021).

Finalmente, la red fluvial y el glaciario cuaternario desciende desde la zona axial pirenaica hacia las cuencas del Ebro en la península y hacia Aquitania en la vertiente francesa. Los nuevos glaciares y/o ríos se van encajando en las formaciones geológicas precedentes, ya compactadas y consolidadas, dando como resultado la morfología actual (Figura 8B).

El acuífero de la conca de tremp-isona

El acuífero confinado de la Conca de Tremp-Isona está constituido por la formación de las areniscas de Areny (Cretácico superior) con permeabilidad por fisuración y fracturación. Las areniscas se disponen en forma de gran sinclinorio

de acuerdo con el estilo paisajístico de la conca. El flanco norte del sinclinal lo constituye la sierra de Sant Corneli y el flanco sur la sierra del Montsec de Rubies. La formación de areniscas está cubierta por sedimentos impermeables de margas de la facies garumniense del Paleoceno de forma que confinan el acuífero.

El área de recarga de agua de las areniscas se sitúa en los afloramientos periféricos de las mismas (sierras de Sant Corneli, de Biscarri, de Comiols y del Montsec de Rubies). En estas zonas el acuífero es libre, y en épocas lluviosas puede descargar por numerosas fuentes situadas en los contactos entre areniscas y margas confinantes.

La circulación subterránea se inicia en las áreas de recarga y fluye en dirección a las zonas de descarga aprovechando la fracturación de las areniscas. Las direcciones de los flujos en la mitad norte del acuífero se indican en la figura 9.

En profundidad el agua que ocupa las fisuras u oquedades en las areniscas se encuentra a una presión que está relacionada con la altura piezométrica de cada lugar en concreto. En régimen no influenciado, la altura piezométrica depende de las cotas snm del nivel del agua subterránea en las áreas de recarga y consecuentemente de la recarga, así como de la distribución espacial de la transmisividad del acuífero y de los niveles de descarga.

Las principales áreas de descarga natural son los Estany de Basturs, el drenaje difuso del acuífero hacia los pequeños ríos Conques y Abella, así como al río Noguera Pallaresa y al embalse de Talarn.

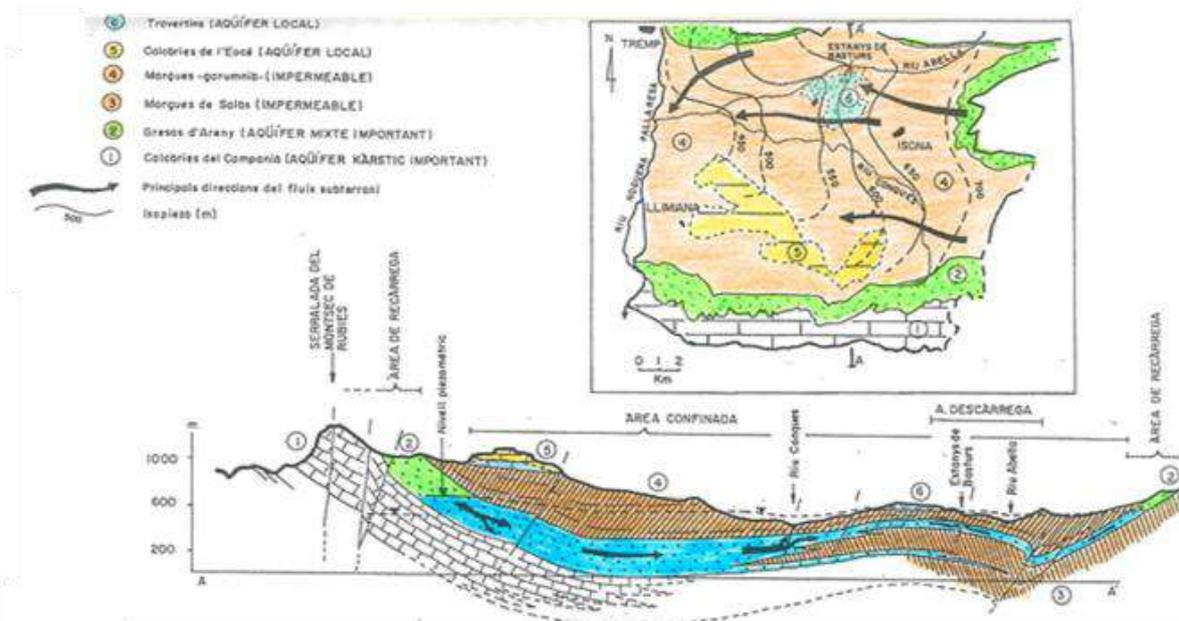


Figura 9. Mapa, piezometría tentativa y corte ilustrativo de la hidrogeología de la conca de Tremp-Isona (Pascual et al. 1996). Las letras A-A' del corte sirven para localizarlo en el mapa.

PARADA 2. POZO SURGENTE DE CONQUES

Durante finales de los años ochenta y durante la década de los 90 del siglo pasado, la extinta Junta d'Aigües de Catalunya (actual Agència Catalana de l'Aigua), realizó una serie de sondeos experimentales y obras auxiliares para el abastecimiento de agua a numerosas poblaciones de la comarca del Pallars Jussà. En aquella época el desarrollo económico, turístico y principalmente ganadero de la Comarca hacia insuficientes las tradicionales fuentes de abastecimiento de que disponían históricamente los pequeños núcleos de población de una comarca eminentemente rural con una economía de subsistencia. Por otro lado, captar directamente las aguas del río Noguera Pallaresa era poco viable des del punto de vista económico dadas las distancias y grandes elevaciones a realizar para una escasa población beneficiaria.

Se planteaba, pues, la solución mediante las aguas subterráneas. No existía en aquel momento demasiada información técnica, ni conocimiento científico sobre la hidrogeología de la región. No obstante, Alfons Bayó (insigne hidrogeólogo catalán que da nombre al Premio Alfons Bayó de la AIH), había estudiado y solucionado el abastecimiento de Tremp mediante un pozo cercano al Noguera pero que captaba las aguas de las areniscas de Areny, aguas abajo de la presa de Talarn. Era el único antecedente de las posibilidades del acuífero. En base a aquellos estudios des de la Junta d'Aigües se inició la campaña de estudios previos y de sondeos mencionada que a lo largo de la década permitió ir solucionando la mayor parte de las demandas.

La figura 10 reproduce un díptico que se confeccionó para la difusión entre la población de la comarca sobre los estudios que se habían realizado, así como de las perforaciones que llevaban a cabo.

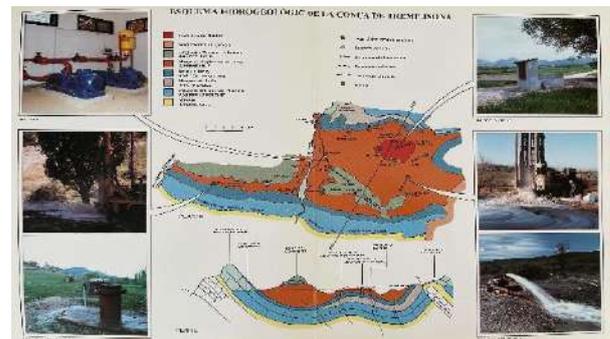
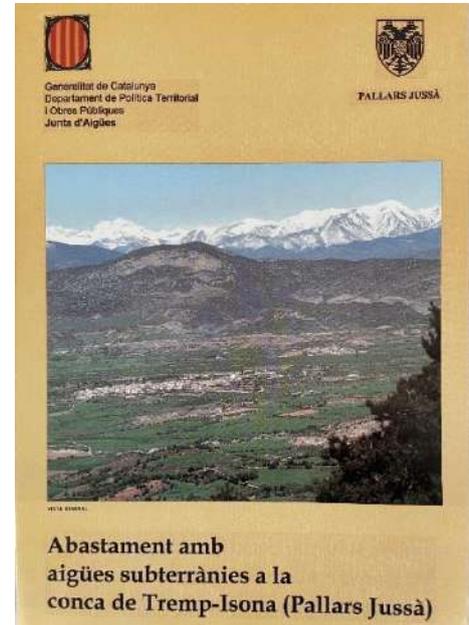


Figura 10. Díptico informativo de las campañas de estudios y sondeos durante los años 80 y 90 en la Cuenca de Tremp-Isona. Se pueden observar fotografías de algunos de los sondeos realizados en aquella época.

Entre los sondeos que se adaptaron después como pozos de abastecimiento está el pozo de Conques construido en 1989. Es un ejemplo de captación simple, económica y de fácil mantenimiento que ha solucionado el abastecimiento público y de algunas granjas durante los últimos 35 años.

La figura 11 corresponde a la ficha que resume las características técnicas de la captación.

FICHA TÉCNICA DE PUZOS DE AGUA SUBTERRANEA

Comarca: **PALLARS JUSSÀ** Índex: **53123**

Província: **LLEIDA** Mapa: **ISO/A**

Term. municipal: **ISOLA I COMCA D'ALLÀ** Coordenades UTM: **33600**

Región: **POU CONQUES** Cota del sol (superfície: 20 m): **6000**

Sistema abast.: **GROSSOS D'ARENY**

Tips: **Rotoperforació** Peforació (m): **150** Longitud (m): **29**

Diàmetre (mm): **180** Data de construcció: **89**

Propietari: **UNTA D'AIQUES CATAL. (SERV. POUENT)** Adreça: **A. Francesc MACIÀ, 19-LLEIDA** Telèfon: **240550**

Contractador: **CATALAIA DE PERFORACIONS S.A.** Adreça: **Majors, 8 - La Fonteta - Sabadell** Telèfon: **886611**

Ubicació: **CONQUES**

EQUIP DE BOMBEG

MOTOR: **BOMBA**

Tipus: **BOMBA**

Característiques tècniques: **190689**

DIÀMETRE DE LA BOCAL

Tipus: **Sergent**

CARACTERÍSTIQUES GEOLOGIQUES DEL L'ADQ PER

Tipus d'aquífer: **Confinat**

Edat geològica: **Quaternària**

Permeabilitat del sòcol: **0,6**

Permeabilitat del sòcol: **4,5**

CARACTERÍSTIQUES DE LA BOCAL (m/m)

Al ser un pou surgent, para evitar el alumbramiento de agua descontrolado, la boca del pou se finalizó mediante la cementación del espacio anular de los primeros 20 m de perforación con 300 mm de diámetro y se selló la boca con platina de acero dotada de manómetro para medir la presión piezométrica. El resto del sondeo está revestido de hierro de 180 mm de diámetro.

El pou era surgent como cabía esperar dada la cota de la boca del pou y los niveles piezométricos del acuífero en la zona del emplazamiento. Al finalizar la perforación surgían de forma natural unos 9 m³/h, caudal suficiente para la demanda de una población máxima de unos 500 habitantes en el verano y una demanda máxima de unos 120 m³/día.

El pou es capaz de suministrar mucho más caudal si se instala una bomba sumergida en el pou y se bombea. Según los ensayos de bombeo y de recuperación (aforo) realizados en 1989, con bombeo se podría llegar a un rendimiento de más de 50 m³/h con un descenso del nivel del agua en el pou de 60m. La transmisividad obtenida fue de 27 m²/día.

Normalmente estos núcleos de población mantienen sus antiguas captaciones de suministro que suelen ser pequeñas fuentes y hacen un uso combinado con los pozos.

Actualmente se está incrementando excesivamente la explotación del acuífero mediante la construcción de nuevos pozos para granjas y riegos. Esta es una situación preocupante para la sostenibilidad ambiental y la para la preservación de los abastecimientos públicos.

POU CONQUES

CARACTERÍSTIQUES TÈCNICIS

| Diàmetre | Tipus | Observacions | Diàmetre | Tipus | Observacions |
|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
| 3-15 | 415 | rotoper. | 0-20 | 300 | Ferro |
| 15-20 | 315 | rotoper. | 20-95 | 180 | Ferro |
| 20-95 | 220 | rotoper. | | | |

TALL GEOLOGIC

| Profunditat (m) | Litologia | Observacions |
|-----------------|---------------------------------|--------------|
| 0-6 | Masses grises i molt plàstiques | |
| 6-26 | Masses grises | |
| 26-38 | Arreniscs i marges grises | |
| 38-54 | Arreniscs grises | |
| 54-62 | Litologia desconeguda | |
| 62-72 | Arreniscs i marges grises | |
| 72-95 | Arreniscs i marges grises | |

ANÀLISI QUÍMICA TIPUS

| Tipus | Resultat | Unitat |
|------------------|----------|--------|
| H ₂ O | | mg/l |
| SO ₄ | | mg/l |
| Cl | | mg/l |
| NO ₃ | | mg/l |

COL·LECCIÓ D'ANÀLISI D'AGUA

0-20 m: 10 m³/h amb compressor

20-30 m: 60 m³/h amb compressor

30-40 m: 4 m³/h artesian

40-50 m: 50 m³/h artesian

Observacions: Pou experimental realitzat per la Junta d'Aigües a l'edifici de l'ajuntament d'Isola Comca d'Allà a la D.C.O.N. Estudi hidrogeològic: J. Lluís GONZÀ MATILLA. Emplazament i direcció d'obra: J. Manuel PASQUAL i Gaus.

Origen del pou: **UNTA D'AIQUES, SERVEI DE POUENT, SECCIÓ D'HIDROGEOLOGIA**

Autògraf: **J. Manuel PASQUAL** Data: **15/06/89**

Figura 11. Ficha técnica del pou de Conques.

PARADA 3. ESTANYS DE BASTURS

Los dos pequeños lagos de Basturs se sitúan a 1 km de la población del mismo nombre perteneciente al municipio de Isona i Conca Dellà. Ocupan un promontorio en la parte norte de la Conca de Tremp-Isona. Son surgencias naturales originadas por el ascenso vertical del agua subterránea que sometida a presión intenta alcanzar la cota del nivel piezométrico a través de fracturas o intersecciones de fracturas que afectan al acuífero confinado de la Conca y también a los niveles de margas impermeables suprayacentes (Figura 12).

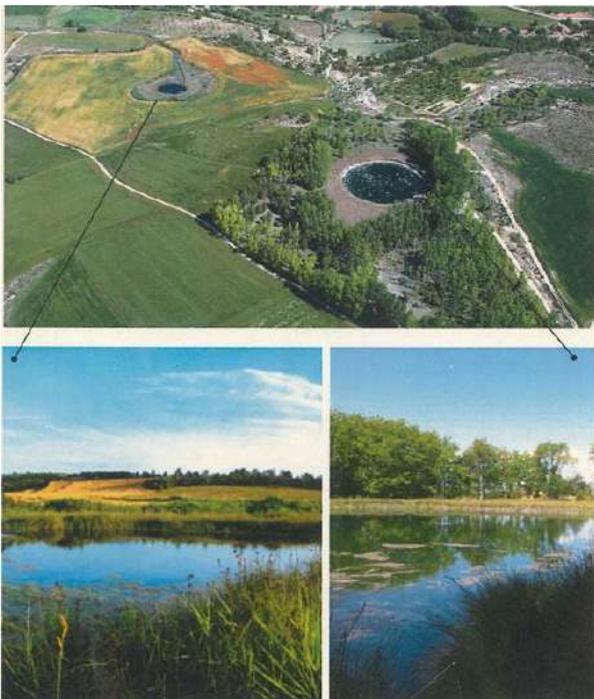


Figura 12. Vista aérea de los Estanys de Basturs y detalles del lago Grande y Pequeño.

Los Estanys de Busturs actúan como zona de descarga del acuífero de la cuenca, constituido, como se ha dicho, por las areniscas de Areny.

El lago pequeño vierte agua casi permanentemente, mientras que el grande lo hace únicamente cuando los niveles piezométricos están muy altos en épocas muy lluviosas.

Durante el Cuaternario, en periodos más húmedos, la descarga se vehiculaba también por otros lagos situados a cotas más elevadas a las de los actuales de Basturs, de los que quedan restos fósiles en la montaña de Conques. A escala regional, las variaciones interanuales de la recarga en todo el acuífero originan oscilaciones naturales del nivel piezométrico. En el lago pequeño, estas oscilaciones se traducen en variaciones del caudal de descarga, mientras que en el lago grande se manifiestan directamente en variaciones del nivel del agua en el lago.

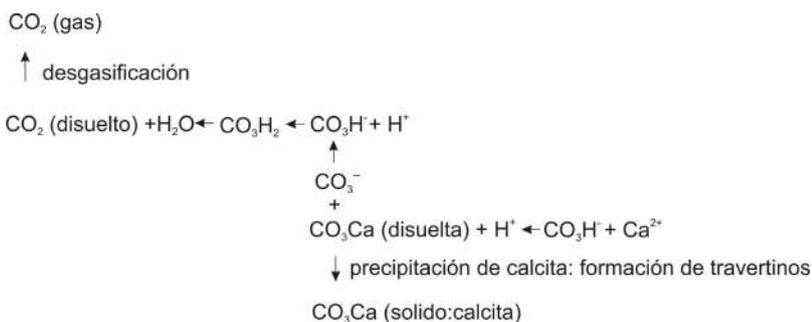
La configuración del sistema actual de los dos Estanys de Basturs, que tienen una diferencia de unos 2,6 m entre las cotas de las superficies libres del agua de ambos lagos, origina que la descarga habitual se haga únicamente por el lago pequeño (de menor cota). El caudal surgente es variable, pudiendo oscilar entre pocos litros por hora a 200 m³/h. El lago grande actúa como un afloramiento del agua subterránea sin ningún tipo de salida, excepto en épocas excepcionalmente húmedas.

A parte de los dos lagos visibles existe un tercer lago intermitente situado a un centenar de metros al oeste del lago grande que surgió por primera vez en los años noventa, después de un periodo de lluvias abundantes y que solo aparece en épocas excepcionalmente húmedas y un cuarto lago situado al este del lago pequeño drenado por un pozo de abastecimiento al núcleo de Figuerola, situado en su centro.

Las aguas de los Estanys y de otras surgencias de la Conca de Tremp-Isona son bicarbonatadas cálcicas, con una conductividad alrededor de los 500 microS/cm y un pH aproximado de 7.2. Todas las aguas están saturadas respecto a la calcita, siendo la saturación algo mayor en los Estanys de Basturs.

El sistema de descarga de los lagos funciona desde hace centenares de milenios. Testimonio de su funcionalidad son los depósitos de travertinos depositados que coronan toda pequeña montaña de Conques, en la cima de la cual se emplazan los lagos. Estas formaciones travertínicas se han originado por la precipitación de la calcita disuelta en agua subterránea durante su alumbramiento natural y circulación posterior por la superficie del terreno.

Los travertinos o tobas calcáreas son calizas, en la mayoría de los casos de origen fontinal o de interiores de sistema cársticos, caracterizadas por una alta porosidad visible a simple vista y que incorpora restos de vegetales o residuos del ambiente deposicional en el entorno de las surgencias. El proceso hidrogeoquímico que da como resultado estas deposiciones de travertinos se inicia cuando las aguas subterráneas surgen al exterior (también dentro de cavidades a presión atmosférica). El CO₂ se desprende y las reacciones se desplazan en el sentido indicado a continuación:



El efecto es la precipitación de carbonato cálcico a pie de las fuentes o surgencias, pudiéndose formar grandes acumulaciones de carbonato que atrapan restos de hojas, raíces, etc. de plantas, así como la microfauna que esté presente.

Este proceso ha estado estudiado ampliamente por Rogelio Linares y sus colaboradores (Linares et al. 2010). La figura 13 es una reproducción del mapa de estos autores que muestra con claridad, tanto en planta como en perfil, la disposición de la formación cuaternaria. Se pueden observar dos niveles de depósitos, el superior no funcional que tiene una edad de unos 350.000 años y el inferior que ronda los 150.000 años y es el que actualmente funciona a través de los Estanys de Basturs.

La diferencia de altura entre los dos niveles indica que durante el Pleistoceno hubo dos épocas con cotas diferentes de descarga, presumiblemente vinculadas a características climáticas muy diferenciadas entre ambas épocas.

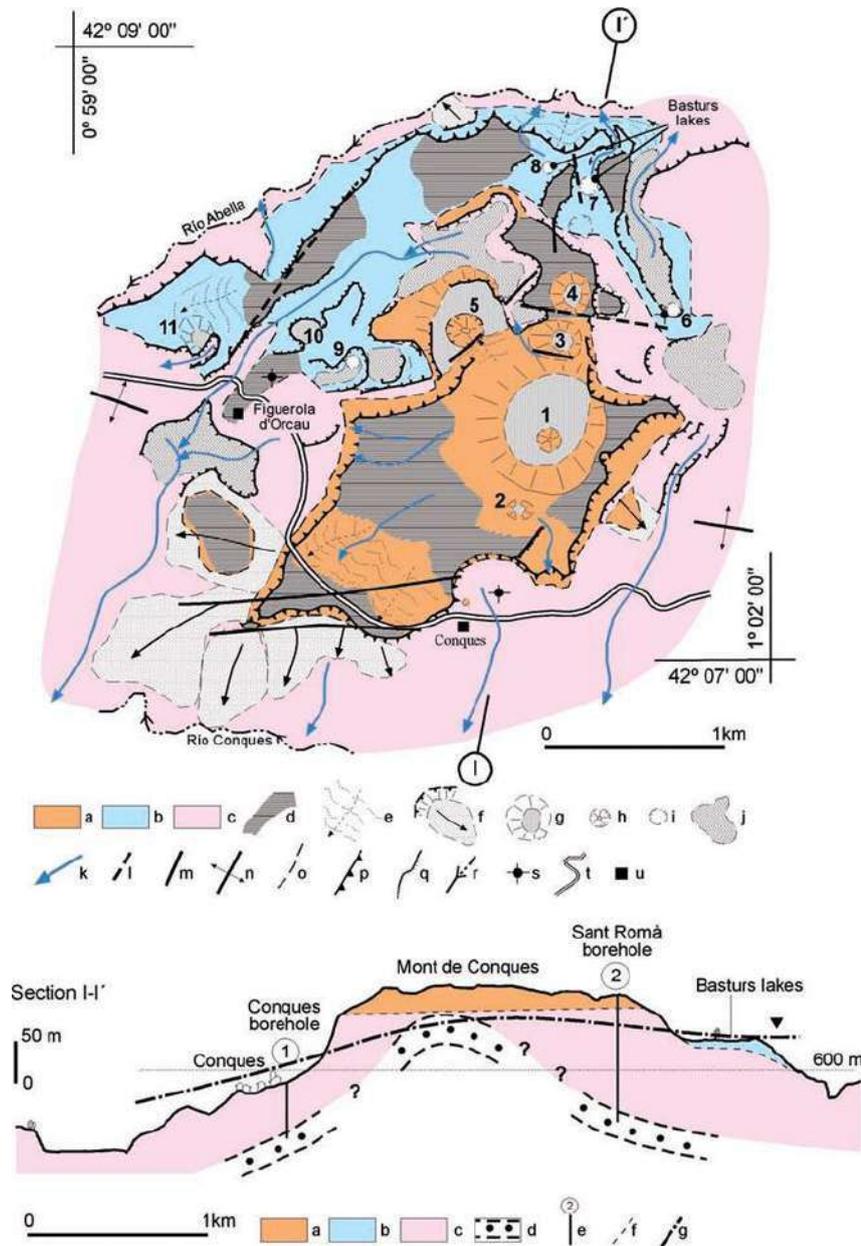


Figura 13. Mapa geomorfológico de los depósitos travertínicos en la colina de los Estanys de Basturs realizado por Rogelio Linares y sus colaboradores.

Leyenda del mapa superior: a: nivel travertínico superior; b: nivel travertínico inferior; c: formación de base (margues facies garumniense Conca de Trepmp-Isona); d: terraza de travertinos; e: travertinos en pendiente; f: deslizamientos; g: cráteres travertínicos (1:estany del col lector, 2:tossal de la Cassola, 3:el Fornon, 4:Fornons, 5:estany del Marcelino, 10:granja del General, 11:los Segalassos). h:depresiones cerradas dentro de los travertinos; i:lagos alimentados per surgencias activas (6:lago nuevo de Sant Romà-lago intermitente, 9:lago-pozo de Figuerola, 7 i 8:lagos de Basturs); j:áreas palustres de descarga de agua subterránea; k:canales antiguos y nuevos alimentados per surgencias; l:alineamientos identificados con fotografía aérea; m:fallas cartografiadas en campo; n:anticlinal; o:contacto estratigráfico discordante; p:grandes escarpes (25-80 m de altura); q:escarpes secundarios (3-25 m de altura); r:drenages; s:pozos de abastecimiento de agua potable; t:carretera; u:pueblo.

Leyenda del corte: d: contacto superior deducido del acuífero confinado; e: sondeo de investigación; f: contacte deducido; g: superficie piezométrica (Linares et al., 2010).

PARADA 4. PRESA DE TALARN

La presa y Pearson

El embalse de Talarn, también conocido con los nombres de Sant Antoni o de Tresp, fue construido entre 1913 y 1916. Tiene una altura de 86 m, 180 m de longitud de coronación y una capacidad de 227 hm³ (Figura 14). En el momento de su construcción era la presa más alta de Europa y la cuarta del mundo.



Figura 14. Vistas panorámicas de la presa de Talarn.

Pearson que vio en el desarrollo de Barcelona una buena oportunidad para el negocio energético impulsó la creación de la

“Barcelona Traction Light and Power, Company Limited” en Toronto el 12 de septiembre de 1911 que se conoció como La Canadiense.

Pearson ya tenía proyectos similares en otras zonas del mundo como en Sao Paulo, Rio de Janeiro y Ciudad de México (Figura 15). El proyecto inicial de Pearson incluía, además del embalse de Talarn, las centrales de Camarasa y de Serós. Además de la importancia de las obras, no lo era menos el reto de transportar la energía a grandes distancias. El primer circuito de alta tensión de 110.000 voltios destinado a Barcelona consistía en una línea desde Tresp y otra que partía de Serós, y un enlace de ambas en Camarasa para, desde allí, dirigirse hacia Barcelona.



Figura 15. Frederick Stark Pearson y sus grandes proyectos.

El pozo de Suterranya

La presa de Talarn se asienta directamente sobre las areniscas de Areny y por lo tanto está en relación hidráulica directa con el acuífero de la cuenca de Tremp-Isona (Figuras 14 y 16).

Durante las campañas de perforación de sondeos de los años 80 y 90 se perforó el pozo de Suterranya para el abastecimiento de la población. El núcleo, cercano al embalse de Talarn (Figura 18a), utilizaba el agua de unas fuentes cuyo caudal era insuficiente durante los veranos.

El pozo dio caudal surgente con una presión de 7 m de columna de agua. Después de su perforación, durante el ensayo de bombeo, se observó que los niveles no se estabilizaban y la recuperación al cesar el bombeo no era total (Figura 17). Al mismo tiempo se observó que en muchos pozos cercanos los niveles estáticos descendían o se tenían que incrementar los tiempos de bombeo para obtener los caudales habituales. También que se extendió por la zona preocupación por la desecación de las fuentes tradicionales, que coincidía con la construcción del nuevo pozo.



Figura 16. La fotografía muestra como el muro de la presa de Talarn se encaja en contacto directo en las areniscas de Areny. El canal de desagüe del embalse circula directamente por la superficie estratigráfica de las mismas.

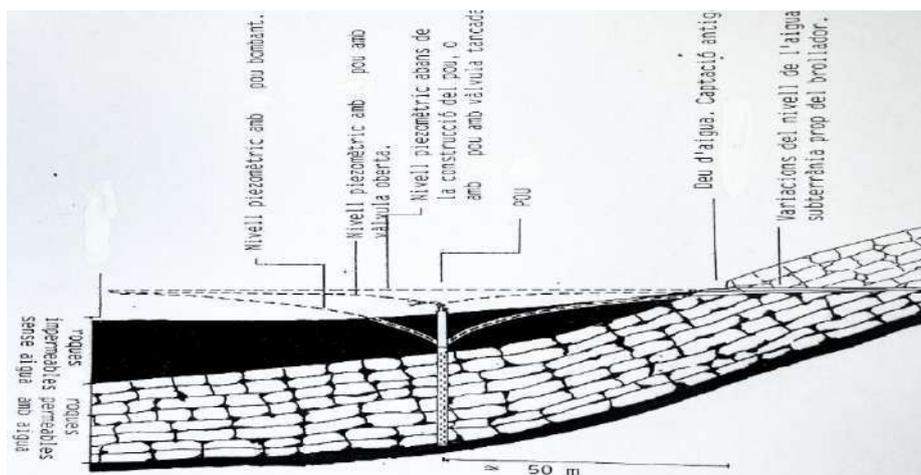


Figura 17. Esquema ilustrativo que muestra los niveles piezométricos en el entorno del pozo de Suterranya. Se indican las fuentes de abastecimiento antiguo (deu d'aigua) y los niveles con el pozo cerrado a presión, con la válvula abierta con surgencia natural y finalmente los niveles con bombeo (formando un acentuado cono de descenso). Cuando de fuerza la extracción mediante el bombeo en el pozo, las fuentes (situadas a 50 m de distancia) se secan y si se cesa el bombeo y se cierra la surgencia natural en el pozo, las fuentes vuelven a brotar.

Después de diversas comprobaciones, se puso de manifiesto que estas “anormalidades” hidrogeológicas se debían al vaciado del embalse de Talarn, maniobra que en aquellas fechas se estaba realizando para el mantenimiento de las compuertas. La correlación de la lámina de agua del embalse con los niveles piezométricos del acuífero se puso de manifiesto mediante el seguimiento de los niveles de la lámina de agua del pantano y

la presión manométrica en el pozo de Suterranya durante los meses de llenado del embalse después de las maniobras.

En la figura 18b, realizada al respecto, en su momento, se puede observar la relación entre ambos niveles. Después del llenado del embalse, el pozo de Suterranya, y los pozos cercanos, recuperaron sus niveles de agua y su normal comportamiento hidrológico.

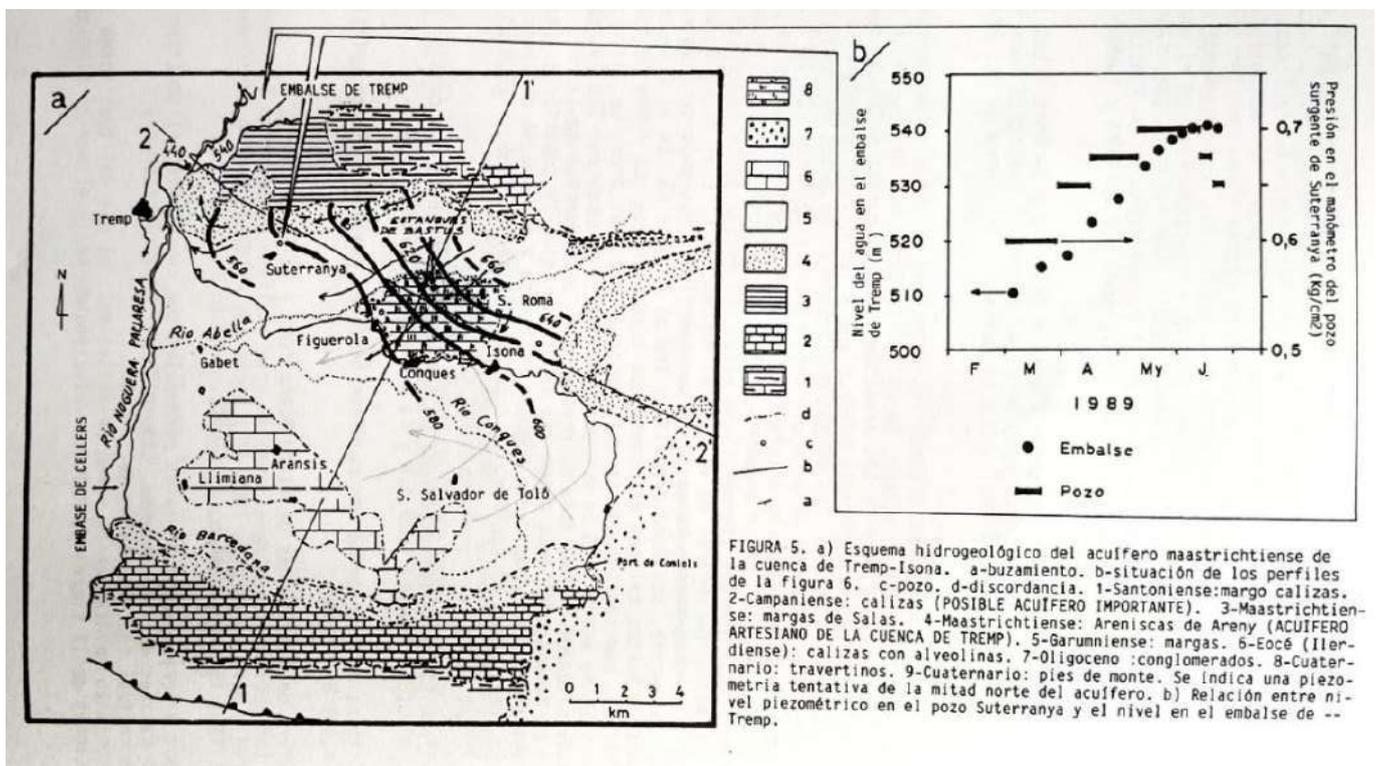


Figura 18. a/ Mapa hidrogeológico de la cuenca de Tremp-Isona donde se indican los niveles piezométricos en la parte noroeste del acuífero. Obsérvese que en el pozo de Suterranya el nivel es de 580 msnm y la cota de la lámina de agua del embalse es de 540 msnm, lo que indica que el acuífero es influente (“dador” de agua a los ríos, incluido al embalse). El descenso del agua en el embalse incrementó el gradiente hidráulico en el acuífero, lo que indujo a acelerarse los descensos de niveles en los pozos. b/ correlación de los niveles de la lámina de agua en el embalse de Talarn y de la presión manométrica en el pozo de Suterranya durante los meses que duró la maniobra de llenado del embalse en 1989 (Pascual, 1992).

La relación entre aguas superficiales y aguas subterráneas en el prepirineo de Lleida

La Figura 19 es otro ejemplo de relación directa entre acuífero y embalse. En este caso, a título informativo, se indica la correlación entre las aguas del embalse de Canyelles y un pozo de la población de Tartareu situado al suroeste de la zona visitada, a casi 10 km de distancia del embalse. Igual que en el caso del embalse de Talarn, durante el vaciado del embalse para el mantenimiento de la presa, se observó como el nivel del agua en el pozo descendía paralelamente al descenso de la lámina de agua en el embalse durante un proceso que duró 2 años.

De ambos casos, y de otros conocidos en ríos análogos en Aragón, se concluye que los acuíferos principalmente carbonatados del Prepirineo, orientados en general de Este a Oeste, están en relación íntima con las aguas de los ríos y embalses que los atraviesan de norte a sur. Los recursos subterráneos disponibles pueden representar volúmenes de agua importantes que, explotados estratégica y juntamente con los superficiales, pueden ayudar en un futuro incierto a incrementar la garantía de disponibilidad hídrica. Las administraciones deberían dedicar recursos para conocer el funcionamiento conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, y las posibilidades de su explotación conjunta planificada.

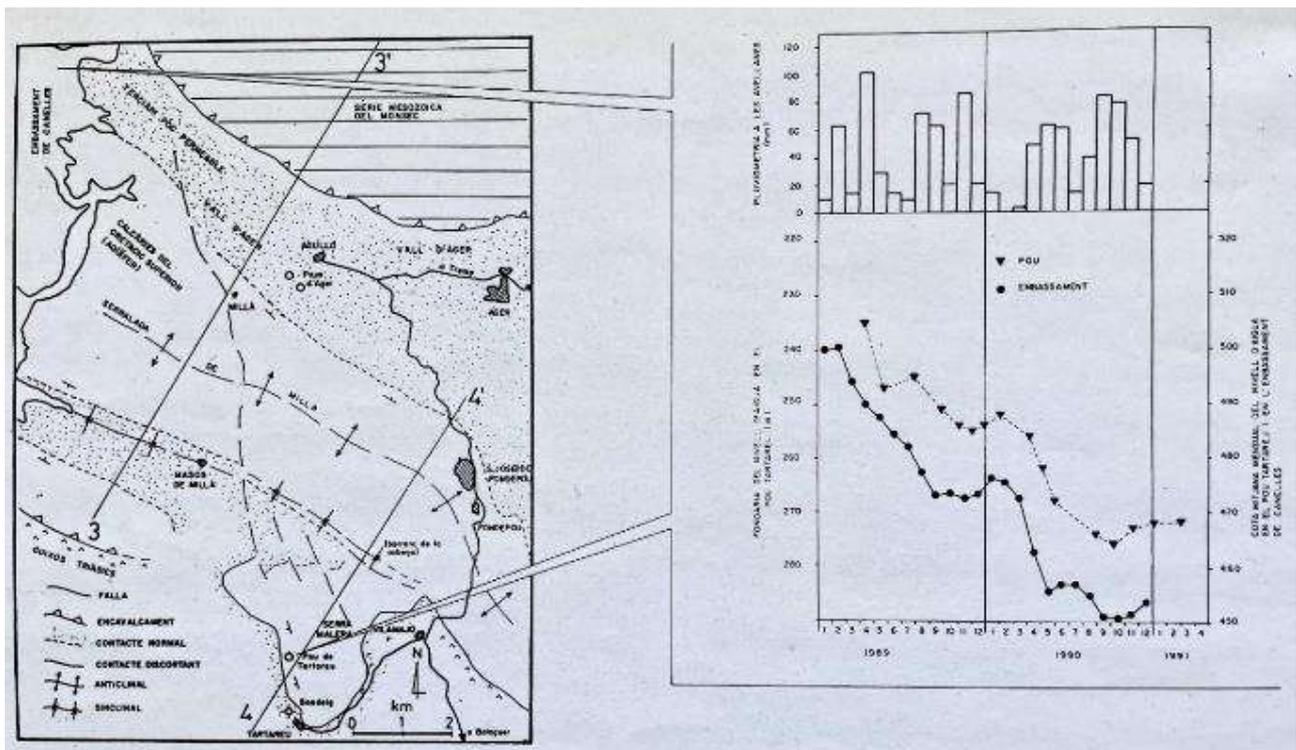


Figura 19. Relación entre el nivel de la lámina de agua del embalse de Canyelles y el pozo de Tartareu (Pascual, 1992)

PARADA 5. EMBALSE DE TERRADETS

El embalse de Terradets y su presa fueron construidos en 1935 por La Canadiense para la producción de energía hidroeléctrica con las aguas del Noguera Pallaresa.

La capacidad total del embalse cuando fue construido era de 33,5 hm³ y el volumen útil era de 22 hm³. Hacia 2005 el volumen se había reducido substancialmente y en el momento actual és de unos 9,5 hm³ (un 30% de su capacidad inicial).

Esta reducción se debe a la acumulación de sedimentos provenientes principalmente de la erosión de las margas garumnienses de la Conca de Tremp-Isona, aportados tanto por la margen izquierda, como por la derecha (las margas del Garumniense de la Conca se prolongan hacia el Oeste más allá del río Noguera Ribagorçana, en Aragón). La aportación de sedimentos al río Noguera Pallaresa, que como se ha dicho, viene desde ambos márgenes, se produce entre los embalses de Talarn y el de Terradets.

Los badlands y otras estructuras erosivas que se observan en toda la cuenca son testimonios de la importante erosión que afecta a las margas en numerosos lugares y también a las calizas del Eoceno. Como consecuencia de esta dinámica son bien conocidos los problemas geotécnicos por movimientos en masa que han afectado a las infraestructuras que se construyen en la Conca.

En la figura 20 se observa un crecimiento progresivo de la superficie ocupada por sedimentos a modo de delta en el extremo norte del embalse entre 1946 y 2015.

Según los cálculos de los edafólogos (Poch, et al., 2017) el balance de masas es el siguiente:

Volumen de sedimentos = 24 hm³ (capacidad inicial de 33,5 - capacidad en 2005 de 9,5)
Masa de sedimentos en 2005; considerando una densidad de 1336 kg/m³ = 31,8 x 10⁶ Mg
Sedimentos totales erosionados de badlands de la Conca en 70 años: 20 x 10⁶ Mg⁶ (a partir de tasas de erosión en Vallcebre y el Ésera).

Ello indica que al menos 1/3 de los sedimentos del embalse procede de otras fuentes diferentes a los badlands, como por ejemplo la erosión en los campos de cultivo.

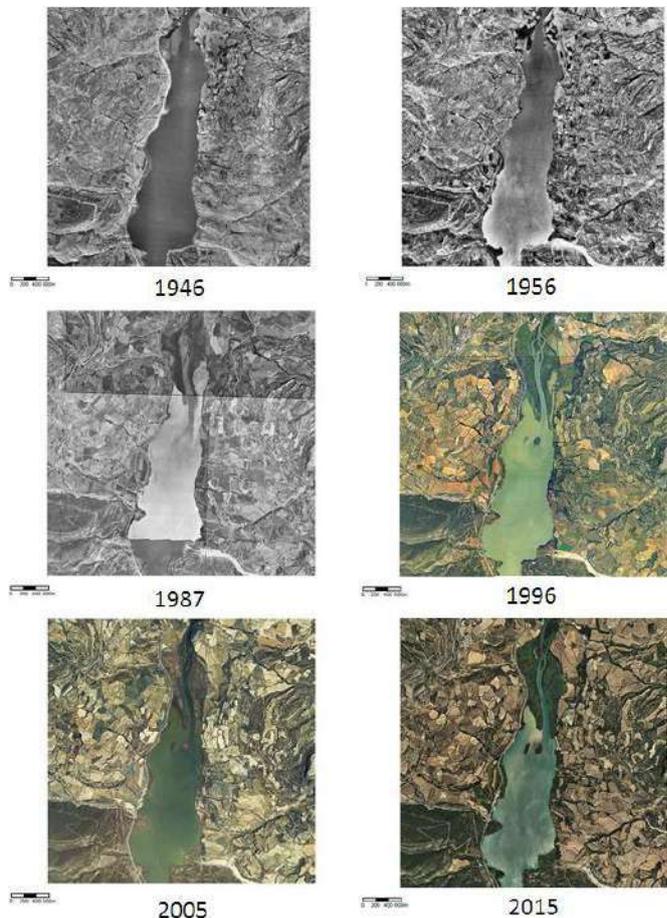


Figura 20. Evolución de la superficie del embalse de Terradets en seis momentos desde 1946 hasta 2015. Se observa que en 1990 aparecen dos islas, la evolución de la cola del embalse y el crecimiento de sedimentos a modo de deltas (Poch, et al., 2017).

PARADA 6. CONGOST DE TERRADETS Y FORAT DE L'OR

El Congost

La figura 21 muestra el perfil geológico subyacente a los materiales vistos a lo largo de Conca de Tremp-Isona y por lo tanto subyacentes al acuífero de las Areniscas de Areny. Este perfil sigue aproximadamente el trazado del Congost de Terradets formado por el río Noguera Pallaresa que atraviesa el Montsec.

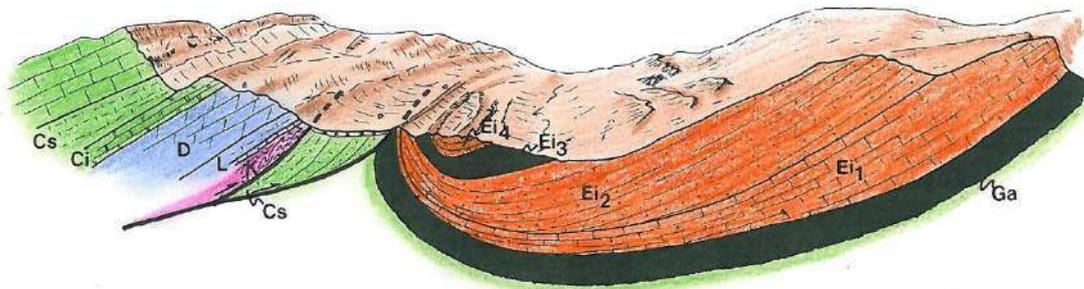


Figura 21. Perfil geológico del Congost de Terradets y Vall d'Ager, y fotografía de detalle de la Parada 6. De más antiguos a más modernos, los materiales geológicos representados son: L: Calizas del Jurásico inferior (Lias), debajo se representan en morado los yesos del Keuper. D: Dolomías del Jurásico medio (Dogger). Ci: Margocalizas del Cretácico inferior. Cs: Margas del Cretácico superior, y coronando la serie, calizas discordantes del Cretácico superior (Campaniense). Ga: Margas del Garumniense (son las mismas de la Conca de Tremp-Isona). Ei1: Calizas con alveolinas del Eoceno inferior (Ilerdiense)(equivale a las calizas de la Serra de Campanetes en la Conca de Tremp-Isona). Ei2: Areniscas del Eoceno inferior. Ei3: Pelitas del Eoceno inferior. Ei4: Areniscas del Eoceno inferior. Perfil adaptado de Rosell y Llompart (1988).

Justo en la parada 6 se puede observar el contacto discordante entre las margas de base (impermeables) y las calizas campanienses del Cretácico inferior (ambos niveles representados como Cs en el perfil de la Figura 21).

Forat de l'Or

El Forat de l'Or se encuentra situado en el Congost de Terradets esculpido por la Noguera Pallaresa al atravesar el Montsec. Delante del puente del antiguo camino que conducía a Tremp (foto de la figura 21) se abren, a pie de la carretera actual, dos bocas de entrada al sistema cárstico del Forat de l'Or que se comunican a los 35 m de adentrarse en el macizo carbonatado. La entrada inferior, a escasos metros por debajo de la entrada superior, actúa como un "trop plein" en los periodos de máxima descarga del sistema. La cueva se desarrolla a lo largo del plano de estratificación del conjunto de materiales formados por las calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense (Cretácico superior) que presentan un buzamiento de unos 30° hacia el norte, motivo por el cual la base de la galería de entrada presenta cierta inclinación hacia el norte (Figura 22). Durante los periodos de baja descarga, el recorrido aéreo en la cueva se puede realizar hasta los 200 m de profundidad, pero desde este punto se empiezan a encontrar galerías inundadas. El grupo de Espeleología de Badalona ha explorado el resto de las galerías, la mayor parte inundadas, pero con diversos sectores aéreos intercalados. La exploración total del Forat de l'Or llega, hoy en día, a los 2.200 m de recorrido con un desnivel de 93 m.

El acuífero que drena el Forat de l'Or es cárstico de grandes y extensas cavidades que se adentran en el macizo carbonatado del Montsec de Rúbies, macizo que presenta una extensión de más de 12 km de recorrido. La

recarga del acuífero se produce por infiltración del agua de lluvia y nieve precipitada a lo largo de toda la sierra. Existen dos puntos más de drenaje del acuífero situados justo debajo del Forat de l'Or. Estos son drenajes permanentes, aunque en periodos prolongados de falta de lluvias dejan de funcionar. El incremento de la conductividad de las aguas de la Noguera Pallaresa observada aguas abajo del Forat de l'Or, en periodos no funcionales de este drenaje, hace pensar en la existencia de una descarga continua del acuífero cárstico directamente al cauce de la Noguera Pallaresa.

La respuesta del Forat de l'Or a las precipitaciones sobre el Montsec de Rúbies es muy rápida. Por ejemplo, durante las excepcionales precipitaciones del día 22 de octubre de 2019 (en algunos observatorios de la zona se registraron precipitaciones de un periodo de retorno de 500 años), estas se reflejaron en el Forat en menos de 24 horas con un caudal excepcional (muy difícil de medir a causa de la topografía abrupta de la salida de la surgencia), cuando justo antes de las mencionadas precipitaciones no presentaba drenaje. A los cinco días de este episodio de precipitación el Forat de l'Or dejó de drenar. La conductividad de las aguas drenadas por el Forat durante estas fechas (medida por los autores el 23 de octubre de 2019) era de 440 microS/cm, lo que indica que estas aguas no provienen directamente de la infiltración de las precipitaciones más próximas en el tiempo (22 de octubre de 2019), ya que se requiere un cierto periodo de tiempo para alcanzar esta conductividad, sino que son aguas que estaban retenidas rellenando los diferentes sifones descubiertos y explorados por diversas expediciones espeleológicas. Por lo tanto, la entrada de agua de infiltración al acuífero cárstico desarrollado en la calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense se produce a cierta distancia del Forat de L'OR y, en periodos de caudales

importantes, se moviliza el agua estancada en los diferentes conductos existentes antes de la surgencia.

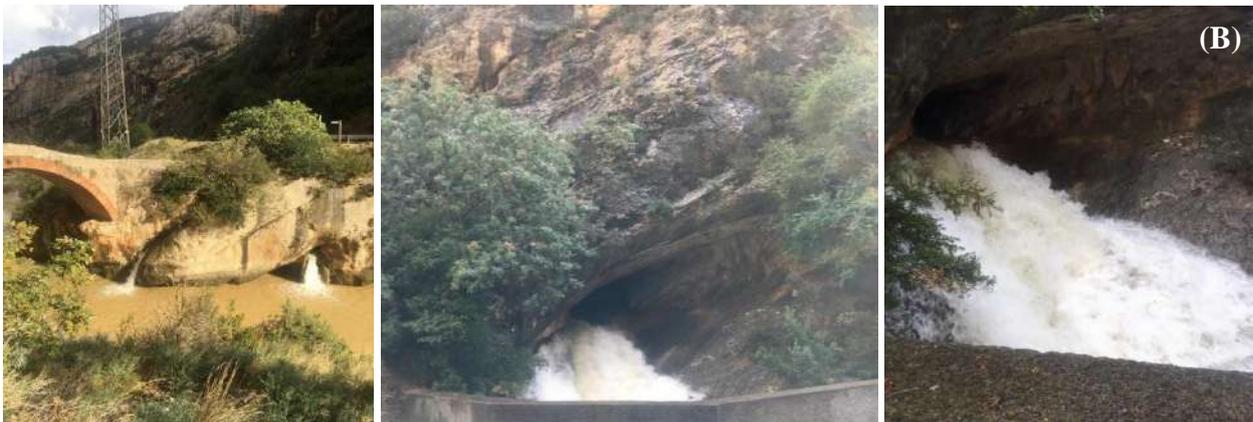
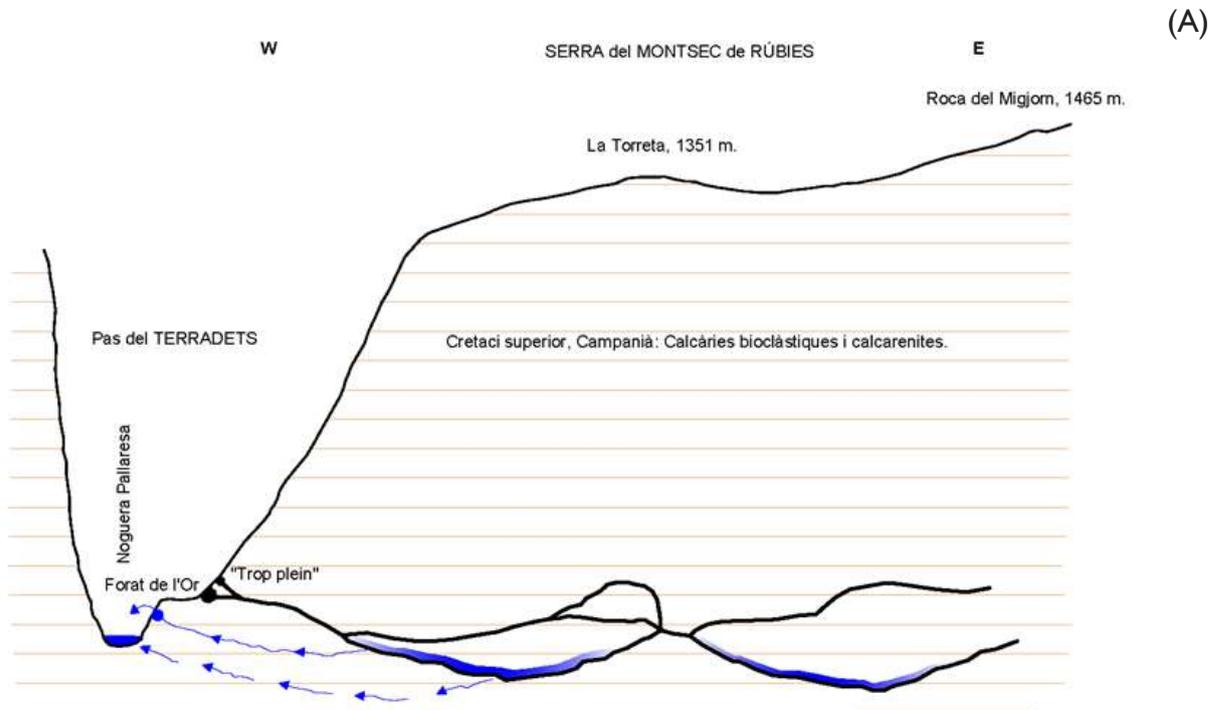


Figura 22. A) Corte hidrogeológico de las calizas bioclásticas y calcarenitas del Campaniense (Cretácico superior). B) Fotografías del Forat de l'Or en situación de funcionalidad. La fotografía de la izquierda muestra las surgencias inferiores casi permanentes.

PARADA 7. FRENTE DEL CABALGAMIENTO DEL MONTSEC

A la salida del Congost de Terradets por el sur, ya en la Vall d'Àger, a través de la cual se regresará a Lleida, se puede observar el cabalgamiento del Montsec. Los materiales de la serie mesozoica (Triásico, Jurásico y Cretácico) remontan por encima de los materiales más modernos del Eoceno. El proceso de levantamiento de Montsec, consecuencia del cabalgamiento, originó que la potencia de los sedimentos eocénicos de ambientes marinos y litorales sea menor hacia el Norte e incrementen progresivamente su grosor hacia el sur. En la figura 23 se ilustran estas variaciones de potencia de los sedimentos del Eoceno y su disposición sinclinal al pie del frente de cabalgamiento.

Justo en el cruce de las carreteras del Doll y de Àger, se puede observar, verticalizada por la orogenia, en poco más de un centenar de metros, la serie sedimentaria del Eoceno, que, hacia el sur, en el flanco sur del sinclinal, se necesitaría kilómetros de observación no solo por su mayor grosor, sino que también por su buzamiento más suave hacia el norte.

En el eje del sinclinal, en la carretera del Doll existe una pequeña fuente semipermanente que actúa como drenaje de los materiales permeables que descansan sobre margas impermeables del Eoceno.

Los principales estudios de esta zona, de su paleogeografía, sedimentología y en definitiva de su geología histórica, se deben al profesor Joan Rosell, uno de los principales geólogos estudiosos del Montsec y de la Vall de Àger, cuyos conocimientos explicados en esta excursión sirven de base a los hidrogeólogos que han trabajado en esta región.

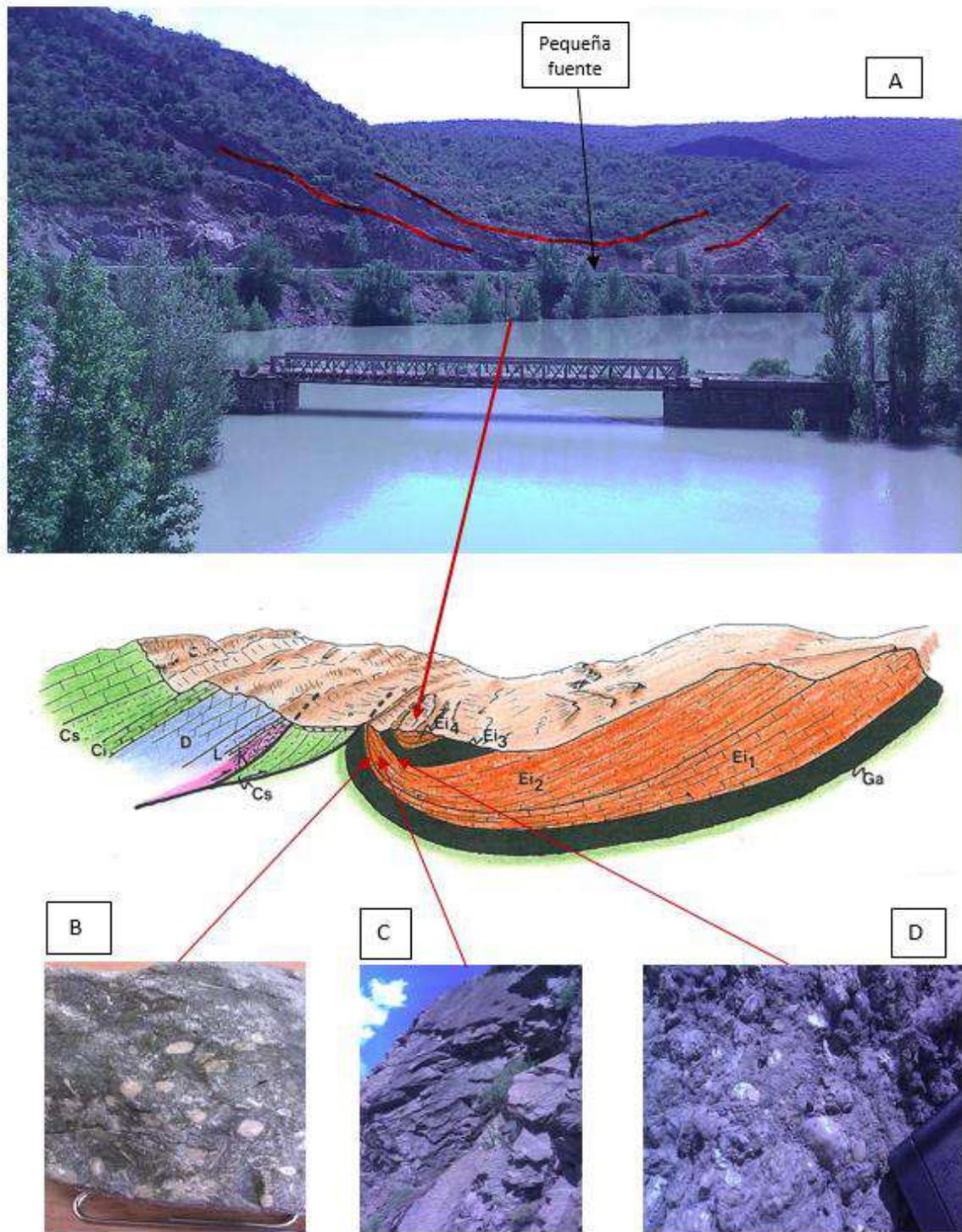


Figura 23. Fotografías del flanco N del sinclinal Eoceno cabalgado por el Montsec de Rúbies. A/ Vista general del sinclinal en el eje del cual se localiza una pequeña fuente que canaliza el agua precipitada sobre el mismo. B/ Calizas de alveolinas de ambiente marino -llediense- (Ei1). C/ Areniscas de playas de marea en ambiente litoral de estuario (Ei2). D/ Banco de ostras de zonas de bahía (Ei3). Corte y simbología de Rosell y Llompart (1988).

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA DE LLEIDA

Se recomienda llevar ropa, calzado cómodo, bebida y protección solar.

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 LLEIDA 2022

Esta actividad ha sido organizada y la guía elaborada por los siguientes investigadores del Departament de Ciències de Sòl i Medi Ambient de la Universitat de Lleida:

Josep Maria Màsich

J. Manel Pascual

Carles Balasch

AGRADECIMIENTOS

Personalizamos nuestro agradecimiento en el Director del Geoparque mundial UNESCO Orígenes, Xavier Mir por su colaboración y a Nuria Verdeny por sus explicaciones de campo. Igualmente agradecemos la colaboración de la Agencia Catalana de l'Aigua de la Generalitat de Catalunya, que igualmente personalizamos en su Director, Samuel Reyes, y en la Jefa del Departamento de Coordinación Hidrogeológica, Mireia Iglesias, la cual impartió la conferencia "Los nitratos en

las aguas subterráneas: ¿hacia dónde vamos?" en la Universitat de Lleida, dentro del marco de las actividades del Hidrogeodía 2022. Finalmente queremos agradecer la colaboración de los compañeros del Departamento de Ciencias del Suelo y Medio Ambiente y a la Dirección de Escuela Superior de Agricultura de la Universitat de Lleida.

PARA SABER MÁS ...

IGCC. 2016. Mapa Geològic de Catalunya. Geotrell V. Mapa hidrogeològic, 1:25.000. Llimiana, 290-1-2 (65-24).

Linares, R., Rosell, J., Roqué, C., Gutierrez, F. 2010. Origin and evolution of tufa mounds related to artesian karstic springs in Isona area (Pyrenees, NE Spain). *Geodinamica Acta* 23/1-3, 129-150.

Pascual, J.M. 1991. Hidrogeologia bàsica del Pallars Jussà i de l'extrem nord-occidental de la Noguera. Estimació preliminar dels recursos hídrics subterrànes. *Ilerda "Ciències"* 49, 233-251.

Pascual, J.M. 1992. Hidrogeologia bàsica de las sierras marginales prepirenaicas de la provincia de Lleida. V Simposio de Hidrogeologia. Alicante. T. XV, 115-129.

Pascual, J.M., Freixes, A., Màsich, J.M., Balasch, C., Monterde, M. Ramoneda, J., Remacha, R. 1996. Los acuíferos carbonatados en el Pirineo de Lleida (Pirineo occidental de Catalunya). *Jornadas sobre recursos hídrics en regiones kàrsticas*. Vitoria. 127-144.

San Román, J., Màsich, J.M., Pascual, J.M. 1996. Hidrogeología de las sierras exteriores surpirenaicas: cuenca de Tremp-Graus (Lleida y Huesca). *Las aguas subterráneas en las*

cuencas del Ebro, Jucar e Internas de Catalunya y su papel en la Planificación Hidrológica, Asociación Internacional de Hidrogeólogos. G.E., 453-468.

Pascual, J. M., Masich, J. M., Lopez, J. A. (2021). Els camins subterranis de les aigües del Prepirineu central de Lleida, entre la Noguera Ribagorçana i el Segre. Medi Ambient i Ciències del Sòl. Miscel·lània homenatge a Jaume Porta, pp: 230 – 250. Institut d'Estudis Ilerdencs, Diputació de Lleida, Universitat de Lleida.

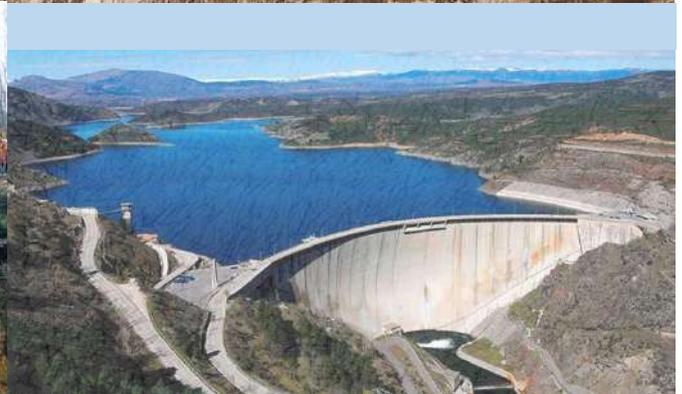
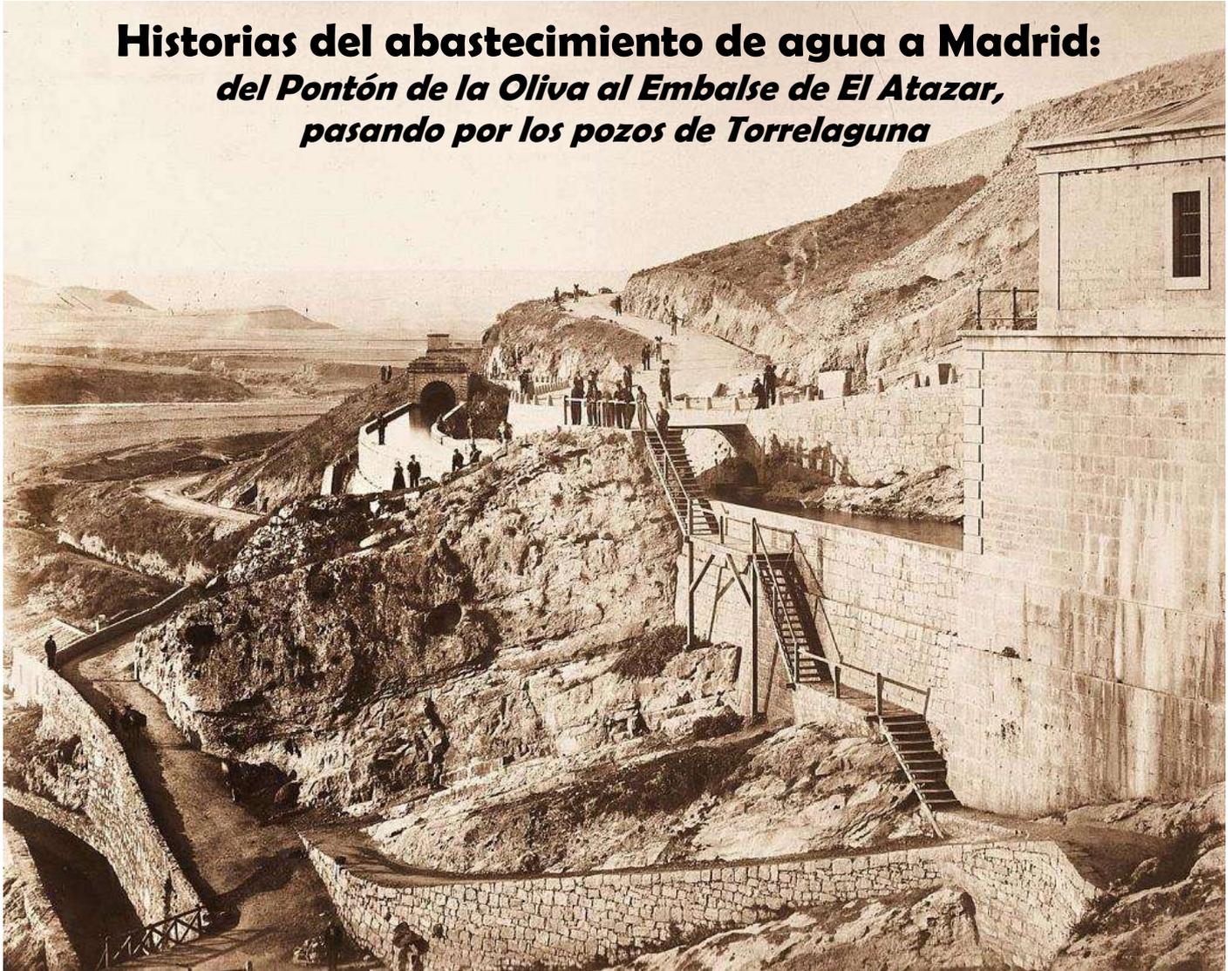
Poch, R.M., Balasch, C., Boixadera, J., Rivas, G., Bonales, J. (2017). Land use and soil erosion processes in pre-pyrenean valleys. Field trip guide. CONSOWA. 1st world conference soil and water conservation under global change. ICGC, DARPI Generalitat de Catalunya.

Rosell, J. Llompart, C. (1988). Guia geològica del Montsec i de la Vall d'Àger. Centre Excursionista de Catalunya. Ed. Montblanc-Martín. Barcelona. 168 pp.

Rosell, J. (2014). Gestació i naixement de la Serra del Montsec. Garsineu Edicions. Tremp. 146 pp.

NOTAS

Historias del abastecimiento de agua a Madrid: *del Pontón de la Oliva al Embalse de El Atazar, pasando por los pozos de Torrelaguna*



EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología, que es la rama de la geología que estudia las aguas subterráneas. Para ello se tiene en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico (materiales geológicos que atraviesan y donde se almacenan), biológico y la acción de los seres humanos. Se celebra con motivo del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo).

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE), con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público general.**

El **objetivo de esta quinta edición del Hidrogeodía** en Madrid es realizar una visita guiada por la sierra noreste de Madrid, dando a conocer algunos aspectos relativos al abastecimiento de agua potable a la población mediante el uso de las aguas subterráneas y superficiales.

Durante la actividad, se han previsto cuatro paradas temáticas:

- 1) **Mirador de Uceda**
- 2) **Pontón de la Oliva**
- 3) **Campo de pozos de Torrelaguna y pozos Ranney**
- 4) **Embalse de El Atazar**



Figura 1. Hidrogeodía 2019 Madrid (Central Eléctrica de Chavarri- Balneario de Carabaña)

ITINERARIO

A continuación se muestra un esquema de las paradas que se verán a lo largo del recorrido previsto en el Hidrogeodía de Madrid 2022, siguiendo un orden cronológico en relación a los diferentes sistemas de abastecimiento a Madrid.

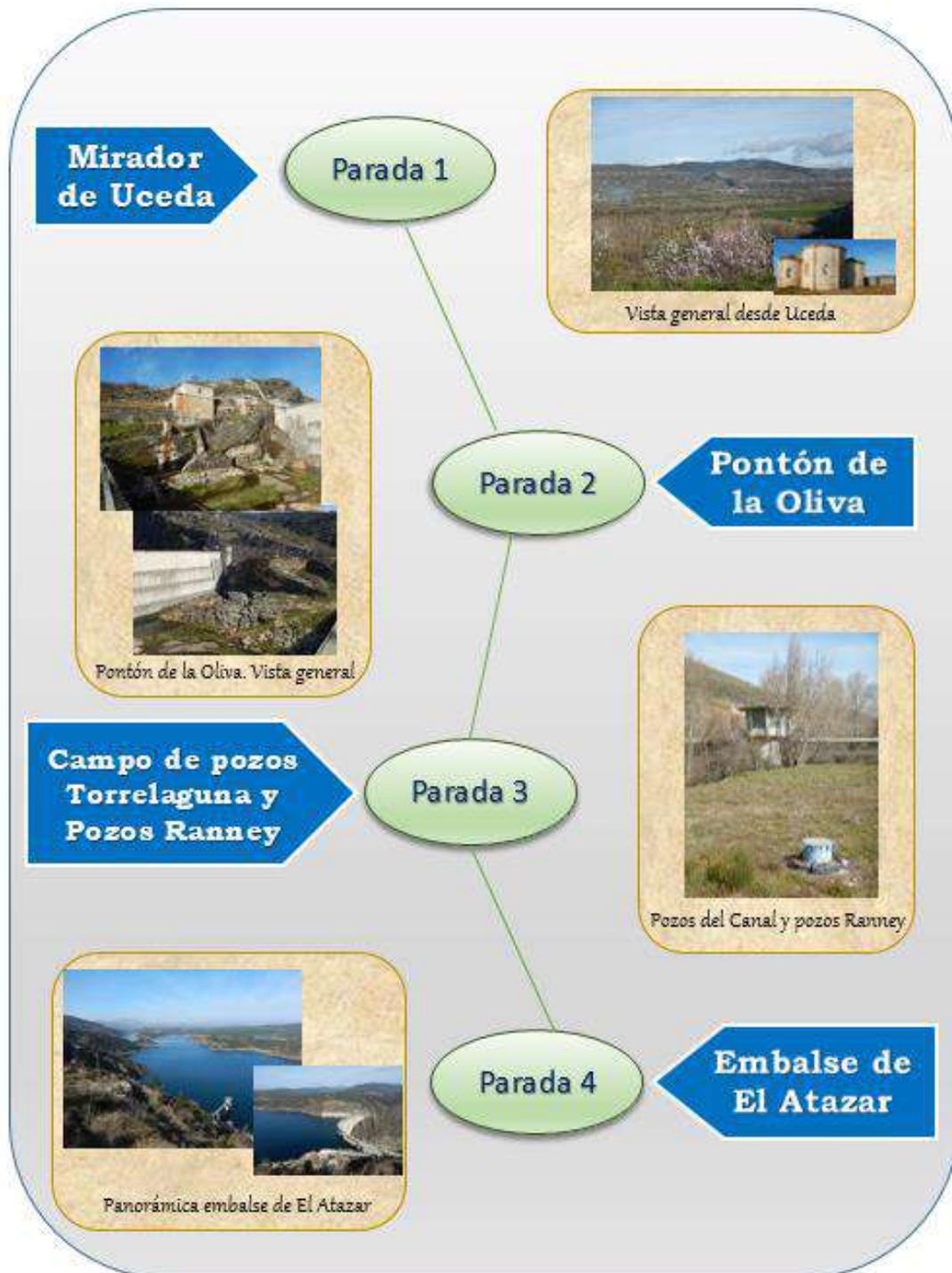


Figura 2. Esquema de las paradas del Hidrogeodía 2022 de Madrid

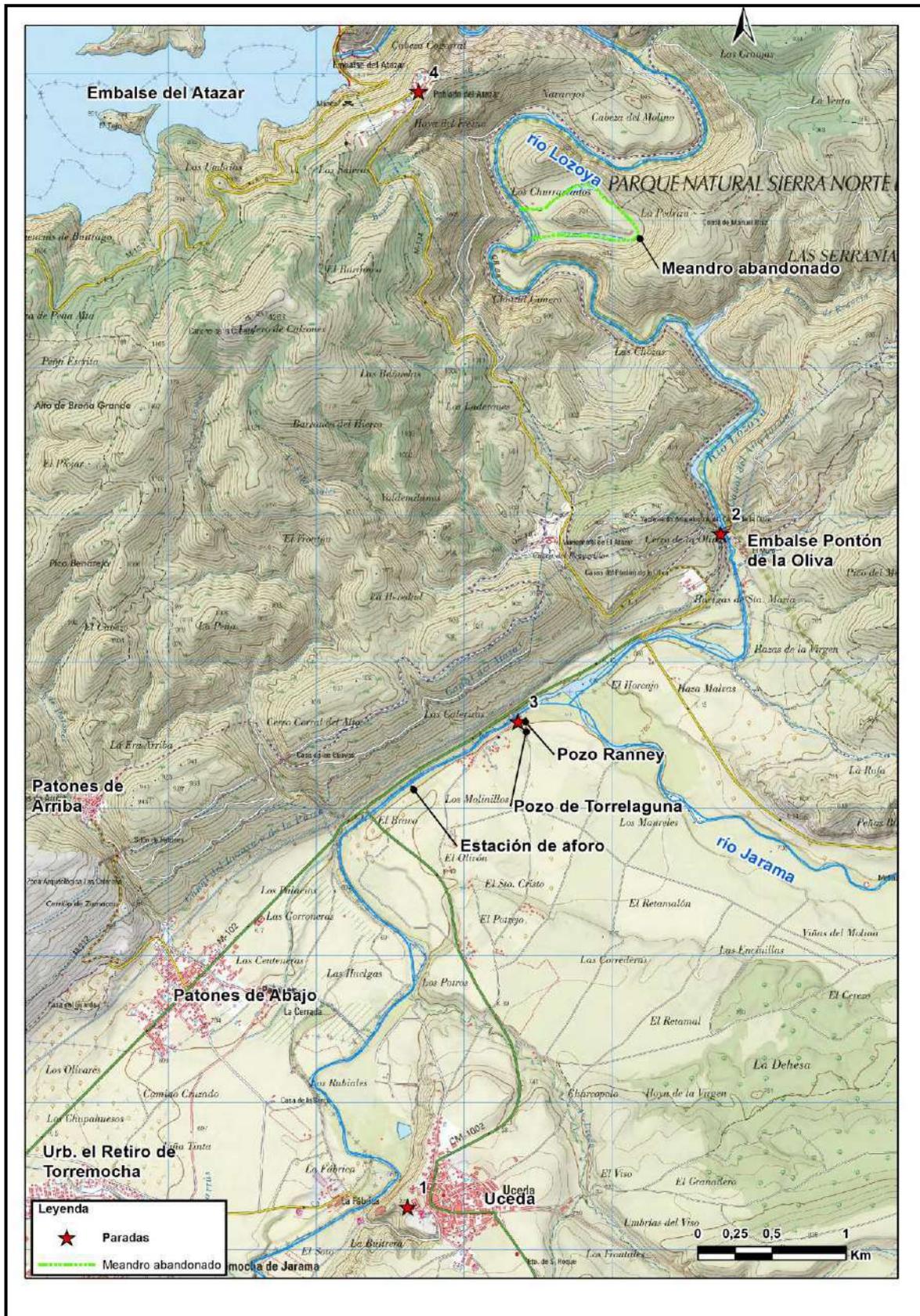


Figura 3. Mapa con las paradas del itinerario del Hidrogeodía- Madrid 2022

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En los albores del siglo XVI, Madrid era una villa de pequeñas dimensiones, sin capacidad suficiente como para asumir la avalancha de población que llegaría atraída por el establecimiento de la Corte con Felipe II.

En este ambiente de transformaciones que vivió la ciudad, cobró especial importancia el agua, elemento indispensable para su desarrollo. Sin embargo, el aprovechamiento del río Manzanares no era efectivo, debido a su bajo caudal durante la mayor parte del año y al desnivel de aproximadamente 70 m con respecto a la ciudad.

Es por ello que, durante los siglos XVI y XVII, se pusieron en marcha varias obras hidráulicas con el objetivo de aumentar la capacidad de abastecimiento de agua mediante la ampliación de los denominados “viajes de agua”.

Esta red de conducciones subterráneas de origen árabe y cuya construcción data aproximadamente entre los siglos IX al XI, canalizaban el agua de diferentes acuíferos situados en el subsuelo de la ciudad y fueron el principal medio de suministro de agua, tanto para consumo humano como para regadío y ornamento (fuentes) hasta mediados del siglo XIX.

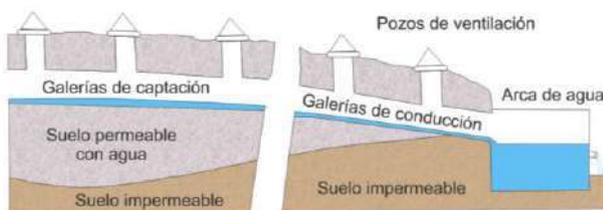


Figura 4. Esquema de los antiguos viajes del agua en Madrid. Fuente: modificado de López Carcelén (2004)

El comienzo del fin de los viajes de agua tiene una fecha concreta: el 22 de junio de 1851, cuando la reina Isabel II comunica la construcción de un canal para acabar con la endémica escasez de agua de la capital de España. **Juan Bravo Murillo**, presidente del Consejo de Ministros, fue quien mandó construir el Canal de Isabel II.

Las obras se inspiraron en los estudios previos realizados por los ingenieros Juan Rafo y Juan de Ribera. En la *Memoria sobre la conducción de aguas a Madrid* de estos ingenieros, publicada en 1849, se fijó como objetivo embalsar primero el agua procedente del río Lozoya en el paraje conocido como **El Pontón de la Oliva**.

Finalmente, el 24 de junio de 1858 las aguas del río Lozoya llegaron a Madrid a través del Canal de Isabel II. Antes de la construcción definitiva del Canal, hubo otros intentos de bajar las aguas hasta Madrid, y también hubo experiencias en la comarca con distintas canalizaciones, como el acueducto del Cardenal Cisneros y el Canal de Cabarrús, entre otros.

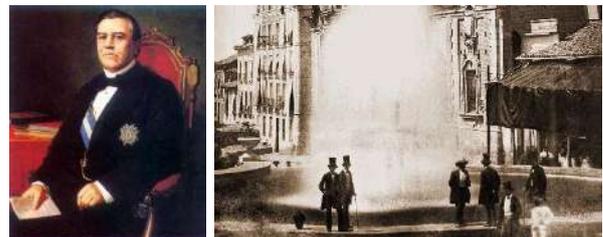


Figura 5. Retrato de Juan Bravo Murillo y foto de llegada de las aguas del río Lozoya a Madrid. Fuente: Canal de Isabel II y el Pontón de la Oliva: cómo el agua llegó del río Lozoya hasta Madrid hace 170 años (okdiario.com)

ENTORNO GEOLÓGICO DE MADRID

La principal característica geológica del emplazamiento de la ciudad de Madrid y sus alrededores es que se asienta sobre una antigua cuenca cenozoica rellena por sedimentos fluvio-lacustres, la Cuenca de Madrid. Hoy en día, forma parte de la cuenca hidrográfica del río Tajo y recoge las aguas que bajan desde la Sierra de Guadarrama hacia dicho río, tanto por el cauce de los ríos Manzanares, Jarama y Lozoya, como por el subsuelo.

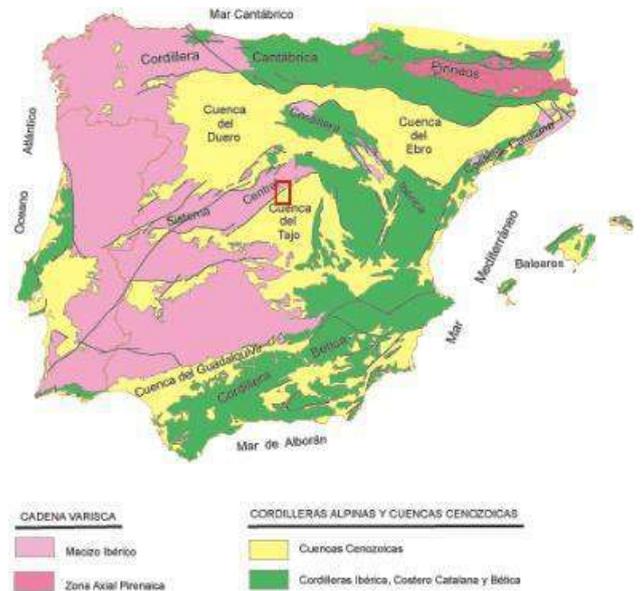


Figura 6. Esquema geológico de las grandes unidades geológicas de la Península Ibérica

PARADA 1. ASPECTOS GEOLÓGICOS DE TORRELAGUNA Y SUS ALREDEDORES

Desde el punto de vista geológico, la zona a visitar se sitúa en el centro de la Península Ibérica, concretamente en el borde meridional del Sistema Central, importante cadena montañosa que separa las denominadas Cuencas del Duero al Norte y la del Tajo al Sur, esta última delimitada además por la Cordillera Ibérica y por los Montes de Toledo.

El borde meridional del Sistema Central por donde discurre el itinerario de la excursión está constituido por materiales paleozoicos plegados (pizarras y cuarcitas), aunque al Oeste aparecen rocas afectadas por una intensa deformación y metamorfismo causados por una antigua orogenia conocida como Orogenia Varisca. A nivel regional los materiales paleozoicos, fueron sometidos a varias fases o etapas de deformación y metamorfismo. A finales de esa orogenia y entre el Carbonífero superior y el Pérmico inferior intruyeron numerosos cuerpos graníticos que hoy día forman parte de los relieves destacados actuales (La Cabrera, La Pedriza, Siete Picos, etc.).

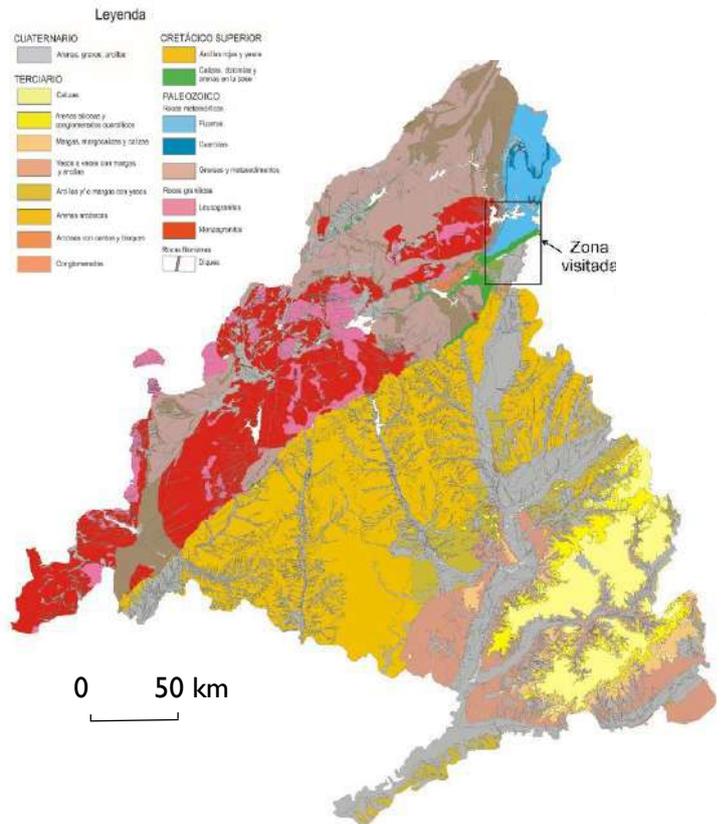


Figura 7. Situación geológica de la zona a visitar en el contexto geológico provincial

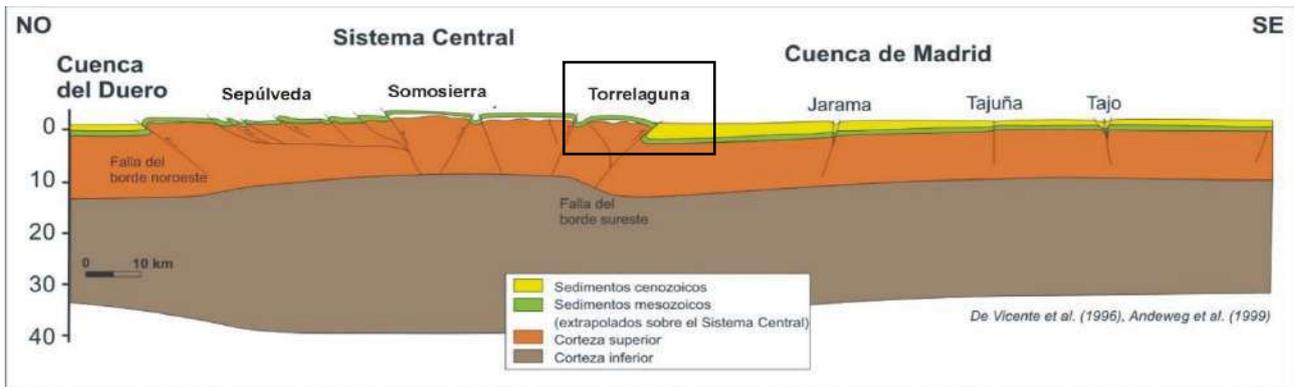


Figura 8. Corte geológico del Sistema Central con la zona a visitar en el contexto geológico peninsular

Sobre esas rocas que se comportaron como un zócalo, se apoya una importante serie sedimentaria de materiales mesozoicos, fundamentalmente cretácicos así como paleógenos, todos ellos plegados y fracturados más tarde, durante el Cenozoico (Terciario) por una orogenia más moderna: la Orogenia Alpina, apareciendo además cubiertos por depósitos más modernos, neógenos y cuaternarios, que se disponen horizontalmente y que configuran el relleno de la Cuenca de Madrid, denominación local de la del Tajo en la zona central de la península.

Como se ha expuesto los materiales aflorantes más antiguos en la zona a visitar son del **Paleozoico**, concretamente del Ordovícico inferior y quedan incluidos en el denominado Dominio Oriental del Sistema Central. Se trata de un conjunto monótono de pizarras y cuarcitas de colores oscuros que configuran los relieves más destacados de esta parte de la cadena y constituyen el zócalo sobre el que se apoya el Cretácico Superior y a veces los materiales neógenos. Sobre estas pizarras es donde se ubica la localidad de Patones de Arriba o el embalse de El Atazar.

El **Cretácico Superior** está formado por un conjunto gris-azulado de dolomías, calizas y margas de origen marino con arenas en la base, bastante potente, que se sitúa sobre el

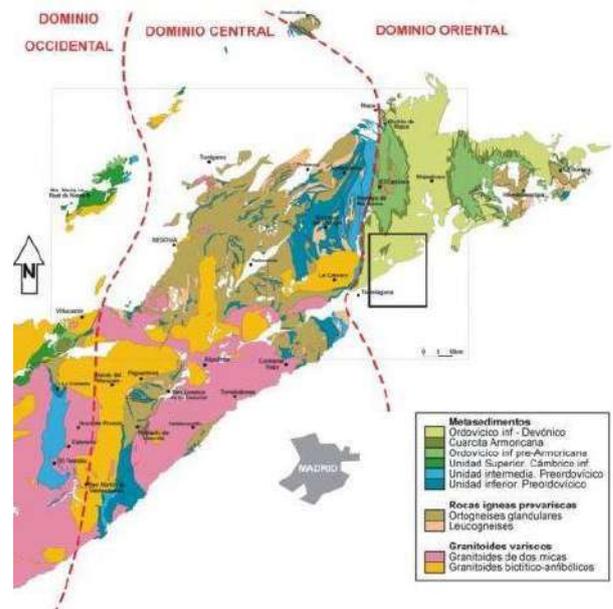


Figura 9. Esquema geológico del Paleozoico del Sistema Central (Rubio Pascual, 2012) con la situación del área a visitar

zócalo paleozoico a lo largo de una estrecha franja paralela a la dirección de la cadena (NE-SO) que destacan sobre el relieve y sobre la que se ubica la presa del Pontón de la Oliva. Hacia el NE, fuera ya de la provincia, el Cretácico yace discordante sobre otros materiales mesozoicos más antiguos (Triásico) y hacia el SO sobre granitos o gneises. Para su estudio los materiales cretácicos, que presentan un alto grado de karstificación (Cueva del Reguerillo), se organizan y/o agrupan en una serie de unidades litoestratigráficas denominadas formaciones,

cuya relación aparecen en la figura adjunta. Así los tramos basales están formados por arenas (Fm Utrillas), margas, calizas y dolomías (Fms. Castro de Fuentidueña y Caballar), los tramos centrales por dolomías masivas (Fms. Hortezuelos, Hontoria del Pinar y Burgo de Osma) y los superiores por dolomías y brechas (Fms Valle de Tabladillo, Pontón y Torrelaguna) esta última unidad formada por yesos y arcillas rojas equivalente a la “Facies Garum” y con los que termina el Cretácico y sobre la que se apoyan los materiales paleógenos.



Figura 10. Vista de los afloramientos del Cretácico Superior en las proximidades de Patones

El **Paleógeno**, es decir los materiales cenozoicos más antiguos aflorantes en este sector se disponen como una estrecha banda asociada y discordante a los materiales cretácicos y lo hacen desde las proximidades de Guadalix de la Sierra, Torrelaguna y Pontón de la Oliva hasta cerca de Sigüenza (Unidades de Uceda y Beleña de Sorbe). Por lo general se encuentran plegados, quedando ocultos bajo los sedimentos neógenos más modernos que terminan de rellenar la Cuenca de Madrid. Litológicamente esos depósitos paleógenos están formados por rocas sedimentarias detrítico-carbonatadas y evaporíticas, tipo conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y yesos.

La naturaleza y composición de los sedimentos paleógenos ponen en evidencia el área que se estaba levantando. Son materiales de origen continental depositados por grandes sistemas aluviales y ríos procedentes de las zonas levantadas así como a veces lagos salinos

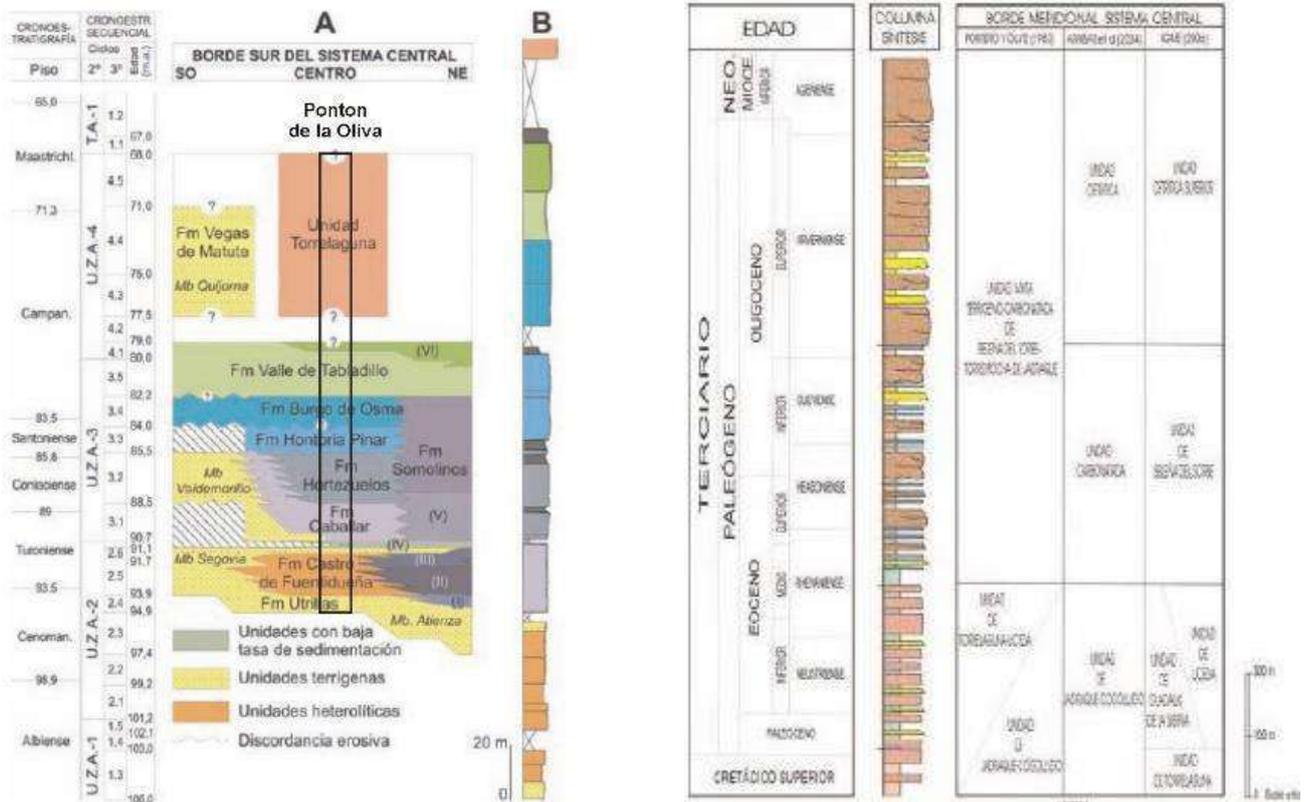


Figura 11. Unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior y Paleógeno del Pontón de la Oliva

que durante esos tiempos ocupaban una parte de la región, quedando posteriormente ocultos bajo los depósitos más modernos que conforman dicha cuenca. En general están relacionados con la evolución y el desmantelamiento parcial de los relieves circundantes creados por los efectos de la Orogenia Alpina, teniendo un marcado carácter pre y sinorogénico.

El **Neógeno** corresponde a los depósitos más modernos que conforman el relleno de la Cuenca de Madrid, se reconocen bien en el entorno de la metrópoli, pero proceden y se observan también formando parte de las zonas topográficamente altas de este sector del borde de la cuenca y/o a veces a favor del encajamiento de la red fluvial, en este caso el del río Jarama o Lozoya y sus tributarios. Los depósitos neógenos en la Cuenca de Madrid y en particular los del borde meridional del Sistema Central, son de edad miocena así como cuaternaria y se disponen discordantes indistintamente tanto sobre materiales paleozoicos como los mesozoicos o paleógenos.

En el área visitada y zonas limítrofes, estos depósitos presentan una gran variabilidad litológica, encontrando desde areniscas de naturaleza arcósica hasta conglomerados silíceos en las zonas más altas. La presencia de uno u otro tipo de materiales varía en función del área madre o de la procedencia de estos.

Por último, conviene recordar que las actuales alineaciones montañosas de la Península Ibérica, es decir las cadenas que ahora observamos, en este caso el Sistema Central, a pesar de tener una compleja historia geológica, se estructuraron y formaron en varias fases durante la Orogenia Alpina, deformación que comenzó a finales del Cretácico, hace unos 65 millones de años y finalizó en el Mioceno inferior hace aproximadamente unos 20 millones de años.

Aspectos hidrogeológicos de la zona de Torrelaguna y alrededores

El **Acuífero cretácico carbonatado**, constituye junto al Acuífero terciario detrítico de Madrid, los dos principales acuíferos que abastecen de aguas subterráneas a la Comunidad de Madrid.

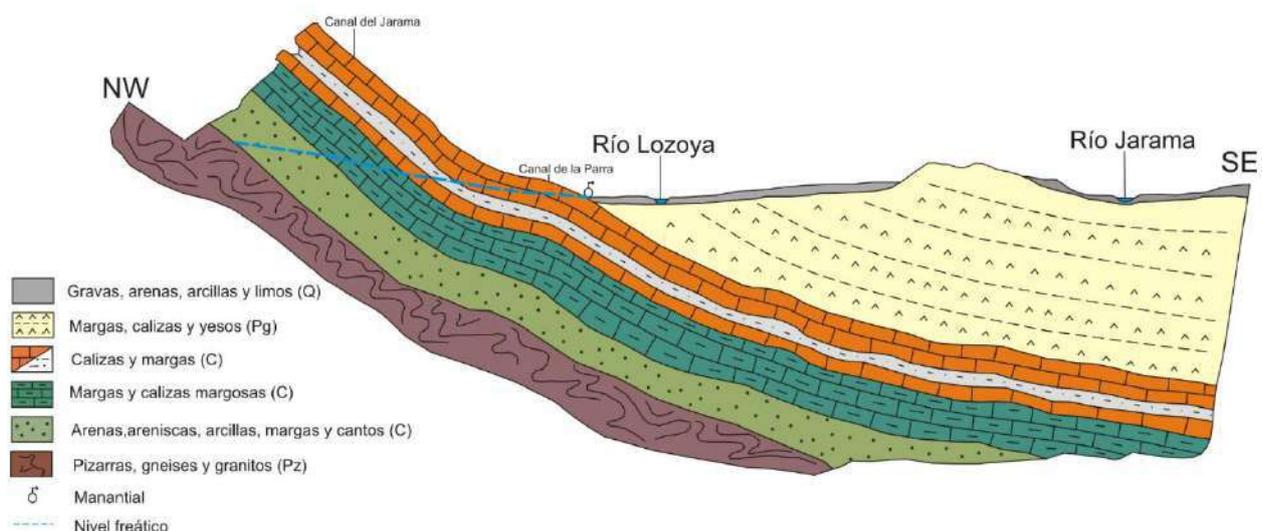


Figura 12. Corte hidrogeológico al Este de la confluencia de los ríos Lozoya y Jarama (modificado de Corchón, 1976)

Los materiales representados en la zona de estudio son principalmente: materiales paleozoicos, cretácicos, terciarios y cuaternarios con comportamiento hidrogeológico diferenciado (ver Figura 12).

Los materiales paleozoicos se consideran hidrogeológicamente como acuífugos (materiales que no contienen ni transmiten agua). En general, constituyen el zócalo impermeable rígido sobre el que se apoya discordante el Cretácico. Se considera impermeable a partir de cierta profundidad ya que superficialmente presenta numerosas fracturas que permitirían una pequeña circulación de agua subterránea.

Los materiales cretácicos son los que albergan los acuíferos principales. Presentan permeabilidad alta-media y hasta 150 m de espesor. De muro a techo, los materiales cretácicos comienzan con la *Formación Utrillas*, tienen permeabilidad primaria, y su base es el zócalo impermeable. Según sondeos realizados en la zona, el nivel piezométrico se encuentra por encima del nivel del agua de los acuíferos kársticos superiores. Sobre estos se encuentra un tramo calco-margoso, considerado como acuitardo y que separa la facies detrítica basal de los paquetes calco-dolomíticos karstificados superiores, individualizando ambos acuíferos.

A continuación se presenta el conjunto calizo-dolomítico, que constituye un acuífero que se encuentra libre, en sus afloramientos, y confinado o semiconfinado cuando se encuentra por debajo de los materiales terciarios de la cubeta de Madrid.

Los materiales terciarios (cenozoicos), dada su litología y espesor, no tienen gran interés hidrogeológico en la zona visitada.

Los depósitos cuaternarios formados por terrazas del río Jarama y los depósitos aluviales tampoco serían interesantes desde el punto de vista hidrogeológico, únicamente tendrían cierto interés algunos depósitos de mayor extensión a lo largo del río Jarama.

La recarga o entradas de aguas en el acuífero se produce por la infiltración del agua de lluvia que cae sobre las zonas de los afloramientos calcáreos y de los arroyos superficiales que nacen en la Sierra, circulan sobre estos materiales y tienen mayor cota que el nivel piezométrico en el acuífero. En la zona que se extiende cerca del Pontón de la Oliva, en la que el río Jarama discurre sobre estos materiales, se establece una conexión hidráulica entre este acuífero y el formado por las terrazas aluviales, aumentando así las posibilidades del aprovechamiento conjunto de ambos recursos.

La descarga se realiza prácticamente a través de algunos manantiales y de los ríos, en los tramos perdedores o efluentes. Se denominan así “perdedores o efluentes” cuando el agua del río se “cuela” por el lecho del cauce y alcanza el nivel de agua del acuífero, recargándolo. (Figura 13).

Concepto de río ganador-río perdedor

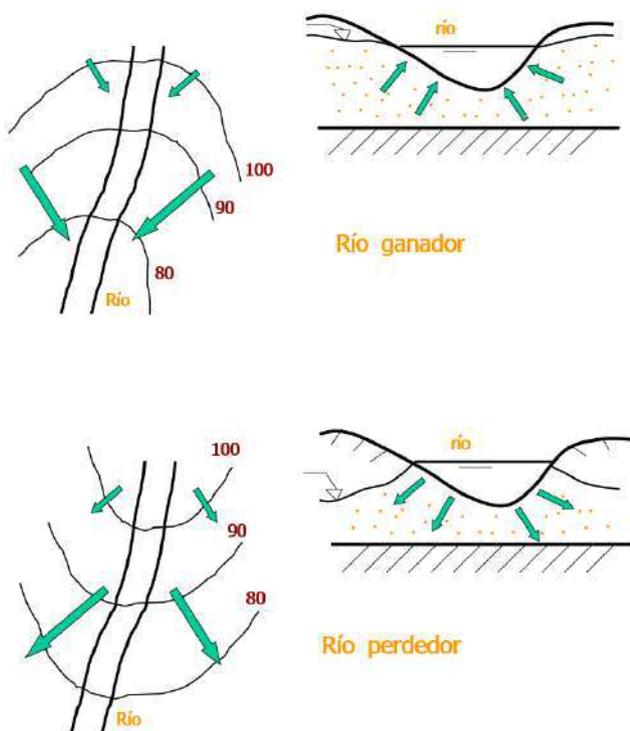


Figura 13. Relación río-acuífero: ejemplo de río ganador (parte superior) y río perdedor (parte inferior). En ambos casos se muestran dibujos en planta (izquierda) y en perfil (derecha). En color verde se representan las líneas de flujo y en color rojo las cotas piezométricas o isopiezas en ms.n.m.

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

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

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

PARADA 2. EL PONTÓN DE LA OLIVA: CUANDO LA GEOLOGÍA Y LA HIDROGEOLOGÍA SE OLVIDAN



Figura 14. Vista actual del Pontón de la Oliva

“Todo aquel que haga un pantano
en piedra de calizal,
el agua se va a filtrar
la prueba tengo en la mano”
(Anónimo atribuido a un poeta de El Atazar)

A mediados del siglo XIX, los métodos tradicionales de abastecimiento a Madrid ya no eran capaces de proporcionar a su población un suministro de agua en cantidad y calidad suficiente. De los 201.000 habitantes censados en 1825 se pasó a 281.170 en 1857 y a más de 542.000 en 1897; estaba claro que era muy necesario encontrar otras alternativas que complementasen el abastecimiento, además de los pozos, aguadores y los viajes de agua en uso hasta ese momento.

Tras varias propuestas y el estudio de posibles alternativas, finalmente se consideró como más adecuada la idea de traer agua desde el río Lozoya, pues con ella la calidad y cantidad parecían aseguradas y, además, permitía llevar el agua a la capital aprovechando el desnivel topográfico.

Debido al clima mediterráneo típico de la región, los ríos sufren grandes variaciones en su caudal y hubo que añadir, a la obra de con-

ducción del agua entre el río y la estación de recepción, situada en la puerta de Santa Bárbara (actual Plaza de Alonso Martínez), un embalse regulador que asegurase un caudal suficiente durante los calurosos veranos de la capital. Fue el proyecto de los ingenieros de caminos Juan Rafo y Juan de Ribera el que se llevó “el gato al agua” y la zona de la Oliva la elegida para construir el embalse.

La obra no era menor, fue la primera gran presa construida en Madrid, y su presupuesto tampoco, ascendiendo a una cantidad que los ingenieros estimaban se situaría entre 70 y 80 millones de reales. En consecuencia, se decidió afrontar la inversión mediante una suscripción pública que retornaría a los inversores en forma de dividendos obtenidos del beneficio de la venta del agua. En total, entre La Casa Real, el Gobierno y el Ayuntamiento aportaron casi 24 millones de reales. Sin embargo, parece que la desconfianza, o la falta de suficientes suscriptores con solvencia económica hizo que después de un mes apenas se hubiesen recaudado 35 millones de reales. Al final, la obra costó 127 millones, es decir, una “real” inversión.



Figura 15. El Pontón de la Oliva, Fotografía de Charles Clifford. Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65805912>

Aunque la primera piedra del Canal de Isabel II fue puesta el 11 de agosto de 1851, el movimiento de tierra para la construcción del

Pontón no comenzó hasta el año de 1852. Se trataba de un trabajo especialmente penoso, en una época en la que el músculo humano era el principal motor de construcción de la obra civil. Esta fue llevada a cabo por cerca de mil quinientos obreros contratados y casi 2.000 presos, algo muy normal en aquella época (incluso en tiempos mucho más recientes), en su mayor parte provenientes de las Guerras Carlistas.

La presa se trata de una **construcción pionera** para la época, una presa de gravedad, construida con sillares de caliza de Redueña, en la que el empuje del agua embalsada es soportado por el peso de la obra. Tiene una altura de 27 m y una sección trapezoidal, con una anchura de 39 m en la base y de 6,72 m en la coronación, la cual mide 72,44 m de longitud. La cara interna del muro, la que mira aguas arriba del Lozoya, aparece escalonada desde la base hasta la cima.

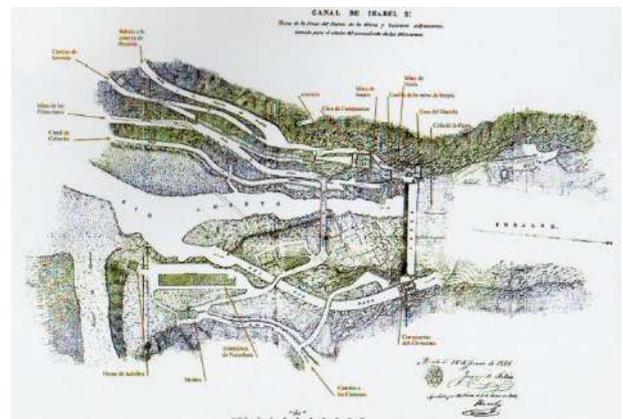


Figura 16. Plano de la Presa del Pontón de la Oliva y terrenos aledaños. Canal de Isabel II. <http://de-otro-tiempo.blogspot.com/2011/11/el-ponton-de-la-oliva.html>

Por fin, en junio de 1858, la reina Isabel II inauguró el abastecimiento a Madrid con agua del Lozoya y en la calle de San Bernardo una fuente, que luego sería trasladada a la Puerta del Sol, donde lanzaba un imponente chorro de agua hasta casi treinta metros de altura.

El agua llegaba a un antiguo polvorín, convertido en gigantesco depósito, situado entre las calles Bravo Murillo, Cea Bermúdez e Islas Filipinas. Los medios de la época asistieron asombrados a este espectáculo y un novelista lo describió como que “un río se ponía de pie en Madrid”.

Sin embargo, ha sucedido y, por desgracia, sigue sucediendo que, por no consultar a técnicos y especialistas, se cometen **graves errores**, incluso en costosas obras civiles que terminamos pagando entre toda la ciudadanía. El caso de la construcción del Pontón de la Oliva fue un claro ejemplo de ello.

La función de una presa hidráulica es, principalmente, retener el agua para usarla cuando escasea, y esa es, precisamente, la función que el Pontón nunca llegó a cumplir. Según el agua se acumulaba, se infiltraba y se perdía a través de la intrincada red de conductos que caracteriza la roca sobre la que se asienta, una caliza karstificada. Se encargó la solución del problema al ingeniero Lucio del Valle, el que diseñara la gran reforma de la Puerta del Sol, pero fue incapaz de impedir las fugas de agua, debido a la intensa karstificación del vaso del embalse.

Y no es que no se conociera el problema antes siquiera de acometer las obras. En 1851, el ingeniero de minas y geólogo Casiano del Prado advirtió que la obra del Pontón estaba abocada al fracaso. D. Casiano que, además de entender de cálculo de estructuras, tenía muy presente la naturaleza de los terrenos sobre los que se construía, advirtió del problema, pero fue ignorado.

Aunque la historia de la geología y la labor de los geólogos/as es muy antigua en nuestro país, es interesante remarcar que la Licenciatura en

Ciencias Geológicas se crea en España y se oferta dentro de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Madrid (hoy Universidad Complutense) en una época tan tardía como 1953. Ante el fracaso del Pontón, en 1882 fue sustituido por el embalse del Villar, situado aguas arriba y que fue la primera presa de arco de gravedad construida en Europa.

La geología del Pontón y su entorno inmediato.

En esta localización vemos “in situ” la litología de los materiales que conforman el vaso y la cerrada del embalse. Se trata de materiales depositados en mares poco profundos y zonas litorales de época cretácica (desde hace unos 95 M.a. hasta hace unos 68 M.a.), permeables al paso de agua cuando están afectados por fracturación y disolución.



Figura 17. Vista de los materiales cretácicos buzando hacia el SE (calizas y dolomías) en el Pontón de la Oliva. Se depositaron sobre pizarras paleozoicas y emergieron gracias al plegamiento Alpino. En este punto cercano a la presa conforman en cartografía geológica una "V", y dan lugar a un tipo de relieve llamado "relieve en cuevas"

Para entender el problema de construir una presa en este paraje, vamos a hacer un breve repaso a la historia geológica del lugar. Así podremos identificar la naturaleza y la estructura de los materiales geológicos que querían usar como sustrato para retener el agua embalsada. Si enumeramos los acontecimientos tenemos:

1) Durante el Cretácico, en un ambiente marino somero y de zona litoral, se produce el **depósito de materiales sedimentarios carbonatados y evaporíticos**.

La sedimentación comienza con unos depósitos arenosos al que le siguen fangos carbonatados que dan lugar a las calizas y dolomías que se observan y originando los escarpes rocosos del Pontón de la Oliva. Posteriormente, en un ambiente litoral, se produce el depósito de materiales de naturaleza evaporítica-detrítica (arcillas, anhidrita, yesos), que son los que encontramos en la parte alta de la serie

2) Posteriormente, debido a los movimientos de la Orogenia Alpina se produce el **levantamiento del Sistema Central** (terminando al final del Mioceno, 5,3 M.a. aprox.) lo que provoca la exposición subaérea de los materiales marinos y litorales (es decir, las formaciones carbonáticas, evaporíticas y detríticas, ya convertidas en roca) dando lugar a un pliegue monoclinas (pliegue asimétrico: con un flanco horizontal y otro inclinado) en este sector. Este tipo de pliegue en la actualidad está reflejado en el **relieve en cuevas** que se puede observar desde Torrelaguna hasta el Pontón de la Oliva. En particular, el Cerro de la Oliva y el entorno próximo, es un claro ejemplo de este relieve en cuevas.

3) Durante el cuaternario se produce la **incisión de la red fluvial**, descendiendo paulatinamente el nivel de base, que va marcando la posición del nivel freático de los acuíferos libres. Este fenómeno, junto con el agua de lluvia, favorece los procesos de **disolución de las sales de los materiales evaporíticos cretácico-paleógenos** (especialmente, yesos, que son muy solubles). El agua se carga en ión sulfato proveniente de estas rocas evaporitas, se infiltra en el terreno y alcanza las formaciones dolomíticas.

4) Cuando las aguas están cargadas en sulfato y entran en contacto con rocas dolomíticas da comienzo el proceso de **dedolomitización o calcitización** de la dolomita. Este consiste en que la dolomita se transforma en calcita, es decir, la composición dolomítica de la roca ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) cambia a calcítica (CaCO_3) al perder el ión magnesio de la estructura química. Este fenómeno de dedolomitización o calcitización, conlleva una debilitación de la roca

5) Todos estos procesos facilitan que la **karstificación** se centre en las **formaciones o rocas** de composición **dolomítica** de este entorno que hayan sido afectadas.



Figura 18. Diferenciación de visu de rocas carbonatadas (dolomía, izquierda y caliza, derecha)

Recopilando, al elegir la cerrada del Pontón de la Oliva como lugar para situar un embalse, se obvió el detalle de que los materiales de la zona están constituidos por rocas carbonatadas karstificadas, poco impermeables, y por tanto, inadecuadas para retener el agua.

Por otro lado, un hecho o curiosidad a destacar es que, paradójicamente, en un contexto donde existen rocas calizas y rocas dolomíticas se ha karstificado la roca menos soluble; en condiciones “normales” los materiales dolomíticos, en los que se han desarrollado las cavidades kársticas o cuevas que existen en el Cerro de la Oliva (**cueva del Reguerillo**, la mayor cavidad kárstica en caliza de la Comunidad de Madrid), son menos solubles que las calizas supra e infrayacentes.

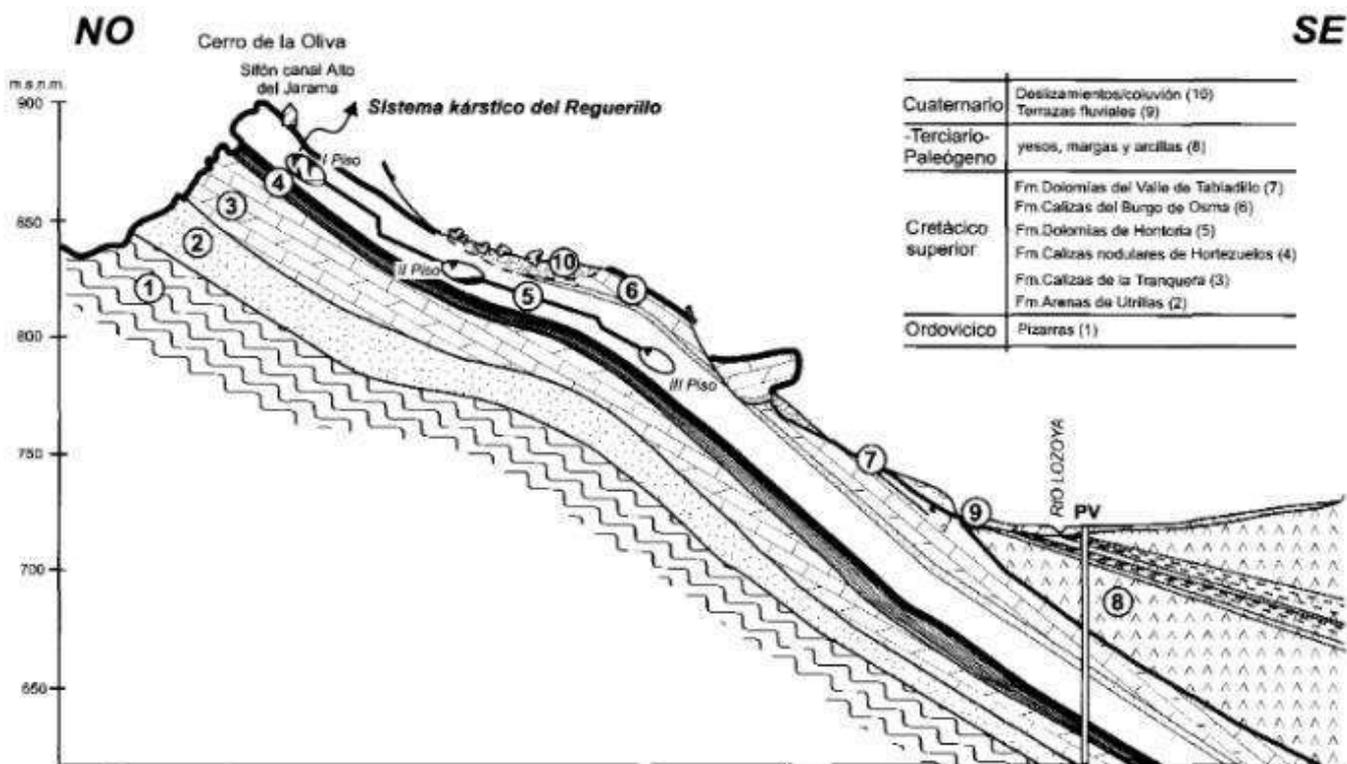


Figura 19. Corte geológico NO-SE del Cerro de la Oliva en su vertiente suroeste (Arroyo Valdentales). Sánchez-Moral, et al., 2003 (Modificado de Hoyos et. al., 1996)

Y todo ello, es consecuencia de los procesos de dedolomitización y karstificación anteriormente descritos.

Un apunte, la karstificación por dedolomitización es casi inactiva en zona vadosa del acuífero (donde no todos los poros de la roca están llenos de agua) y es activa en zona freática (donde todos los poros de la roca están almacenando agua y la pueden transmitir).

Muy cerca de esta zona se localizan también espectaculares cárcavas o formas de erosión superficial del terreno por arrastre del agua. Estas morfologías se observan en los sedimentos continentales suprayacentes neógenos de color rojizo.



Figura 20. En la foto superior: Vista panorámica de los materiales cretácicos (calizas y dolomías) aflorantes en el Pontón de la Oliva y de los depósitos neógenos (conglomerados, arenas y arcillas). En la foto inferior: Detalle de las cárcavas desarrolladas sobre los materiales miocenos

PARADA 3. POZOS RANNEY, CAMPO DE POZOS DE TORRELAGUNA Y ESTACIÓN DE AFORO

Los Pozos Ranney

A finales de los años 60, en la confluencia de los ríos Lozoya y Jarama se plantea la construcción de pozos con drenes radiales, conocidos con el nombre de “pozos Ranney”. Estos pozos se construyeron con la finalidad de ayudar al abastecimiento a Madrid en épocas de sequía, aprovechando el agua que se embalsaba en el Azud de Valdeatales. La principal función del azud era provocar una recarga con aguas del río mediante la inundación de los materiales cuaternarios que formaban las terrazas más bajas y así incrementar el rendimiento de estos pozos. De este modo, también se provocaba la infiltración de las aguas del río a través de las arenas que constituyen el aluvial.



Figura 21. Pozo Ranney localizado en la confluencia de los ríos Lozoya y Jarama

El sistema de captación consiste en **pozos verticales** de gran diámetro y poca profundidad **provistos con drenes horizontales**. En esta zona, los materiales aluviales cuaternarios donde se instalan presentan poco espesor. Por ello, para incrementar el caudal de estos pozos, se realizaron drenes radiales a lo largo del aluvial,

aumentando la superficie de captación y vertiendo las aguas al pozo vertical. Los drenes se construyeron a cielo abierto y posteriormente se recubrieron con gravilla filtrante, su longitud varía en función del área a drenar, pudiendo variar de 30 a 100 m de longitud. El agua es captada así a través de las conducciones laterales radiales, se recogen en el pozo colector vertical y tras un periodo de sedimentación de las arenas contenidas, el agua es elevada a la superficie mediante una tubería de aspiración por bombeo. Posteriormente, las aguas son llevadas a los lugares de distribución mediante conducciones.

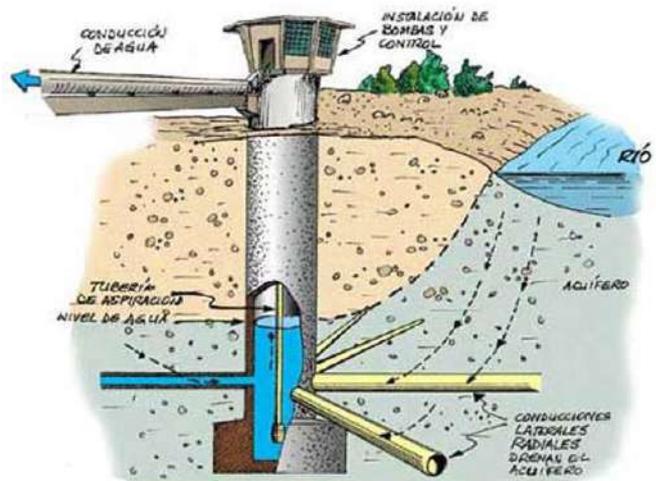


Figura 22. Esquema de Pozo Ranney localizado en la confluencia de los ríos Lozoya y Jarama. <https://www.acuademia.com/2018/04/la-historia-vacilante-de-las-aguas-subterranas-de-madrid-2/>

En la zona se tienen datos de la construcción de dos pozos con capacidad para 1 y 0,5 m³/s respectivamente. Las principales ventajas de estos pozos son principalmente: 1) Permiten caudales superiores a los pozos ordinarios, para igual velocidad de flujo, 2) Baja velocidad

de entrada de agua a los drenes, por lo que disminuyen los arrastres, 3) No les afectan tanto las fluctuaciones del nivel freático como a los pozos ordinarios y 4) Los drenes al permanecer sumergidos, se reducen los fenómenos de corrosión e incrustaciones.

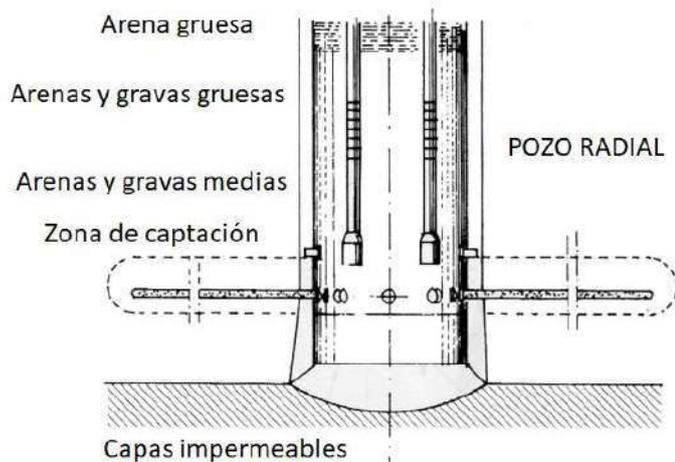


Figura 23. Detalle de los drenes horizontales de los pozos Ranney. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pozos-ranney/>

El principal problema que presentaban estas instalaciones es la limitación de su uso (acuíferos poco profundos y granulares poco compactos de granulometría variable), así como la colmatación de los filtros. Las avenidas del río Jarama muy cargadas de sedimentos, propiciaban el mal funcionamiento de los filtros de los drenes, disminuyendo el caudal de agua captada. Tras varios intentos de limpieza y reconstrucción de los filtros, finalmente las instalaciones fueron abandonadas hacia 1970.

Posteriormente, se llevaron a cabo nuevas investigaciones en el acuífero kárstico confinado y se construyeron el campo de pozos de Torrelaguna explotados actualmente por el Canal de Isabel II.

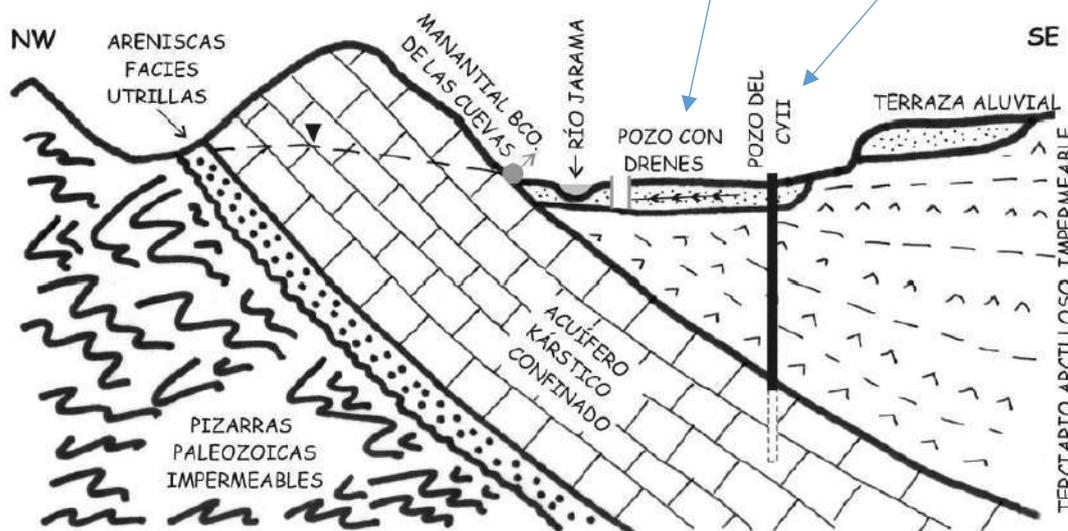


Figura 24. Perfil hidrogeológico esquemático de la cuesta de Patones (Yélamos, 2012)

Los pozos de abastecimiento del Canal de Isabel II en Torrelaguna

A comienzos de los años 90 del siglo pasado las aguas subterráneas se integran plenamente en el esquema general de abastecimiento del Canal de Isabel II, contribuyendo al aumento de la garantía del sistema pues permiten disponer de un mayor volumen de recursos hídricos para afrontar los periodos de sequía, momento en que disminuyen los volúmenes almacenados en los embalses superficiales del Canal.

Las aguas subterráneas proceden de campos de pozos que comienzan a construirse en la década de los años 80.

En función del destino de las aguas se distinguen dos tipos de campos de pozos (Sánchez et al., 2005):

a) **campos de pozos de sistemas locales**, que vierten sus aguas a infraestructuras municipales; han ido disminuyendo con la llegada de la red general a los pueblos y en la actualidad hay 14 unidades operativas, con una profundidad inferior a 200 m, captan acuíferos locales y aportan un máximo de 10 hm³/año.

b) **campos de pozos del sistema general**, que vierten a las conducciones y depósitos del sistema general, son los más importantes y se agrupan en cinco grandes zonas de extracción (Figura 25), con un total de 51 unidades, con profundidades medias de 450-500 m que aportan unos 80 hm³/año. De éstos últimos, más del 90% captan agua del acuífero terciario detrítico de Madrid, el resto explotan el acuífero cretácico carbonatado de Torrelaguna.

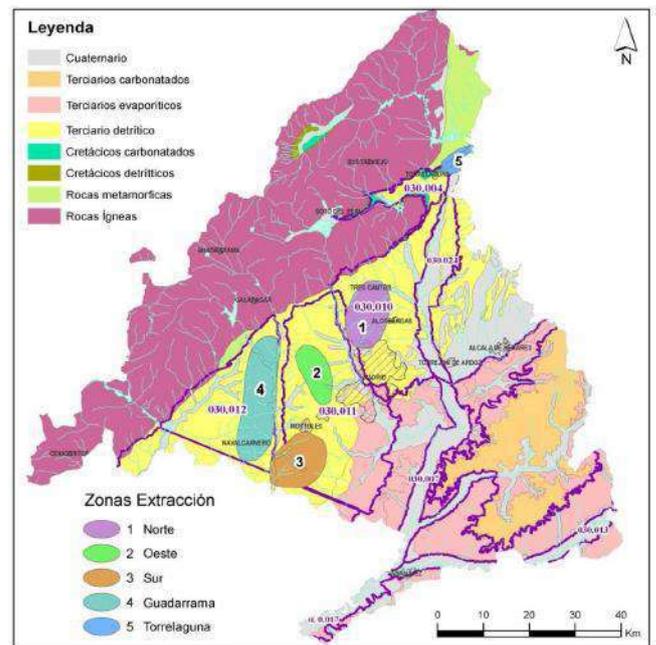


Figura 25. Áreas de extracción de aguas subterráneas del Canal de Isabel II

Historia del abastecimiento subterráneo en Torrelaguna

Los primeros pozos de Torrelaguna fueron construidos por la iniciativa privada en la década de los 80, cuando el canal compraba el agua a los particulares.

En la primavera de 1965, el sistema general de abastecimiento a la ciudad de Madrid colapsa, incapaz de abastecer a una creciente población que ronda los 3 millones de habitantes. Se producen fuertes restricciones, con cortes de agua de hasta 18 horas diarias durante varios meses y muchos barrios de la capital son abastecidos con camiones cisterna.

Ante esta situación de emergencia, el Canal de Isabel II pone en marcha una ampliación del abastecimiento de la capital, basada fundamentalmente en la captación de nuevos recursos de aguas superficiales.

La primera actuación que realiza fue la conducción llamada “Abastecimiento a Madrid Solución Oeste” (AMSO), que captaba aguas del río Alberche en el embalse de Picadas. Después se incorpora al Canal la sociedad privada Hidráulica de Santillana, que aprovechaba el agua del río Manzanares; y se programan la construcción de las presas de Pinilla y El Atazar (en el río Lozoya) y El Vellón (en el río Guadalix), así como las ampliaciones de los embalses de Santillana (en el río Manzanares) y Valmayor (en el río Guadarrama). El sistema de abastecimiento queda configurado —en sus rasgos esenciales— como se presenta en la actualidad (Figura 26).

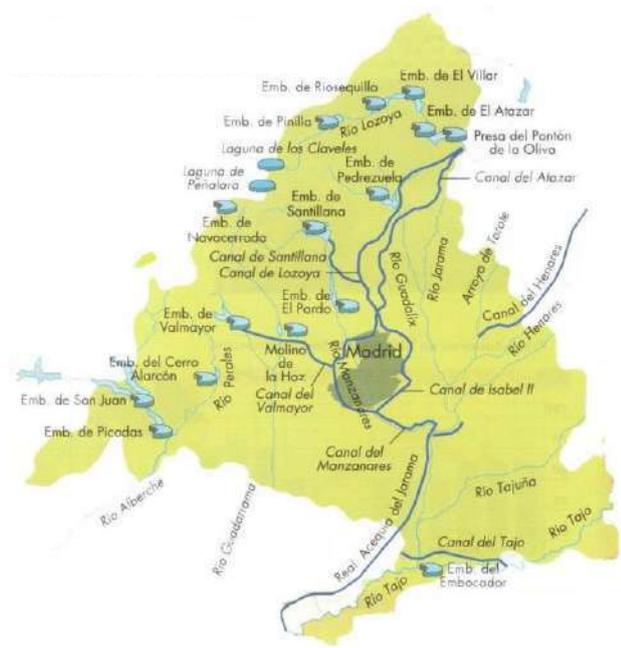


Figura 26. Ríos implicados en la ampliación del sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II, iniciado en 1965

Pero al tiempo que se acomete la ampliación de los recursos superficiales, se inicia una búsqueda complementaria de recursos subterráneos. En las inmediaciones de Madrid se identifican dos acuíferos con posibilidades de abastecimiento: el acuífero detrítico de Madrid, constituido por los materiales detríticos de edad terciaria, y el acuífero carbonatado cretácico de las proximidades de Torrelaguna, distante unos 70 km de la capital.

Así, a raíz de la crisis de abastecimiento de 1965, el Canal de Isabel II encarga al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) que realice los estudios para la captación e incorporación de recursos subterráneos al abastecimiento. Se realizan varios estudios y perforaciones (en concreto, en Torrelaguna se perfora el primer sondeo de investigación junto a la carretera Torrelaguna-Pontón de la Oliva que resultó surgente), pero en general la investigación es lenta y arroja resultados desiguales por lo que, hacia 1970 el Canal cambia de estrategia y decide que es más rentable comprar el agua a empresas particulares.

En 1971 lanza un concurso público para la obtención de 1 m³/s con destino al abastecimiento de Madrid y fruto de este concurso se construyen por particulares los campos de pozos de Fuencarral y de Batres, ambos desarrollados sobre el acuífero detrítico de Madrid, que durante toda la década de los años 70 será el principal protagonista de las aguas subterráneas de Madrid.

Por otro lado, el Canal de Isabel II, en su estrategia de captación propia de nuevos recursos hídricos se fija en la zona noreste de Torrelaguna, donde se dan dos circunstancias favorables para la captación de aguas, tanto superficiales como subterráneas. Primero, el río Jarama, inmediatamente después de recibir al Lozoya, transcurre en un corto trecho paralelo y próximo a tres canales de distribución (La Parra, El Atazar y Alto o del Jarama) por lo que sería fácil captar sus aguas y elevarlas a cualquiera de los canales. Segundo, existe toda una orla de materiales cretácicos que discurren paralelos a éstos canales, desde donde se puede captar agua y derivarla a ellos también.

Como las actuaciones de captación directa del río Jarama (bombeo directo de las aguas del río en El Roncadero) no tienen éxito por un exceso de materiales finos que colmatan los canales, en materia de aguas subterráneas se ensaya con la construcción de pozos tipo Ranney, que se abandonan después por un exceso de finos (explicado anteriormente) y se inicia la investigación de la orla de materiales cretácicos que discurren paralelos a los canales. Durante la primera mitad de los años 70 se encarga una campaña geofísica de sondeos eléctricos verticales al Servicio Geológico de Obras Públicas para ver la posible continuidad en profundidad de los afloramientos de las calizas cretácicas, pero los estudios no tuvieron mucho éxito. Después, en la segunda mitad de la década de los años 70, el Canal de Isabel II aceptó el ofrecimiento de la empresa Aguas de Madrid para la explotación del acuífero cretácico en Torrelaguna, que construyó pozos en la zona de El Roncadero y Almenara de San Román del Canal Bajo, que llegaron a proporcionar un caudal total superior a los 250 l/s.

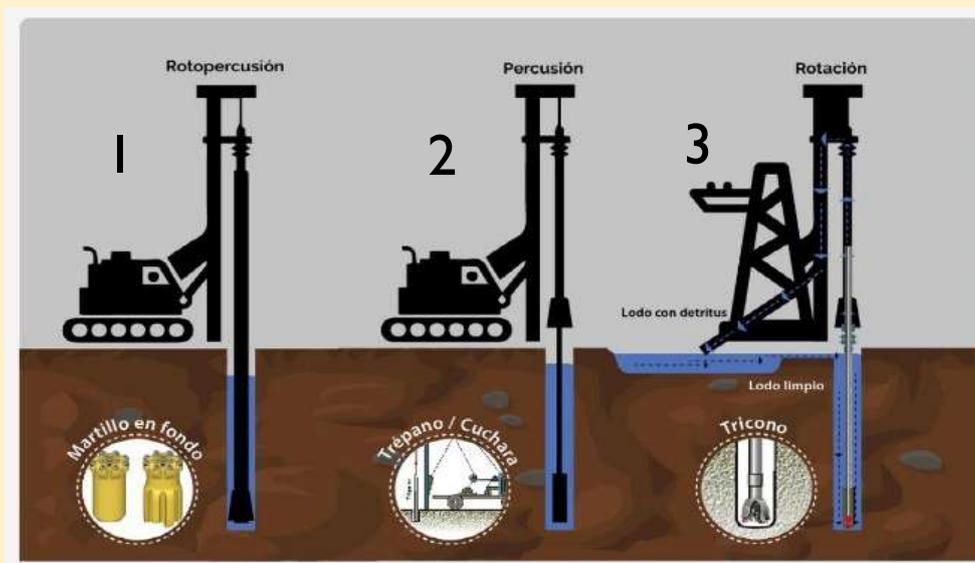
Unos tenían conexión directa e inmediata con el río Jarama, bombeando en realidad agua del río. El de la Almenara de San Román captaba aguas del cono de deyección sobre el que estaba situado, produciendo socavones en la campaña de los años 90, que llegaron a producir hundimientos en el tramo del Canal Bajo que discurría sobre el cono. Algo parecido sucedió en la captación de agua en el área de Valdentes: se produjeron varios socavones y subsidencias en el azud de Valdentes. Además, el canal al que se aportaban los caudales se llenó de sedimentos arrastrados por el agua de los pozos.

A pesar de las contingencias anteriores, el aprovechamiento de las calizas cretácicas de Torrelaguna tuvo un renacimiento a finales de los años 80. Ante el crecimiento de la demanda, y la presentación de periodos secos, los responsables del Canal de Isabel II crearon una unidad de aguas subterráneas que se dedicó a recuperar, equipar y conectar los pozos existentes en las calizas de Torrelaguna. Gracias a la puesta en servicio de unas 7 unidades, durante la sequía del comienzo de los años 90 se disponía de capacidad para aportar a las redes del canal unos 15-20 hm³/año. Después del año 2000, los propios servicios del Canal llevaron a cabo nuevas perforaciones en el área con resultados variables.

Construcción y equipamiento de los pozos de Torrelaguna

Las técnicas de perforación empleadas para la construcción de pozos dependen de los materiales del terreno a atravesar. Mientras que en el Acuífero Terciario Detrítico de Madrid se utiliza la rotación con circulación inversa de fluidos, en el acuífero carbonatado de Torrelaguna, formado por materiales competentes con evidentes zonas de karstificación, se realiza por el método de percusión o rotopercusión, en la Figura 27 pueden verse las características y diferencias de las distintas técnicas.

MÉTODOS DE PERFORACIÓN DE POZOS



La perforación de un pozo consiste en excavar un agujero cilíndrico vertical por medio de la percusión de una herramienta en el suelo o por la acción rotatoria de una herramienta cortante (taladradora, barrena) que gira alrededor de un eje vertical. La máquina perforadora rompe y tritura las rocas presentes en el subsuelo, cuyos residuos suelen llevarse hasta la superficie a través de la inyección de lodos o aire. Entre los principales métodos de perforación se encuentran los siguientes:

1. Perforación por rotoperCUSión

Consiste en el impacto de un pistón que golpea a un útil, que a su vez transmite la energía al fondo del pozo por medio de una boca. Es un método moderno, que se basa en el empleo de brocas de accionamiento neumático o hidráulico.

Pro: Avance muy rápido en rocas duras.

Contras: En acuíferos de alta productividad y materiales inconsolidados se disminuye el avance, debido a que se distribuye la energía de impacto. Este método requiere experiencia y pericia del perforador, ya que existe el potencial de desvío de la perforación.

2. Perforación por rotación

La perforación se realiza únicamente por la rotación de un elemento cortante sobre el que se ejerce un empuje. Para este método se pueden utilizar brocas tipo tricóno o especiales. En condiciones óptimas se utiliza aire como fluido de limpieza, pero en circunstancias complejas se puede utilizar espuma o lodos. Este cambio de tecnología generó nuevas prácticas, como por ejemplo el empleo de la circulación de fluidos para la limpieza del hueco, el desarrollo de trépanos de conos, etc., lo que permitió grandes avances reduciendo tiempos de perforación, los costos y alcanzar mayores profundidades.

Pro: Funciona para rocas blandas y rocas duras, es un proceso de avance rápido.

Contras: Requiere capacitación y tecnificación de la empresa que lo utiliza, debido a que involucra la limpieza y desarrollo adecuado del pozo.

3. Perforación por percusión a cable

Se perfora realizando un movimiento alternativo de bajada-subida de un balancín, que al caer fractura y disgrega la roca. Luego, los fragmentos de roca se extraen por medio de una válvula o cuchara de limpieza.

Pros: procedimiento bastante limpio, no requiere la inyección de sistemas de lodos o mezclas tixotrópicas que pueden afectar el paso del agua del acuífero al pozo.

Contra: es un procedimiento sumamente lento. Se complica el avance de la perforación en materiales inconsolidados, como sedimentos aluviales.

Figura 27. Técnicas de perforación de sondeos (<https://www.hidroambientecr.com/notas/metodos-de-perforacion>)

En Torrelaguna, el recubrimiento detrítico grueso de las terrazas del río Jarama puede aportar complejidad a la ejecución de la obra. La perforación comienza con la realización del emboquille del sondeo. Se perfora con un diámetro de 1000 mm hasta una profundidad de 15 a 20 m y se entuba en 900 mm, cementándose el espacio anular con la pared del sondeo (Figura 28). Se continúa la perforación en 800 mm hasta atravesar toda la formación detrítica y alcanzar el acuífero carbonatado, entubándose en 650 mm. Este espacio anular también se rellena de mortero para aislar el sondeo de los niveles de terraza y recubrimiento terciario que empeoran la calidad de agua y generan afecciones al río Jarama. De esta manera, se impide que el agua contenida en esta formación acuífera entre en el sondeo, pues suele tener peor calidad que el acuífero carbonatado, aunque en el pasado era frecuente no aislar el acuífero. En caso de empezar a perforar directamente sobre los afloramientos de calizas, la profundidad de emboquille del pozo se reduce a 1,5 a 3 metros. Desde que el sondeo alcanza los niveles carbonatados hasta el final del sondeo, a unos 180 a 200 m de profundidad, se perfora a 650 mm de diámetro, entubándose en 480 mm y rellenando el espacio anular con la pared del sondeo con grava silícea clasificada de 3 a 5 mm.

Una vez finalizadas las labores de ejecución del sondeo, se procede a su equipamiento y electrificación. Se realiza el cerramiento de la parcela para ubicar dentro las instalaciones necesarias para la explotación del sondeo.

Se distinguen las instalaciones exteriores o superficiales, como son la arqueta de bombeo y la arqueta de desagüe, los módulos para el alojamiento de los centros de alta y baja tensión y línea de acometida eléctrica y la tubería de conexión a la conducción general de abastecimiento. Como elementos de equipamiento subterráneo, existentes en la

vertical del sondeo, destacan la tubería de impulsión, el grupo electrobomba sumergible, los conductores eléctricos de alimentación al motor y la tubería piezométrica.

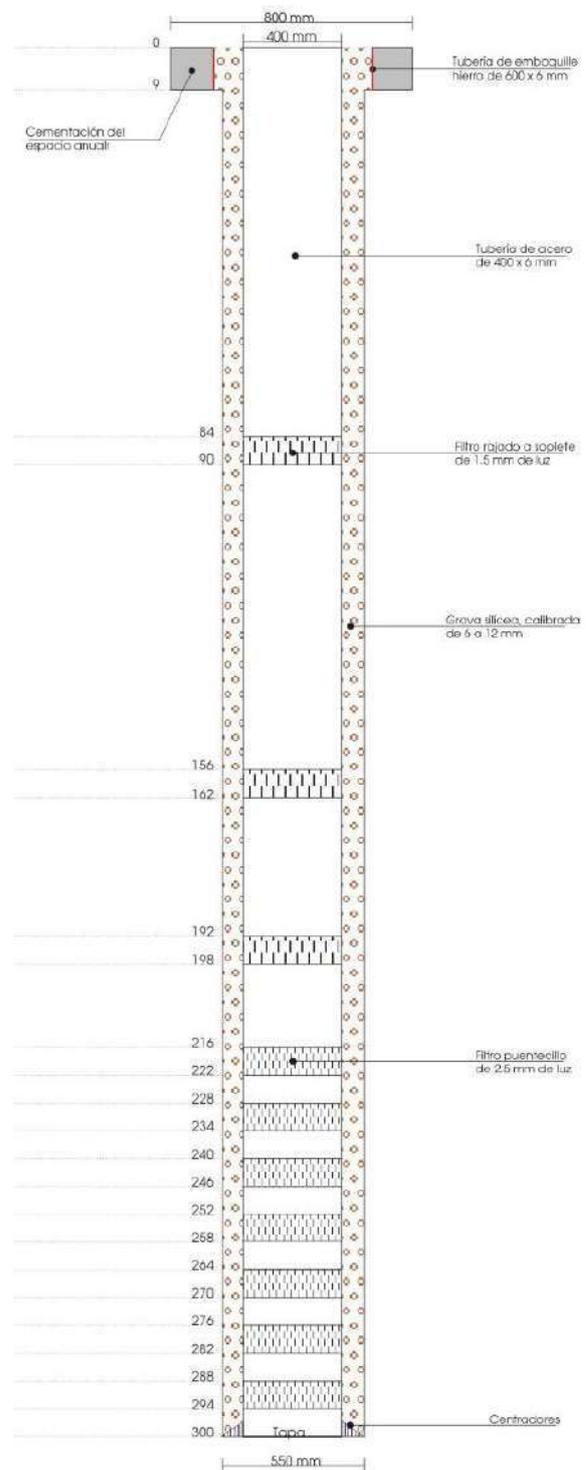


Figura 28. Esquema constructivo tipo de un sondeo en el acuífero carbonático de Torrelaguna

Estación de aforo (Río Jarama)

Saliendo de Patones de Abajo por la carretera M-102 (km. 8) se localiza, en el cauce del río Jarama, la estación de aforo de nº46 de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

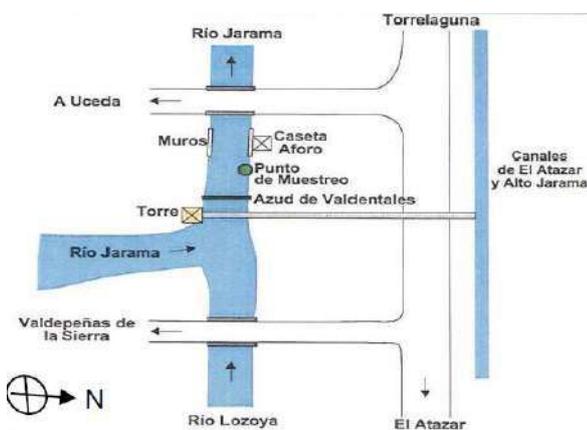


Figura 29. Mapa de situación de la estación de aforos del río Jarama
http://calidad.chtajo.es/pdf_tajo/calidad/Aguas_Superficiales/Red_Control_Calidad_Fisico-Quimica/Red_ICA/Punto%20muestreo%200046.pdf

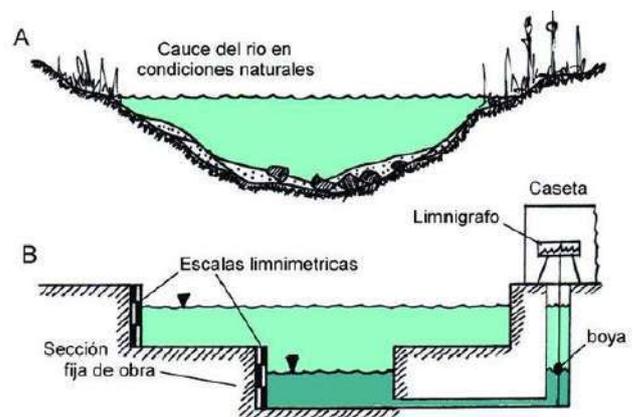
Se denominan estaciones de aforo porque aforar significa “medir el caudal”, por lo tanto las estaciones de aforo permiten medir el cau-

dal de un río de forma sistemática. El caudal de un río, es decir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo.

Los aforos pueden ser de dos tipos:

- **Aforos directos:** se realizan medidas con algún aparato o procedimiento directamente en el cauce (p.e., molinete).
- **Aforos indirectos o continuos:** realiza la medida del nivel de agua en el cauce, y a partir del nivel estimamos el caudal.

En este caso, la estación de aforo realiza aforos directos. Se sitúan en una sección de aforo o sección de control de un río, ya sea natural o preparado para tal efecto, en la cual se ha determinado una relación entre el nivel y el caudal. De esta forma, midiendo el nivel con una regla graduada implantada en el lugar, se logra determinar el caudal del río en dicha sección.



- A: Sección del río en condiciones naturales.
- B: Cauce del río preparado y acondicionado de obra para mantener una sección fija y facilitar su aforo.

Figura 30. Dispositivos de aforo indirectos: escalas limnimétricas y limnigrafo

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. Es necesario que un operario acuda cada día 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.

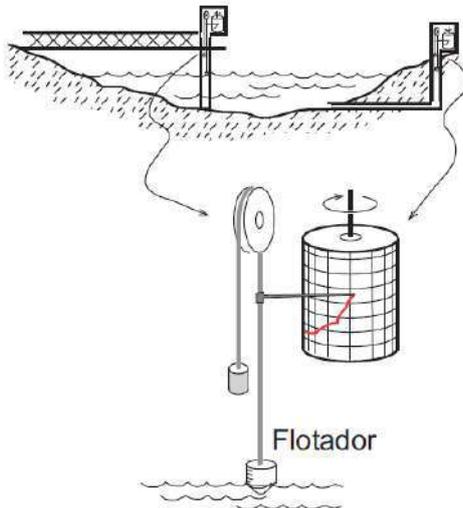


Figura 31. Ejemplo de limnígrafo con flotador clásico instalado. <https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

El modelo clásico funciona con un flotador que hace subir y bajar una plumilla sobre un tambor giratorio. Equipos más modernos permiten almacenar los niveles digitalmente. Otros dispositivos se sitúan en el fondo del cauce, miden la presión y la traducen a altura de columna de agua sobre él.

¿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, 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.

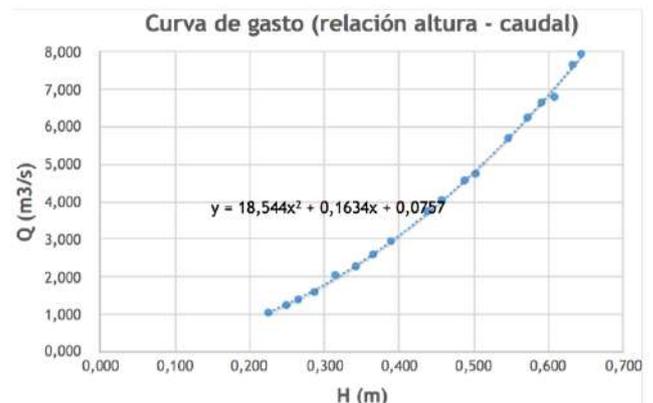


Figura 32. Representación gráfica de una curva de gasto

Esta relación hay que actualizarla periódicamente ya que la sección del cauce puede sufrir variaciones por erosión de la sección transversal o por la deposición de sedimentos.

Meandro abandonado (Río Lozoya)

En la carretera que une el Pontón de la Oliva con la presa de El Atazar, en un mirador situado a la derecha, cerca de la presa, podemos observar un meandro abandonado del río Lozoya considerado como LIG (Lugar de Interés Geológico)

¿Qué es un meandro? Es la curva que forma el cauce de un río y, se generan por la erosión y depósito de sedimentos en zonas con muy baja pendiente.

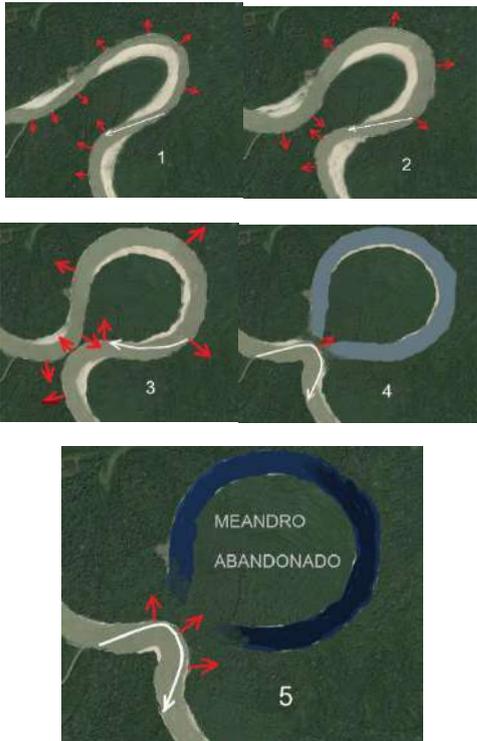


Figura 33. Evolución de un meandro abandonado. Fuente: <https://kuriosidadescientifiks.blogspot.com/2014/03/meandros-abandonados.html>

Los meandros abandonados se generan cuando el agua abandona el cauce por el que fluía debido al estrangulamiento del mismo (figura 32) buscando un camino más corto. En este caso, en el cauce abandonado se encuentran pequeñas lagunas con formas de media luna que pueden estar rellenas de agua estacionalmente.

Este meandro abandonado del río Lozoya se produjo por el encajamiento del mismo como consecuencia de la dinámica fluvial. Posiblemente, dentro de algunos miles de años se forme otro meandro abandonado y el río vuelva a modificar su recorrido. Es un sector cuyo basamento está constituido por pizarras del Ordovícico recubiertas por depósitos cuaternarios (cantos, gravas, arenas y arenas limoarcillosas).



Figura 34. Vista del meandro abandonado del río Lozoya desde mirador próximo al embalse de El Atazar. Las flechas representadas indican la dirección del flujo

PARADA 4. EMBALSE DE EI ATAZAR

La última parada del Hidrogeodía 2020 de Madrid corresponde al embalse de El Atazar.

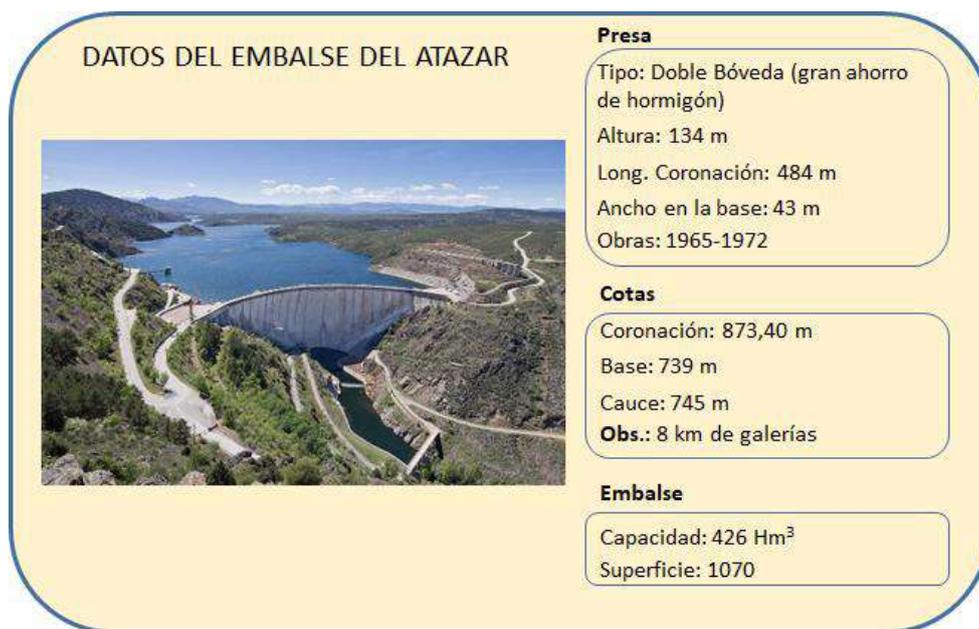
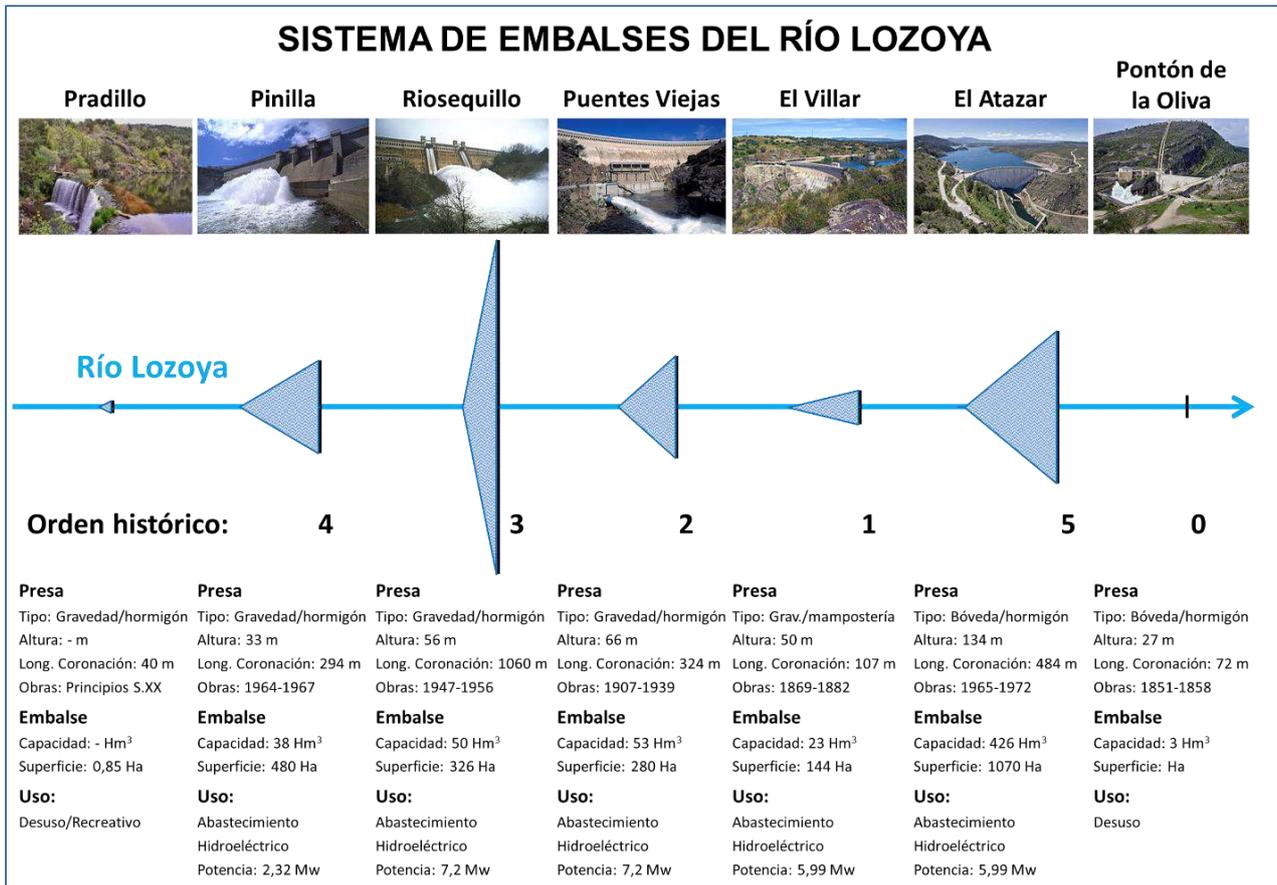


Figura 35. Esquema de los embalses del río Lozoya (parte superior) y datos técnicos del Embalse de El Atazar (figura inferior)

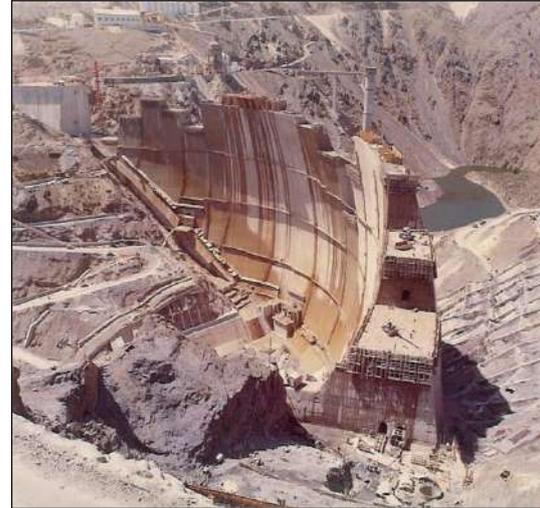
Embalse de El Atazar “La belleza”

El embalse de El Atazar es el mayor de la región: con una capacidad de 425,3 hm³ representa el 46% del total del sistema de abastecimiento de agua superficial de la Comunidad de Madrid.



Figura 36. Distribución de la capacidad de embalse en la Comunidad de Madrid

La presa de El Atazar constituye un importante **hito de la ingeniería hidráulica española**. Su espléndida bóveda, sus dimensiones (134 m de altura sobre cimientos y casi 500 m de longitud de coronación) y su enclave en un paraje privilegiado del tramo inferior de la cuenca del Lozoya, le proporcionan una indudable calidad estética y paisajística muy apreciada por sus innumerables visitantes y reproducida en abundantes publicaciones y postales (García Pérez *et. al* 2008).



Fase constructiva. 1969 (≈)



Fase explotación. Presa. 2020



Fase explotación. Embalse. 2020

Figura 37. Fases constructivas y de explotación del embalse de El Atazar

Los problemas: pizarras y fisuras



Figura 38. Problemas de inestabilidad en cada una de las laderas del embalse de El Atazar

En la **ladera derecha**, al ser el diaclasado principal paralelo a esta, se crearon problemas de inestabilidad a los empujes de la presa, por lo que fue necesario reforzarla mediante nueve vigas de hormigón armado fuertemente tensadas contra la ladera mediante anclajes de 230 Tm y 50 m de longitud.

La **ladera izquierda** también presentaba problemas de inestabilidad por la existencia de una falla prácticamente vertical y paralela al cauce, que se resolvió con un drenaje mediante cuatro galerías excavadas según la dirección del río y con vigas de hormigón armado con anclajes pretensados; la consolidación de esta obra se realizó construyendo una retícula de hormigón armado fuertemente anclado en profundidad

Para evitar los deslizamientos se hormigonó y pretensó todo. Como resultado se empleó en esto, más del doble que el hormigón de la presa y el proyecto definitivo resultó mucho más caro.

Diferentes deformaciones en cada una de las laderas generaron un momento torsor, produciendo fisuras, que tuvieron que resolverse mediante costosos tratamientos con resinas.

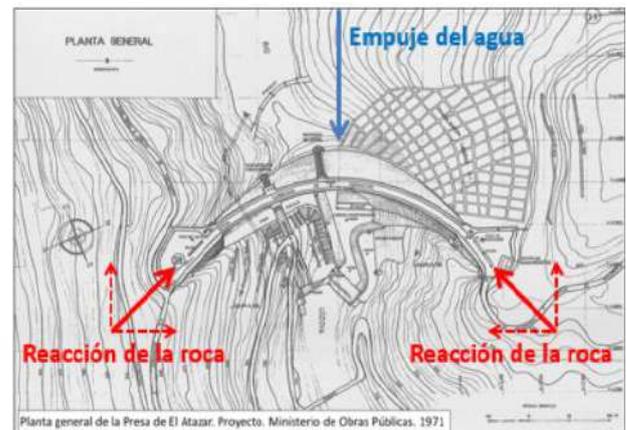


Figura 39. Esquema explicativo de las diferentes deformaciones que tienen lugar en el embalse de El Atazar

Por razones de seguridad, excepcionalmente el embalse operó a plena capacidad, aunque lo habitual es que no llegue a llenarse.

La conclusión fundamental es que debería haberse construido una presa de gravedad aunque el problema podría ser la altura de coronación.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- MADRID 2022

- Se ruega puntualidad.
- El lugar de inicio y finalización de la excursión será en la estación de metro de Ríos Rosas.
- La hora de salida será a las 8:30 h.
- Llevar calzado cómodo para caminar.
- Llevar bebida y algo para comer (bocadillo).
- Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra y crema solar, paraguas, chubasquero, etc.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Canal de Isabel II su colaboración en la celebración del Hidrogeodía (Madrid-2022), permitiendo y coordinando la visita técnica al campo de pozos de Torrelaguna. Ello ha permitido constatar la adecuada integración de las aguas subterráneas en el sistema de abastecimiento a Madrid.

También queremos agradecer la colaboración de Javier González Yélamos (Profesor titular del Departamento de Geología y Geoquímica de la UAM), por la información facilitada para la elaboración de parte del contenido de esta guía.

COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA MADRID 2022



Carlos Baquedano Estévez (IGME)



Elisabeth Díaz Losada (IGME)



Juan José Durán Valsero (IGME)



Javier Heredia Díaz (IGME)



Fabián Luis López Olmedo (IGME)



Almudena de la Losa Román (IGME)



Raquel Morales García (IGME)



Luis Moreno Merino (IGME)



Amalia Romero Prados (IGME)

PARA SABER MÁS....

Alonso-Zarza, A. M., Calvo, J. P., Silva, P. G. y Torres, T. (2004): Cuenca del Tajo. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, 556-561.

Bellido, F., Casquet, C., González Lodeiro, F., Martín Parra, L.M., Martínez-Salanova, J., Navidad, M., Olmo Sanz, A. del, Ibarrola, E., Capote, F., Vicente, G. de, Bardají, T., Centeno, J.D., Fernández, P., Pedraza, J., Merlo, A. y Ruiz García, M.T. (1991): Hoja y Memoria de *Torrelaguna (509)* del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, 2ª ser.: 130 p. ITGE.

Corchón, F., (1976): Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara). *Boletín del Servicio Geológico de Obras Públicas*, 40, 189 p.

Díaz Martínez, E. y Rodríguez Aranda, J.P (2008): Itinerarios geológicos por la Comunidad de Madrid. Colección Guías geológicas nº1. Instituto Geológico y Minero de España. 192 p.

Durán, J.J. (Editor) (1998): Patrimonio geológico de la Comunidad Autónoma de Madrid. Sociedad Geológica de España y Asamblea de Madrid, Madrid, 290 p.

García Pérez et al. (2008) La presa de El Atazar, 25 años después. *Revista de Obras Públicas/Junio 2008/Nº 3.489.13:30*

Gil, J., García, A. y Segura, M. (1993): Secuencias deposicionales en el flanco sur del Sistema Central. *Geogaceta*, 13, 43-45.

Gil, J. y García, A. (1996): El Cretácico del borde meridional del Sistema Central. Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geológicos*, 52 (1-2), 37-49.

Gil, J., García-Hidalgo, J.F., Segura, M. e Iglesias, J. A. (2000): Estratigrafía del Cretácico en el sondeo del Sifón de los Yesos (Torrelaguna) y su

correlación con afloramientos de superficie. *Estudios Geológicos*, 56, 19-29.

Gil, J., López Olmedo, F., Montes, M y Nozal, F (2008): El Mesozoico y Cenozoico al sur del Sistema Central. En *Geología de Guadalajara*. (Calonge, A. y Rodríguez, M. editores). XV Simposio de Enseñanza de la Geología. Guadalajara. 233-253 pp.

Hoyos, M., Lario, J., Sánchez-Moral, S., Cañaveras, J. C. y Sanz-Rubio, E. (1996). Estudio y evaluación del deterioro de la Cueva del Reguerillo (Cerro de la Dehesa de la Oliva, Patones, Madrid). Informe Técnico. Convenio MNM-CAM, 61 págs.

http://calidad.chtajo.es/pdf_tajo/calidad/Aguas_Superficiales/Red_Control_Calidad_Fisico-Quimica/Red_ICA/Punto%20muestreo%20046.pdf

<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pozos-ranney/>

<https://www.acuadernia.com/2018/04/la-historia-vacilante-de-las-aguas-subterranas-de-madrid-2/>

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65805912>

<https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

IGME (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica 031 Tajo. Masa de Agua Subterránea 0.31.004 Torrelaguna. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 35 pp.

López Carcelén, P. (2004). *Atlas ilustrado de la historia de Madrid*. 80 pp.

Portero, J. M. y Olivé, A. (1984): El Terciario del borde meridional del Guadarrama y Somosierra. En: *Geología de España, Libro Jubilar J. M. Ríos* (J. A. Comba, Coord.), IGME, Madrid, 2, 527-543.

Portero García, J.M., Díaz Molina, M., González Lodeiro, F., Pérez González, A. Gallardo, J., Aguilar, M. J. y Leal, M.C. (1991): *Memoria y cartografía del Mapa Geológico de España 1:50.000, Hoja nº. 485. (Valdepeñas de la Sierra)*. IGME, Madrid.

Sánchez, E., Iglesias, J.A., Cabrera, E., Muñoz, A y López-Camacho, B. (2005). Los campos de pozos del Canal de Isabel II: construcción, equipamiento y resultados. En: Libro homenaje al Profesor D. Rafael Fernández Rubio. 369-385

Sánchez-Moral, S., Lario, J., Bustamante, I., Cañaveras, J.C., Echegaray, M., Sanz, E., Segura, M. y Cuerva, S. Procesos de karstificación actual en el área del Cerro de la Oliva (Patones. Madrid). *Estudios Geológicos*, 59: 181-193 (2003).

Yélamos, J.G (2012). *Propuesta de una práctica de campo de hidrogeología por el Norte de Madrid*. Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología. Huelva. 112- 119.

NOTAS

HIDROGEOLOGÍA DÍA 2022

Málaga

COORDINA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

26 de marzo 2022

El río Vélez y las aguas subterráneas

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

PUNTO DE ENCUENTRO:

Avda. Gerald Brenan – Torre del Mar
(frente IES Joaquín Lobato)

IMPRESINDIBLE RESERVA
PREVIA

Contacto: luciaor@uma.es

Se ruega:

- Respetar la hora asignada
- Llevar agua, así como calzado adecuado para andar por el campo
- Compartir vehículos si es posible.
- La excursión durará unas 3 horas aprox.

Información detallada del lugar de encuentro y folleto de la excursión en:

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

<https://cehyuma.uma.es/>

ORGANIZA:



COLABORAN:



DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo/a, vinculada a la celebración del **Día Mundial del Agua**, cuyo lema este año es "**hacer visible lo invisible**", en referencia a las aguas subterráneas. Consiste en una excursión gratuita y abierta a todo tipo de público, en compañía de monitores especializados, que explican a los asistentes los principales aspectos hidrogeológicos del itinerario.

INTRODUCCIÓN

En Málaga, el **Hidrogeodía 2022** se celebra en la localidad de **Vélez-Málaga** (Fig. 1); una zona de gran interés geológico

y medioambiental al E de la provincia donde el aumento de la demanda urbana y, sobre todo, de la demanda agrícola, comprometen la gestión y la calidad de los recursos hídricos de la región.

La excursión se centra en el **acuífero detrítico del río Vélez**, situado en el tramo bajo de su valle, en la comarca de la Axarquía, a unos 30 km al E de la ciudad de Málaga (Fig. 1). Coincide con la llanura formada por los depósitos aluviales asociados a la dinámica de los ríos Vélez y Benamargosa. El aprovechamiento histórico de esta llanura ha sido la agricultura de regadío, en especial el cultivo de caña de azúcar y hortalizas, sobre todo en la "vega" de Vélez- Málaga. En los últimos años se ha extendido el cultivo de frutas subtropicales

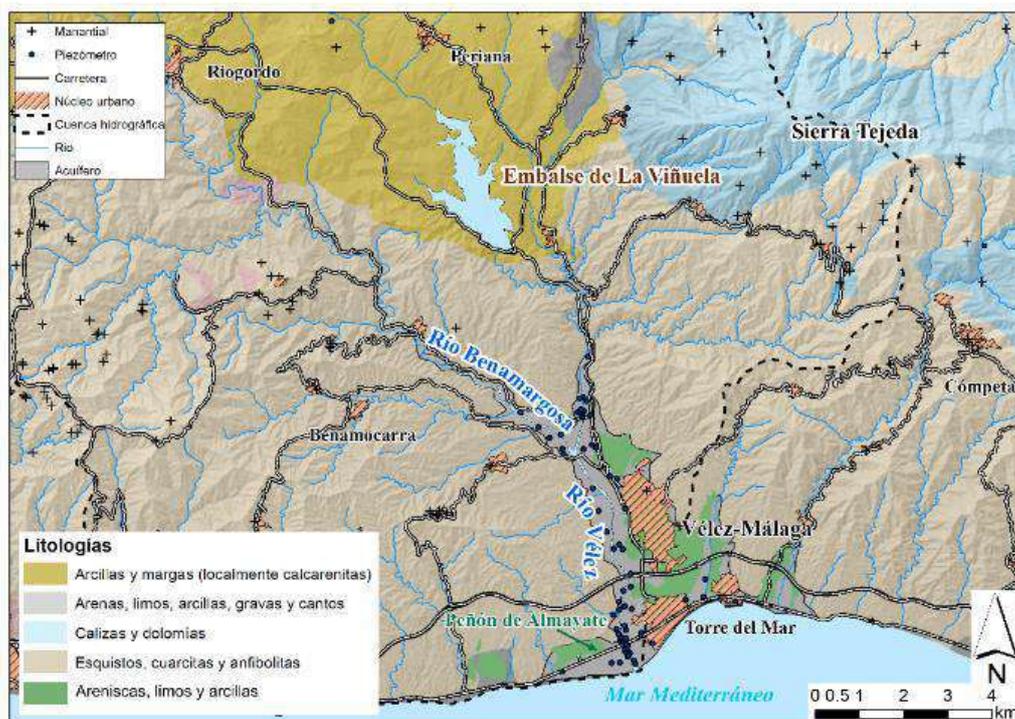


Figura 1. Esquema geológico-hidrogeológico del entorno del tramo bajo del río Vélez

(aguacate y mango), que ocupan también las laderas colindantes.

Los aspectos más relevantes que se tratarán en el **Hidrogeodía 2022** son:

1. Contextos geológico e hidrogeológico del entorno.
2. Consideraciones sobre el acuífero detrítico y su relación con las aguas superficiales del río Vélez.
3. La gestión de los recursos hídricos en esta cuenca mediterránea.
4. Calidad de las aguas subterráneas y su relación con las actividades agrícolas y la intrusión marina.
5. Efectos adversos de la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

su desembocadura (zona del delta) se entremezclan con formaciones costeras y marinas del Plioceno.

Estos depósitos detríticos de tipo aluvial y deltaico son los que forman el **acuífero** del río Vélez, mientras que los materiales más antiguos (sobre todo esquistos) conforman la base y los límites del mismo.



Figura 2. Panorámica del borde oriental del acuífero detrítico del río Vélez, con algunas de las litologías que forman la cuenca (Foto: José Benavente)

CONTEXTO GEOLÓGICO Y TIPOS DE ROCAS

La cuenca hidrográfica del río Vélez tiene una superficie de 610 km² y su cauce principal cuenta con una longitud de 68 km. En los relieves más destacados, como Sierra Tejeda (Figs. 1 y 2), con una altitud máxima de 2065 m s.n.m. (La Maroma), predominan **mármoles** de edad Triásico (hace 220 millones de años –Ma-). Las zonas de la cuenca situadas a cotas intermedias están ocupadas por **arcillas** y **areniscas** (Flysch) de edad Terciario (entre 65 y 5 Ma), y por **esquistos**, **pizarras** y **filitas** del Paleozoico (entre 400 y 300 Ma). En la parte baja de la cuenca, entre Vélez-Málaga y la costa, aparecen de manera discontinua **arenas**, **limos** y **arcillas** de edad Plioceno (entre 5,3 y 2,6 Ma). Finalmente, los depósitos **aluviales** cuaternarios (entre 2,6 Ma y la actualidad) configuran la llanura de inundación del río Vélez, mientras que en

PROPIEDADES ACUÍFERAS DE LAS ROCAS

Un material geológico tiene propiedades **acuíferas** si es **poroso** (tiene capacidad de almacenar agua) y **permeable** (si deja pasar o fluir a esta con facilidad). Es frecuente imaginar un acuífero como un “embalse” de agua subterránea que se encuentra inmóvil. Sin embargo, esta idea no se corresponde con la realidad, pues el agua subterránea de los acuíferos circula a través de poros, fisuras o grietas de las rocas (Fig. 3). El agua subterránea sólo puede moverse a través de los poros que están conectados entre sí (**porosidad eficaz**).

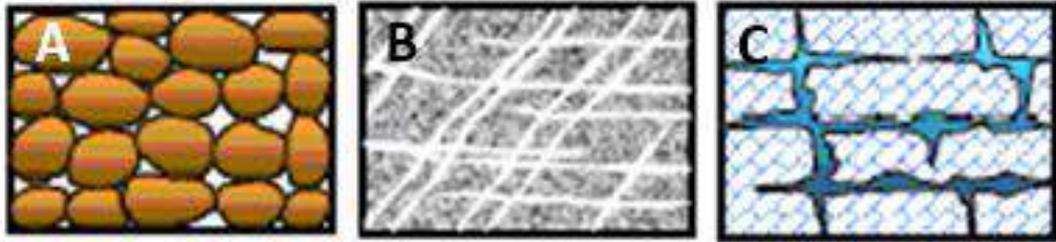


Figura 3. Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (A), por fisuras (B) y por grietas o fracturas ensanchadas por disolución –karstificación- (C)

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una formación rocosa con respecto al volumen total de la misma, condiciona la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero. Cuando se trata de materiales sueltos, el agua ocupa y fluye por los huecos que quedan entre los granos – porosidad intergranular- (Fig. 3A). Estos sedimentos constituyen los llamados **acuíferos detríticos**, como los existentes en el valle del río Guadalhorce, en la Vega de Antequera o en el valle del río Vélez.

Otras rocas, como las dolomías, calizas o mármoles que constituyen las sierras de Alhama, Tejeda y Almirajara presentan, por lo general, una porosidad intergranular baja o muy baja. Sin embargo, son materiales que pueden llegar a tener propiedades acuíferas muy notables, debido a la red de fisuras o fracturas interconectadas entre sí que existe en su interior (Fig. 3B). Los procesos de **disolución** o **karstificación** que sufren las rocas carbonáticas ensanchan progresivamente las fracturas hasta dar lugar a conductos y cuevas (Fig. 3C). En este contexto es en el que se forman los acuíferos denominados **kársticos**.

Por otro lado, existen rocas de **baja permeabilidad** (arcillas, pizarras, esquistos), con escaso interés acuífero, limitado a la zona de alteración superficial o a la

fracturación. Sin embargo, la presencia de estas rocas es clave para definir los **límites espaciales y la geometría** de los acuíferos.

TIPOS DE ACUÍFEROS

- ❖ **Acuíferos confinados:** son aquellas formaciones porosas en las que el agua subterránea se encuentra “cautiva” entre dos capas de rocas impermeables (Fig. 4B). El agua subterránea está a una presión mayor que la presión atmosférica.
- ❖ **Acuíferos semiconfinados:** algunas de las capas confinantes son semipermeables, acuitados (Fig. 4C).
- ❖ **Acuíferos colgados:** se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una recarga, asciende el nivel freático y queda retenido un volumen de agua por un nivel inferior impermeable (Fig. 4D).
- ❖ **Acuíferos multicapa:** son un caso particular (y frecuente) de acuíferos en los que se suceden niveles con distinta permeabilidad (Fig. 4).

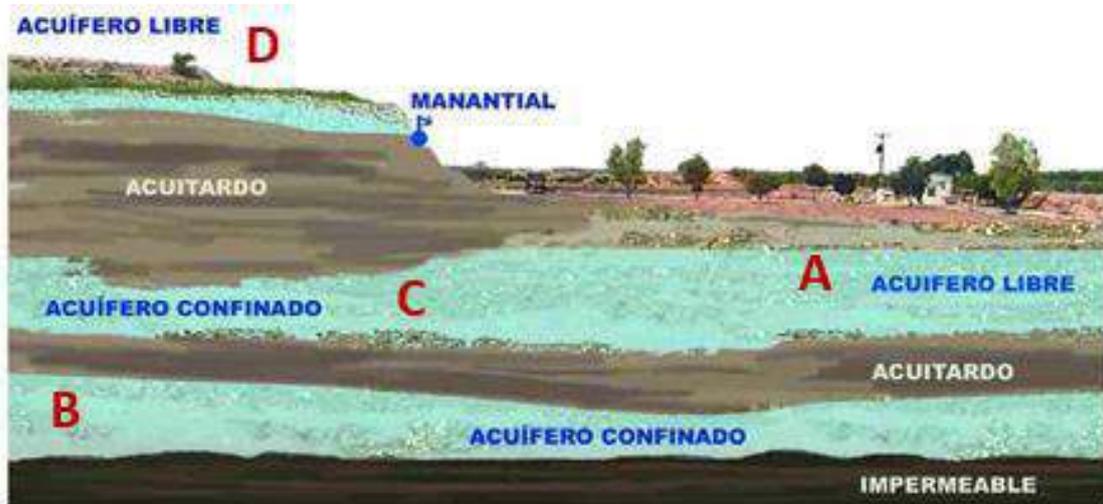


Figura 4. Tipos de acuíferos según la presión a la que se encuentra el agua subterránea (Fuente: IGME)

EVOLUCIÓN DEL RELLENO DETRÍTICO DEL RÍO VÉLEZ

A lo largo del tiempo, la cuenca del río Vélez ha cambiado por causas y procesos naturales y también por la influencia antrópica (González, 1996). Gracias al análisis sedimentario, geomorfológico y a los restos arqueológico se puede conocer la evolución geológica e histórica del tramo bajo del actual río Vélez.

En el Plioceno, el valle bajo del río Vélez formaba parte de un mar poco profundo próximo a la costa. Los sedimentos que se depositaron en aquella época (areniscas, limos y arcillas) aparecen hoy a varias decenas de metros por encima del nivel del mar, como en el casco urbano de Vélez-Málaga o en El Peñón de Almayate (Fig. 1), donde se ubica la cantera de Almayate, de la que se extrajo material para la construcción de la Catedral de Málaga (Pezzi, 2005).

Hace 8000 años, el mar se adentraba hasta el actual punto de confluencia de los ríos Vélez y Benamargosa (Fig. 1), los cuales funcionaban como dos cuencas independientes (Fig. 5A). La “vega” de Vélez-Málaga constituiría así una ría.

La colonia fenicia de Toscanos (s. VIII a.C.) se emplazó en la bahía que hubo dentro del estuario de la desembocadura del río Vélez, la cual constituiría una zona lo suficientemente resguardada como para construir un puerto (Fig. 5B).

En la narración de la conquista de Vélez-Málaga por los reinos cristianos, en 1490, se describe como esta se produce gracias a embarcaciones (Fig. 5C), lo que indicaría que el estuario del río Vélez podría haber sido parcialmente navegable en esa época.

En los últimos siglos, las modificaciones se han producido sobre todo en la línea de costa. En el siglo XVIII (Fig. 5D) la costa presentaba una configuración

relativamente rectilínea en su desembocadura, con una laguna interior. A partir de esa época, la línea de costa cambia su morfología con la formación del delta (Fig. 5E). En la actualidad, el delta sufre una erosión en la margen occidental a causa de la corriente de deriva

de componente E, paralela a la costa, y que se manifiesta especialmente en los temporales de levante. También influye el hecho de que la presa de La Viñuela (Fig. 1) retiene sedimentos.

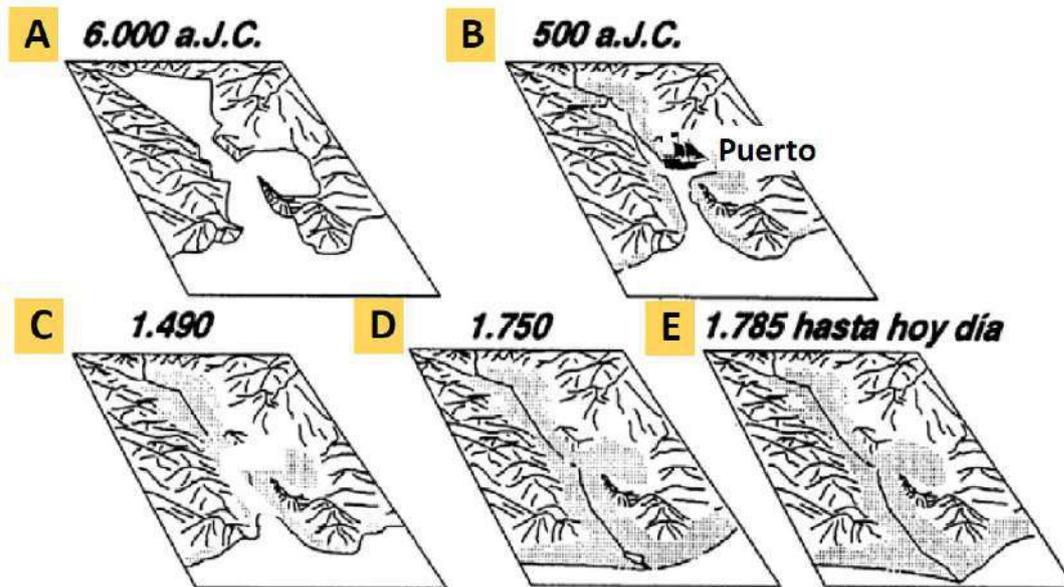


Figura 5. Evolución histórica-geomorfológica del tramo bajo del río Vélez (González, 1996)

EL ACUÍFERO DETRÍTICO DEL RÍO VÉLEZ

El acuífero principal del río Vélez está formado por depósitos detríticos aluviales (gravas y arenas), que ocupan una extensión aproximada de 20 km² y se encuentran encima de los sedimentos predominantemente margosos del Plioceno. El sustrato o basamento y los bordes del acuífero están constituidos principalmente por esquistos, así como por margas, limos y arcillas, todos ellos de muy baja permeabilidad.

La geometría de los depósitos detríticos está condicionada por la forma del valle fluvial y

por fracturas que afectan a las rocas del basamento y provocan la aparición de “escalones”. Los mayores espesores de sedimentos (hasta 75 m) aparecen en la confluencia de los ríos Vélez y Benamargosa, así como cerca de la costa, con más de 60 m de potencia, donde se han diferenciado dos tramos acuíferos separados por un nivel limo-arcilloso (Fig. 6). El tramo superior corresponde a un acuífero libre, mientras que el tramo inferior tiene características de acuífero confinado (García Aróstegui et al., 2007).

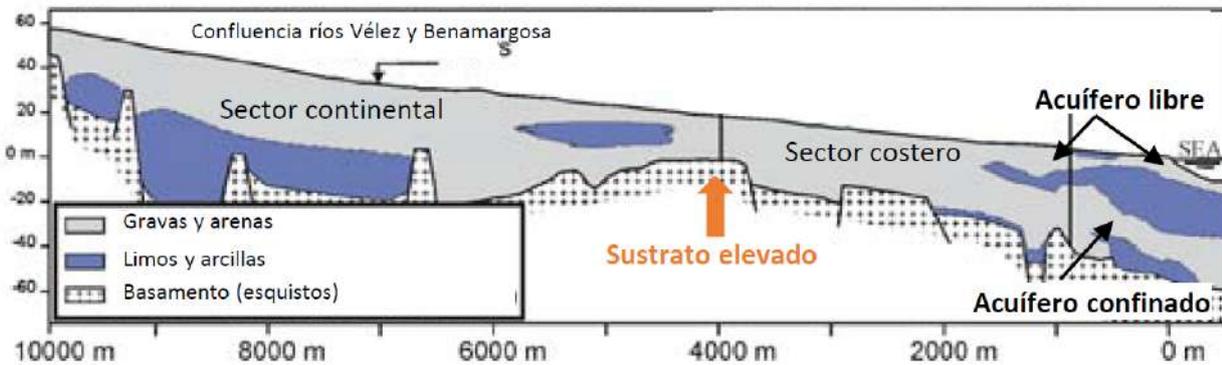


Figura 6 Corte longitudinal del acuífero a lo largo del río Vélez (modificado de García-Aróstegui et al., 2007)

Otra característica geométrica del acuífero, de gran importancia hidrogeológica, es la existencia de una elevación del sustrato a unos 4 km de la costa (Fig. 6), con la consiguiente reducción del espesor del acuífero, cuya base se sitúa a la cota del nivel del mar. Esta estructura permite distinguir un **sector continental** y un **sector costero** dentro del acuífero, independizados en épocas de sequía debido al descenso de los niveles piezométricos por debajo de la cota del mencionado umbral del sustrato.

La elevación del sustrato que distingue entre el sector continental y el sector costero (Fig. 6) resulta ventajosa desde el punto de vista hidrogeológico, ya que imposibilitaría el avance de la **intrusión marina** aguas arriba de dicho umbral.

ACUÍFERO COSTEROS E INTRUSIÓN SALINA

En los acuíferos costeros existe un contacto entre el agua dulce y el agua del mar (Fig. 7) denominado “**interfase**”, cuya posición puede variar por causas naturales como las mareas, variaciones del nivel del mar, variaciones climáticas, etc. Cuando la causa de esta variación es producida por la acción humana (bombeos de agua subterránea del acuífero) se produce **intrusión salina** (Fig. 7). El agua salada se desplaza hacia el continente y ocupa el espacio que antes ocupaba el agua dulce.

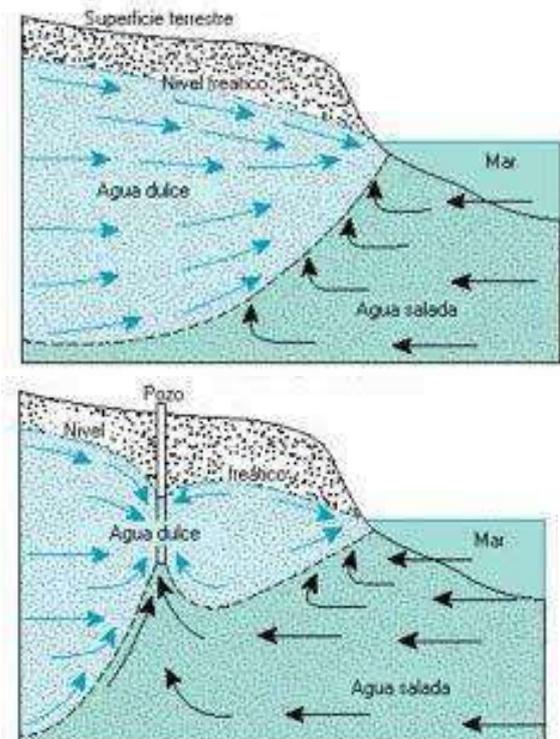


Figura 7. Esquema de un acuífero costero en condiciones naturales (izquierda) y en condiciones influenciadas por bombeos con intrusión salina (derecha)

Como se comentó previamente, en el sector costero del acuífero la presencia de limos y arcillas impermeables separa **dos niveles de acuíferos superpuestos** (Fig. 6): uno superior de tipo libre y otro inferior de tipo confinado. Debido al reducido espesor del acuífero superior, no se ha constatado la existencia de una interfase agua dulce-agua salada, aunque las aguas de este tramo presentan salinidades moderadas (entre 2 y 3 g/l).

En el acuífero inferior, se ha identificado claramente la zona de transición agua dulce-agua salada. Debido a la sequía acaecida en 1995, se produjeron procesos de intrusión marina en este acuífero (con valores de varias decenas de mS/cm). Sin embargo, las precipitaciones que tuvieron lugar en 1996 provocaron una mejora significativa de la calidad del agua y un proceso de “extrusión” o desalojo hacia el mar del agua marina almacenada previamente en el acuífero.

Esta disminución de la salinidad continuó progresando y los registros realizados en marzo de 1997, año también lluvioso, mostraron valores de conductividad eléctrica del agua inferiores a 2500 μ S/cm. Esta situación de extrusión marina y recuperación de la calidad de las aguas del acuífero inferior se ha mantenido hasta hace pocos años, gracias a la reducción de la explotación, si bien podría volver a darse si aumentan los bombeos.

LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El agua que recarga los acuíferos puede proceder de fuentes distintas: infiltración de lluvia y fusión de nieve, agua de los ríos que circulan sobre el acuífero o retorno de riegos, entre otros. En algunos casos, como en Sierra Tejada (acuífero carbonático), los recursos son “propios”, es decir, su

alimentación se produce por infiltración de agua de lluvia o de fusión nival sobre la superficie del acuífero. En el acuífero del río Vélez, la infiltración sobre la superficie permeable (tanto por infiltración de agua de lluvia como de excedentes o retorno de riegos) es inferior que la recarga procedente del caudal que circula por el río sobre el acuífero.

Sin embargo, desde mediados de la década de 1990, el régimen de caudales del río Vélez está modulado por la entrada en funcionamiento de la presa de La Viñuela, lo que afecta a la recarga del acuífero y a la disponibilidad final de recursos (Fig. 8).

La gestión de los recursos hídricos en la cuenca incluye, por tanto, el **uso conjunto** de aguas superficiales (reguladas mediante el embalse de La Viñuela) y aguas subterráneas (explotación del acuífero del río Vélez), lo que requiere de un correcto estudio y uso de los recursos y las reservas del acuífero.

A partir de finales de los años setenta, el aumento paulatino de la demanda para abastecimiento urbano y riego, ligado a la ampliación sustancial de la superficie dedicada a los cultivos subtropicales sobre las laderas próximas al valle aluvial, provocó el aumento del caudal bombeado en un número creciente de captaciones de agua subterránea y la sustitución de captaciones de excavación manual (pozos y galerías) por sondeos. La explotación de las aguas subterráneas del acuífero detrítico contribuyó así al desarrollo económico de esta comarca, pero la falta de planificación pronto dio lugar a la aparición de síntomas negativos relacionados con la explotación intensiva.

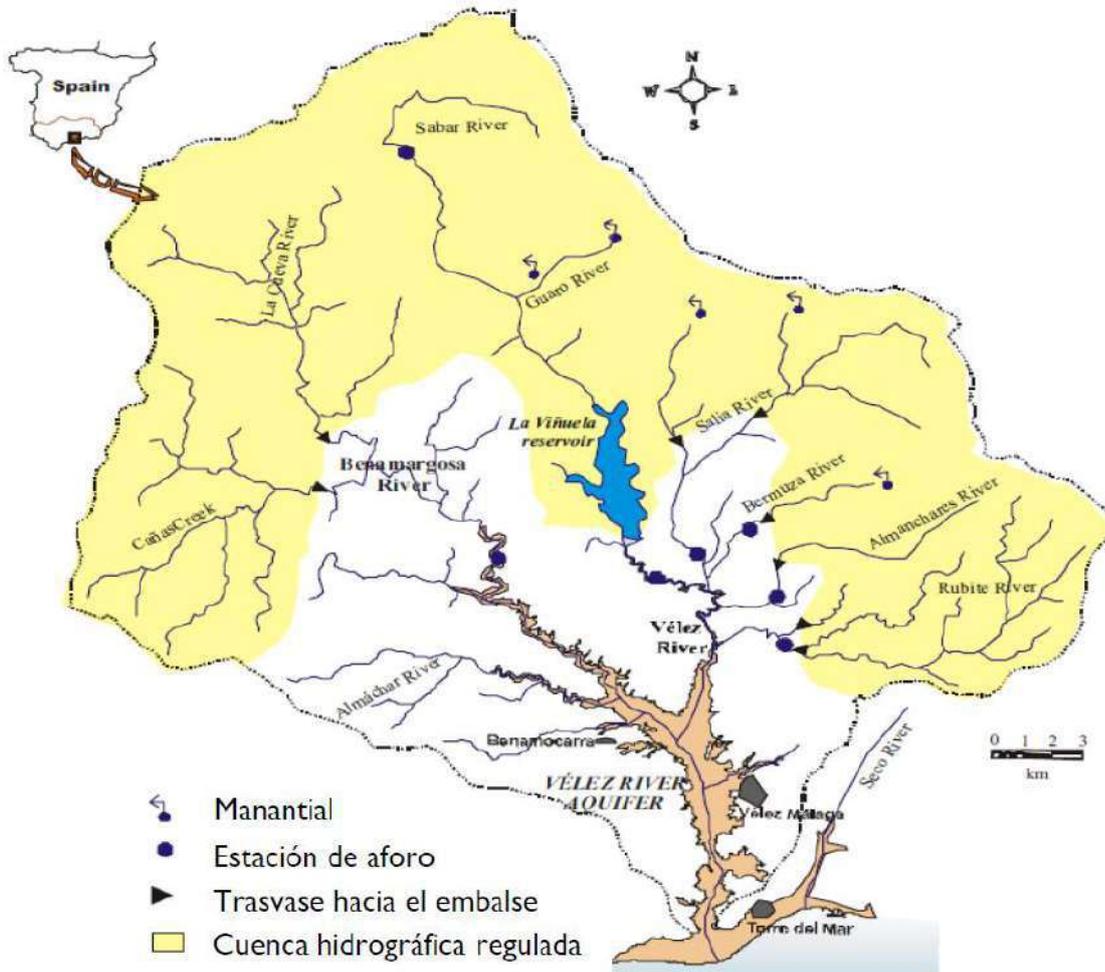


Figura 8. Cuenca hidrográfica del río Vélez y principales elementos de gestión hídrica (García- Aróstegui et al., 2005)

Así, en verano, se registraban importantes descensos de los niveles piezométricos, especialmente en años secos y empezó a advertirse un progresivo deterioro de la calidad del agua subterránea asociado a la **intrusión marina**.

A mediados de los 90, coincidiendo con un periodo severo de sequía, el acuífero sufrió una reducción considerable de sus recursos hídricos, con acusados descensos del nivel piezométrico. A finales del verano de 1995, la escasez de reservas en el embalse y la sobreexplotación del acuífero fue tal que generó graves problemas para cubrir el abastecimiento de la población (unas 60.000 personas, y el doble durante el verano), así

Como para cubrir el riego de los cultivos (unas 4.000 ha). 1996 y 1997 marcaron el final de la sequía, puesto que fueron años bastante lluviosos: los niveles piezométricos del acuífero se recuperaron rápidamente y la intrusión salina retrocedió considerablemente.

El régimen hidrológico del acuífero detrítico está condicionado por la gestión del embalse de La Viñuela. Su puesta en marcha tuvo lugar en el año 1989, tiene una capacidad de 173 hm³ y se logra regular el 72% de la superficie total de la cuenca hidrográfica.

LA CALIDAD DE LAS AGUAS

En España, la mayor parte de la población se beneficia, de forma directa o indirecta, de los diferentes usos del agua subterránea (Fig. 9). Es, por tanto, de vital importancia conocer y preservar el agua subterránea, ya que sostiene nuestros ríos y ecosistemas, apoya nuestra agricultura, quita nuestra sed y hace frente a los efectos generados por el cambio climático y las sequías.

La calidad del agua depende del uso para el que está destinada. Por lo general, se comparan las características físicas y químicas de la muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

Entre los factores que contribuyen al deterioro de la calidad del agua subterránea (Fig. 10) en el acuífero del río Vélez, destacan la presencia de **nitratos** y **pesticidas** (García Aróstegui et al., 1996). La contaminación por **nitratos** es generalizada en la mayor parte del acuífero y está íntimamente relacionada con la agricultura intensiva, el uso extensivo de fertilizantes inorgánicos y la forma de usarlos, así como el riego con aguas residuales. La aplicación de nitrógeno para mejorar la producción de los cultivos ha sido elevada durante las últimas décadas, con valores de 400 kg de nitrógeno por hectárea y año, sobre todo durante los meses de noviembre a abril. Los contenidos más elevados se observan en la **parte central** del sector aluvial y en el **sector costero**.



Figura 9. Consumo de agua en España. Fuente: www.pwc.es (Autor: Pablo González- Cebrián)

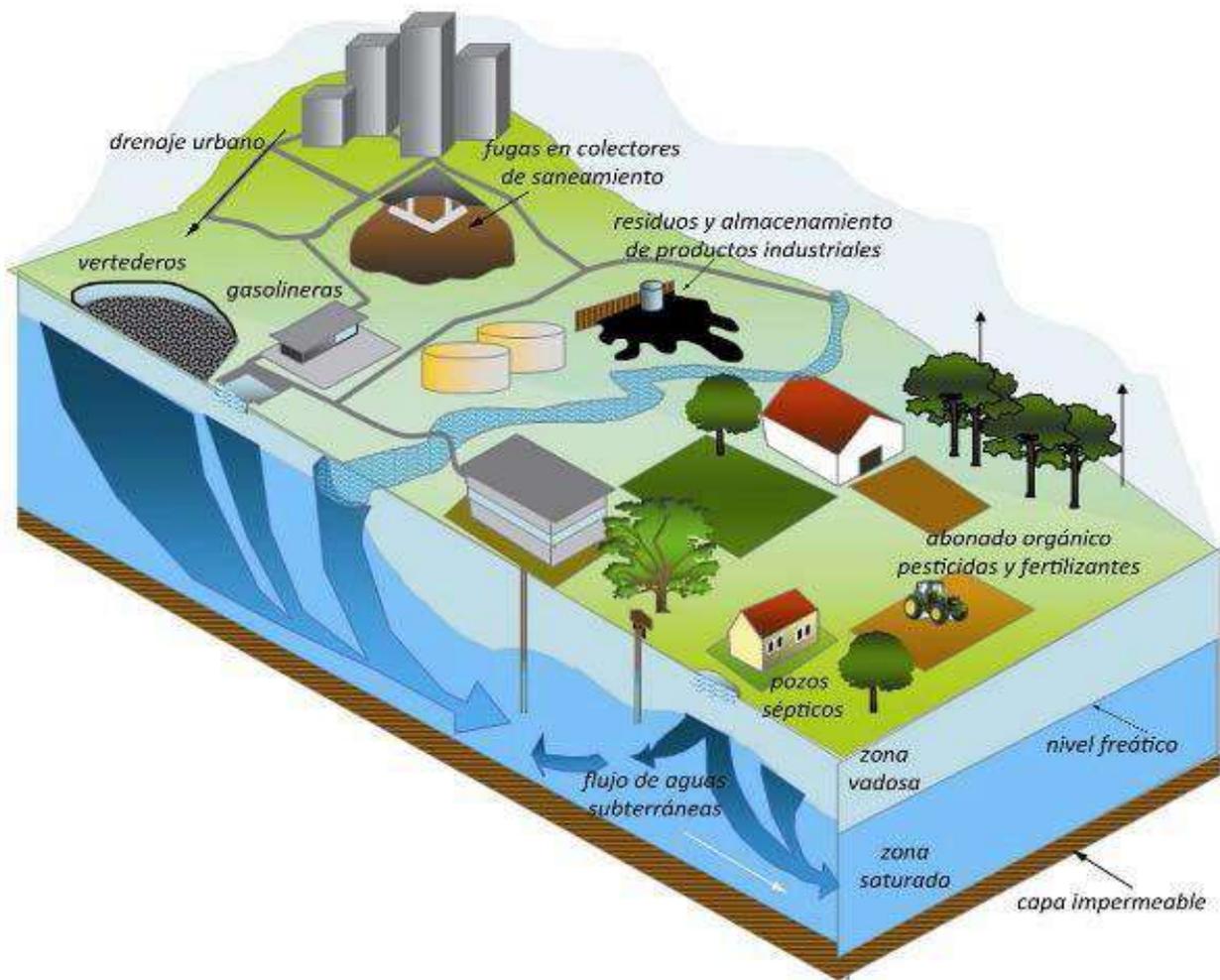


Figura 10. Diagrama explicativo sobre las fuentes de contaminación en los acuíferos. Fuente: <https://ruralsupplies.eu/>

Otros factores que influyen en la contaminación por nitratos son las tasas de riego e infiltración. En momentos en los que la lluvia es elevada, se favorece el lavado del exceso de nitrógeno acumulado en el suelo durante los periodos secos.

En cuanto a los **pesticidas**, las sustancias contaminantes provienen de herbicidas e insecticidas. Aunque aparezcan en concentraciones por debajo de los niveles máximos permitidos, su mera presencia es preocupante debido a su persistencia en el medio. También se ha constatado

la presencia de contaminantes como fármacos y productos de cuidado personal e higiene.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- MÁLAGA 2022

La excursión del Hidrogeodía 2022 tiene lugar en pleno contacto con la **naturaleza**, por un **itinerario definido**. Se ruega **no arrojar residuos** a lo largo del recorrido ni alterar el medio natural. 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 o sanitarias 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 2022 Málaga”



LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA MÁLAGA 2022

José María Ávila Marín
Juan Antonio Barberá Fornell
Alejandro Carrasco Martín
Beatriz de la Torre Martínez
Jaime Fernández Ortega
José Manuel Gil Márquez
José Pablo González de Aguilar Etchemendi
Luis Linares Girela
Cristina Liñán Baena
Marta Llamas Dios
José Francisco Martín Rodríguez
Matías Mudarra Martínez
José Manuel Nieto López
Lucía Ojeda Rodríguez
María Dolores Rodríguez-Ruiz
Juan José Rovira Medina
Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

PARA SABER MÁS....

Escolano, A., Carrasco, F. (1988). Estudio hidrogeológico de los acuíferos costeros de la Cuenca del río Vélez. Tecnología de la Intrusión de acuíferos costeros. TIAC 88

García Aróstegui, J. L., Cruz Sanjulián, J. J., Hidalgo Estévez, M. C., & Carrasco Cantos, F. (1996). Deterioro de la calidad de las aguas subterráneas en el acuífero del Río Vélez en el período 1985-1994 (Málaga, España).

García-Aróstegui, J.L., Hidalgo, M. C., & Benavente, J. (2005). Groundwater quality monitoring in a coastal Mediterranean aquifer affected by agricultural contamination and seawater intrusion- extrusion processes (Vélez River, Andalusia, Spain). Monitoring, modelling and management of coastal aquifers. Instituto Geológico y Minero de España, Granada, 301-313.

NOTAS



Región de Murcia



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

2 de abril 2022

¿Es visible lo invisible?

El agua subterránea en el Campo de Cartagena y Mar Menor



ORGANIZAN:



COLABORAN:



Comunidad de Regantes
Campo de Cartagena



Proyecto INPUT
PID2019-110311RB-C22. Financiación:
MCIN/AEI/10.13039/501100011033



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

EL HIDROGEODÍA

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

- 1) Dar a conocer las aguas subterráneas y su importancia para el desarrollo y bienestar de la sociedad, pero también para el buen funcionamiento de los ecosistemas.
- 2) Poner de manifiesto el papel que juegan las aguas subterráneas en un contexto de cambio global, tanto desde el punto de vista climático como socio-económico.

Este año 2022, Naciones Unidas (UN) ha decidido que el Día Mundial del Agua 2022 se centre en las aguas subterráneas. Con el lema “Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”, el principal objetivo es evidenciar su importancia y reivindicar una gestión adecuada y eficaz. Por ello, tenemos que darle aún más difusión si cabe en el Hidrogeodía. El

Hidrogeodía ha ampliado sus fronteras. Desde la AIH-GE se ha intentado llevar la iniciativa del Hidrogeodía a Iberoamérica, colaborando con esta experiencia piloto que se llevará a cabo en Chile y Guatemala.

En Murcia, el **Hidrogeodía 2022** se celebra el **2 de abril** mediante una visita guiada con explicaciones de las **técnicas hidrogeológicas y su aplicación al conocimiento de los acuíferos del Campo de Cartagena y sus relaciones con el Mar Menor**. Debido a la baja dificultad de acceso y el carácter de las explicaciones, la excursión está abierta a todo el público sin exigencia de sesgo técnico en los asistentes, si bien se recomienda llevar calzado adecuado a todo tipo de terreno.

PUNTO DE ENCUENTRO

El itinerario se efectúa en autobús proporcionado por la organización. El punto de encuentro se ha establecido en **Murcia**, en la parada de autobuses de la Plaza Circular nº12, **a las 9:00 h.**

Se verificará la lista de asistentes seleccionados, cuyas confirmaciones habrán recibido previamente. Se ruega avisar en caso de ser baja de última hora, lo que permitirá la posibilidad de llamar a eventuales participantes incluidos en la lista de reserva. Se ruega puntualidad.

QUÉ VEREMOS

Las explicaciones tendrán un nivel muy divulgativo y comprenderán aspectos sobre materiales geológicos que conforman los acuíferos, el movimiento del agua subterránea, el funcionamiento de acuífero, las relaciones entre aguas subterráneas y superficiales, los usos y calidad de las aguas subterráneas, así como la relación hidráulica del acuífero Cuaternario con el Mar Menor. La duración prevista es de unas 6 horas, con el siguiente horario aproximado:

- 09:00 h. Punto de encuentro: Plaza Circular nº12
- 09:45 h. Parada 1: Introducción. Consideraciones sobre el comportamiento hidrogeológico, áreas de recarga y aspectos geométricos. El papel estratégico de las aguas subterráneas.
- 10:30 h. Parada 2: Técnicas hidrogeológicas, hidrogeoquímica, y monitorización de agua y nutrientes en el suelo
- 12:30 h. Parada 3: Consideraciones sobre la descarga de agua subterránea al Mar Menor. Humedal del Carmolí y desembocadura de la rambla del Albujón.
- 13:30 h. Fin de la ruta y vuelta al punto de encuentro



ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS GENERALES

José Luis García Arostegui (IGME-CSIC y UM)

Nicolás Tapia Morales (AQUATEC-AGBAR)

Antonio Jesús Ramírez Bermúdez (AQUATEC-AGBAR)

Introducción

El acuífero del Campo de Cartagena es un caso paradigmático de sistema antropizado, cuyo ciclo hidrológico y ecosistemas se encuentran sometidos a una alta presión. A escala de la cuenca mediterránea, incluso a nivel internacional, representa uno de los sistemas acuíferos más importantes en cuanto a productividad de las aguas para regadío, y más interesantes desde el punto de vista científico y técnico por la diversidad de circunstancias que confluyen. Los aspectos agronómicos, las interrelaciones con la laguna costera del Mar Menor y las implicaciones ambientales proporcionan un interés adicional y una trascendencia socioeconómica de primer orden, que implica necesariamente la mejora del conocimiento hidrogeológico de los procesos con el fin de poder mitigar los impactos negativos.

El acuífero del Campo de Cartagena se extiende entre las provincias de Murcia y Alicante y ocupa una extensión superior a los 1200 km², siendo una amplia llanura escasamente inclinada hacia el sureste y rodeada por elevaciones montañosas en todo su perímetro salvo el litoral, en el que presenta contacto con la laguna hipersalina del Mar Menor y con el Mar Mediterráneo. No hay cursos de agua permanentes y la escorrentía superficial se infiltra a lo largo de los cauces de la red de drenaje, entre las que destaca la rambla del Albuñón, sin alcanzar el

mar, salvo en eventos de cierta intensidad y en la zona sur.

Desde el punto de vista geológico, la zona constituye una de las principales cuencas sedimentarias del Neógeno-Cuaternario de las Cordilleras Béticas, con espesores máximos superiores a los 2000 m, y una geometría condicionada con un sistema de fallas de tipo normal con orientaciones NE-SO y E-O que dan lugar a estructuras en horst y graben que han condicionado el depósito de algunas formaciones. Desde el punto de vista hidrogeológico, el relleno sedimentario de la cuenca se compone principalmente de materiales limoso-arcillosos y margosos de baja permeabilidad con intercalaciones de materiales de alta permeabilidad que dan lugar a acuíferos de interés. Aunque existen acuíferos profundos relativamente poco conocidos, clásicamente se han definido cuatro acuíferos separados por niveles de baja permeabilidad que desde superficie hacia muro son los siguientes: Cuaternario (gravas, arenas y arcillas), Plioceno (calcarenitas bioclásticas y conglomerados), Messiniense – o Andaluciense- (calcarenitas, conglomerados y calizas) y Tortoniense (conglomerados y areniscas; acuífero de la Naveta según el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura). Por tanto, el sistema hidrogeológico está constituido por tres acuíferos profundos fundamentalmente confinados (de edad Tortoniense, Messiniense y Plioceno), y un acuífero superficial libre de edad Cuaternario. Por último, se define un quinto acuífero formado por rocas carbonatadas de edad Pérmico-Triásico, que aflora en el Cabezo Gordo, y constituye el acuífero independiente del “Triásico de Los Victorias” situado en la zona de Fuente Álamo.

Los acuíferos confinados tienen una pequeña superficie de afloramiento al norte en donde tiene lugar la recarga natural, mientras que el

acuífero libre, además de la recarga natural del acuífero, recibe la recarga por retorno de riego.

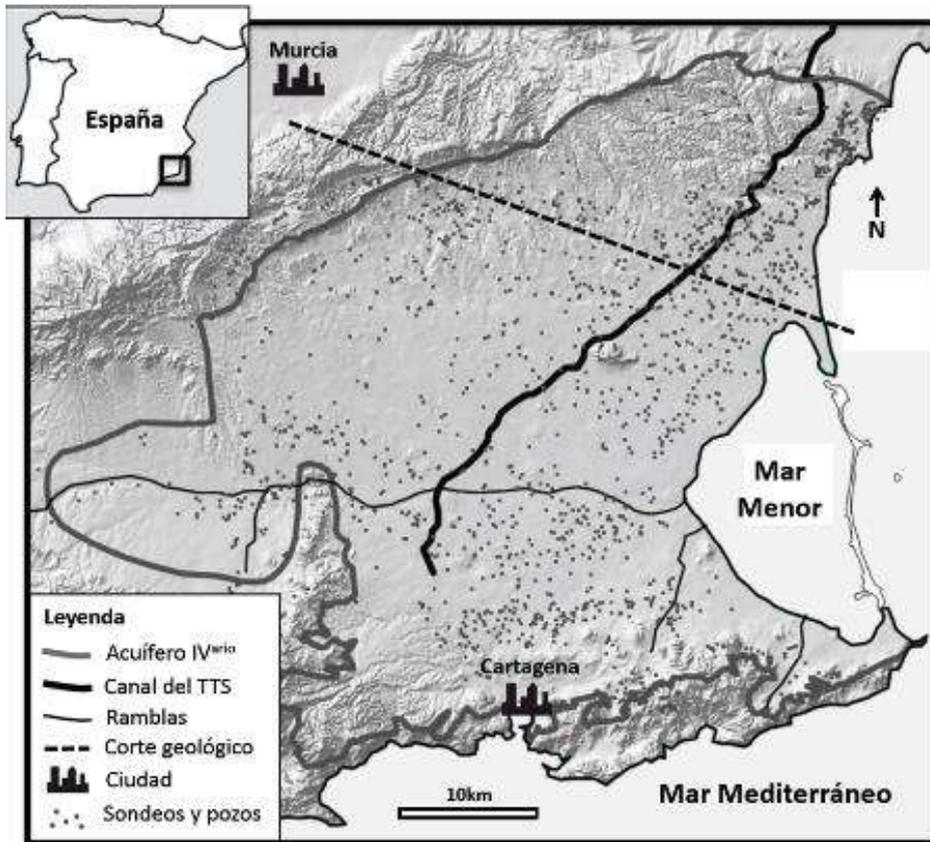


Figura 1. Localización

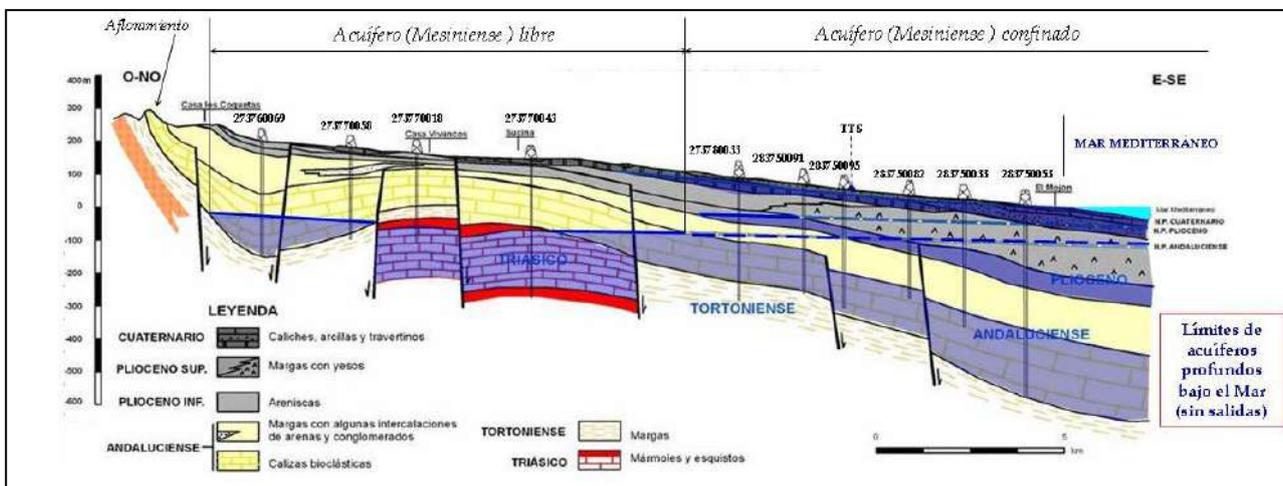


Figura 1. Corte hidrogeológico del sistema multicapa.



Hidrodinámica

Desde un punto de vista hidrodinámico, el flujo subterráneo es perpendicular a la línea de costa para el acuífero Cuaternario, mientras que para los acuíferos Plioceno y Messiniense éste se encuentra alterado y condicionado por el régimen y distribución espacial de bombeos.

Existen dudas sobre la descarga de los acuíferos confinados en régimen natural. A principios del siglo XX estos acuíferos presentaban carácter artésiano, pero el incremento de la explotación con fines agrícolas dio lugar a una inversión de los gradientes hidráulicos verticales probablemente en la década de los años 50 del pasado siglo. Años antes de la llegada del TTS en 1979, se comenzó a producir un aumento de la recarga (con agua para riego procedente del bombeo en los acuíferos profundos), con

la consiguiente subida del nivel de las aguas subterráneas del acuífero libre, provocando la construcción de drenajes en zonas bajas, ya durante la década de los años 90, al tiempo que aumentaba la descarga de aguas subterráneas al Mar Menor.

A escala de todo el acuífero multicapa, la perspectiva histórica indica que se viene efectuando un uso combinado no planificado de aguas subterráneas y superficiales (aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura y otros), de tal manera que, especialmente por su peor calidad (y no siempre menor coste), las aguas subterráneas son empleadas por usuarios individuales cuando escasean los recursos del trasvase en el área regable. Esta área corresponde mayoritariamente a la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena, aunque también incluiría otras

comunidades en la provincia de Alicante que están sobre el acuífero. Los regadíos ubicados fuera de la zona regable del trasvase sólo coincidente con la rambla del Albuñón, salvo en la parte cercana a la desembocadura, lo que pone de manifiesto una escasa relación hidráulica entre la rambla del Albuñón y el acuífero.

un flujo subterráneo evidente hacia el Mar Mediterráneo y hacia el Mar Menor. El trazado de las isopiezas indica un eje de flujo no coincidente con la rambla del Albuñón, salvo en la parte cercana a la desembocadura, lo que pone de manifiesto una escasa relación hidráulica entre la rambla del Albuñón y el acuífero.

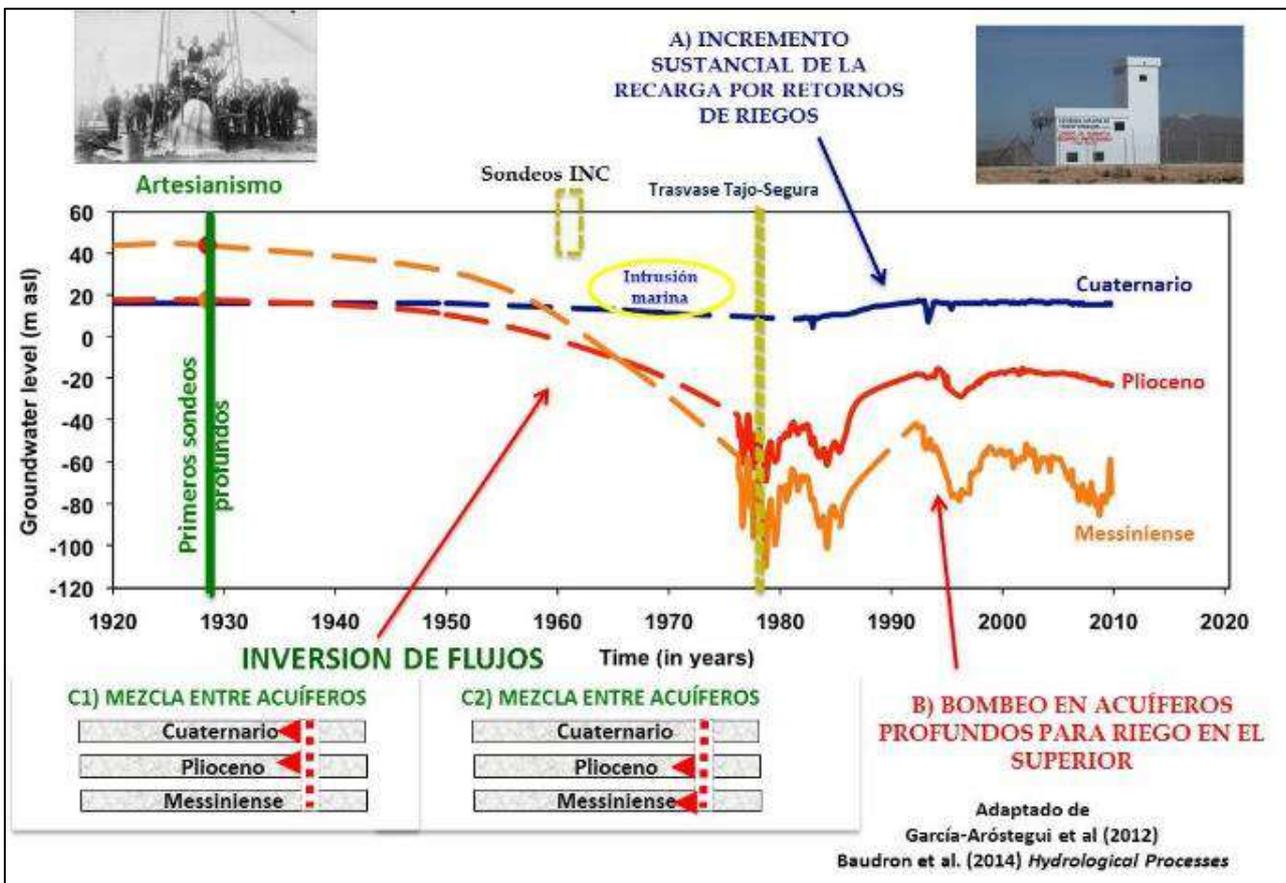


Figura 3. Evolución temporal histórica de niveles piezométricos.

Piezometría del acuífero Cuaternario, relación aguas superficiales-aguas subterráneas y conexión con el Mar Menor

Desde un punto de vista hidrodinámico, las isopiezas son sub-paralelas a la línea de costa para el acuífero Cuaternario, es decir, existe

De acuerdo con la información disponible, el único acuífero que presenta conexión hidráulica directa con el Mar Menor es el Cuaternario (y localmente el Plioceno), cuyo

esquema general de funcionamiento es relativamente simple. En régimen natural la recarga se producía únicamente por infiltración de la lluvia útil sobre los afloramientos que ocupan la mayor parte del Campo de Cartagena y las descargas se producían probablemente a cauces en el sector litoral y fundamentalmente, de forma subterránea, al Mar Menor y Mar Mediterráneo a lo largo de todo el borde costero con fluctuaciones relacionadas con periodos secos y húmedos. En la actualidad la recarga debe ser significativamente mayor que en régimen natural y las descargas se siguen realizando al Mar Menor y Mar Mediterráneo, si bien, estarán condicionadas por el bombeo existente y la eventual transferencia a los acuíferos profundos de forma natural o a través de sondeos que atraviesan las distintas formaciones permeables del acuífero multicapa.

intervinientes que probablemente es válido para la mayor parte de los acuíferos detríticos libres en contacto con una masa de agua libre de mayor densidad. Esta mayor densidad del agua salina, especialmente en el caso del Mar Menor (de salinidad mayor que el Mar Mediterráneo), da lugar a que se establezca lo que se conoce como interfaz agua dulce-agua salada (téngase en cuenta que en el Campo de Cartagena, en sentido estricto, el agua dulce, esto es, el agua de la parte terrestre, es en realidad un agua salobre por causas naturales y antrópicas). Si se considerase una interfaz neta (en realidad es una zona de mezcla) y teniendo en cuenta las densidades esperables del agua dulce y salada de la zona, se quedaría situada a unas 30-35 veces la altura del nivel piezométrico, es decir, si el nivel piezométrico es de 1 m s.n.m., la interfaz estaría a 30-35 m bajo el nivel del mar. Dicha interfaz, por tanto, se moverá en función de las fluctuaciones del nivel piezométrico. La posición de la interfaz junto con fenómenos de ascenso vertical por



Figura 2. Esquematización del acuífero Cuaternario en relación con el Mar Menor

En lo que concierne estrictamente al contacto del acuífero con el Mar Menor, se muestra un esquema conceptual de los flujos

bombeo (conocido como upconing), provocó en la década de los años 60-70 problemas de contaminación por intrusión marina que tras

el incremento de la recarga a raíz de la llegada de las aguas del Trasvase Tajo-Segura debió generar un proceso de retroceso de la interfaz.

La descarga de agua dulce (en realidad salobre) hacia la laguna se produce, por tanto, a lo largo del borde costero en una franja relativamente estrecha de la orilla. Esta descarga es función de la piezometría y de los parámetros hidráulicos, lo que implica la necesidad de conocer, al menos, los espesores del acuífero en el borde de contacto (prospección geofísica y sondeos de reconocimiento), las permeabilidades (ensayos de bombeo) y los gradientes hidráulicos (piezómetros de control). Los caudales de descarga presentan cierta variabilidad espacial (a largo del frente de contacto), y temporal habida cuenta de respuesta inercial del acuífero.

Se considera que el papel de las aguas subterráneas, altamente contaminadas por nitratos, puede ser muy relevante en cuanto a las aportaciones al Mar Menor, con flujos de entrada superiores a las entradas superficiales a nivel interanual a largo plazo. Algunas publicaciones científicas recientes indican que la descarga del acuífero al Mar Menor puede ser un orden de magnitud mayor que la cifra oficial del Plan Hidrológico, de tal manera que existen incertidumbres importantes que siguen sin ser del todo resueltas. Por tanto, en relación con el deterioro del Mar Menor, uno de los aspectos claves a establecer es el origen de las entradas de nutrientes (fundamentalmente nitrógeno y fósforo), y las vías de incorporación a la laguna.

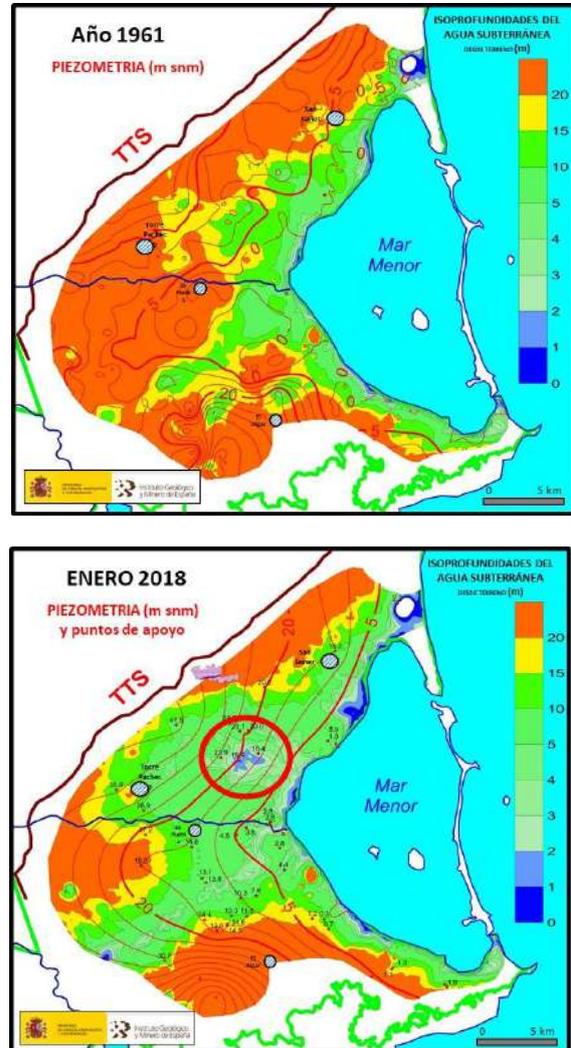


Figura 5. Mapas de isopiezas e isopropfundidades del agua subterránea.

Aspectos hidroquímicos generales

En general, las aguas subterráneas del Campo de Cartagena presentan una elevada salinidad, tanto de origen natural, por los procesos de evapoconcentración y la presencia de materiales evaporíticos en algunas zonas de los acuíferos profundos, como antrópico, por prácticas agrarias que implican procesos de recirculación para los retornos de riego, y contaminación de origen urbano y minero, fundamentalmente. Por sus condiciones de

afloramiento y escasa profundidad del nivel freático, el acuífero Cuaternario es el más vulnerable a la contaminación. La facies es clorurada-sulfatada mixta.

La facies predominante en el acuífero Plioceno es clorurada-sulfatada sódico-magnésica. Sus aguas presentan una mineralización generalmente creciente según la dirección de flujo, no solamente debido a procesos naturales, sino también al papel que juega la alta densidad de sondeos con características constructivas deficientes en la comunicación con el acuífero Cuaternario.

En el acuífero Messiniense los valores de la salinidad se incrementan hacia la costa probablemente debido a procesos naturales de disolución. El agua de este acuífero posee temperaturas elevadas que van desde los 27°C a los 34°C. Aunque puede existir relación hidráulica entre este acuífero y los materiales del basamento Bético, esta elevada temperatura se debe fundamentalmente a la profundidad que alcanza el acuífero en determinadas zonas (gradiente geotérmico). Predomina la facies clorurada-sulfatada mixta o sódica, aunque las aguas con menor salinidad son del tipo clorurada-bicarbonatada mixta.

En el caso del Campo de Cartagena, el acuífero Cuaternario está contaminado por nitratos, lo que junto a la gran densidad de pozos abandonados y/o mal contruidos que comunican los acuíferos, hace que se pueda producir un flujo de agua subterránea y el transporte de contaminantes hacia los acuíferos confinados profundos. No obstante, la evaluación cuantitativa de los flujos es aún objeto de estudio y las cifras disponibles presentan una elevada incertidumbre. Por

otro lado, la necesidad de disponer de agua en periodos de sequía supuso la proliferación de pequeñas plantas desaladoras privadas de aguas subterráneas salobres, de forma paulatina entre 1995 y 2015, cuyas salmueras de rechazo hasta hace varios años eran vertidas a salmueros de mantenimiento incierto, o de forma incontrolada se introducían los acuíferos, con el consiguiente impacto ambiental que ello puede suponer a medio y largo plazo. Estos aspectos han tenido gran trascendencia ambiental, socioeconómica e, incluso legal, especialmente por las relaciones que existen con el Mar Menor. Este es, por tanto, un asunto conflictivo en el que se requiere un buen conocimiento hidrogeológico para solucionar la problemática.

HIDROGEOLOGÍA Y TÉCNICAS HIDROGEOLOGICAS

Alberto Barrera García (AQUATEC-AGBAR)

Nicolás Tapia Morales (AQUATEC-AGBAR)

Antonio Jesús Ramírez Bermúdez (AQUATEC-AGBAR)

La hidrogeología es la parte de la geología que estudia el ciclo de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección.

El agua, al precipitar, se infiltra por el suelo y queda almacenada en los huecos (poros) de las rocas, conformando lo que se denomina como acuífero (formación geológica que permite el almacenamiento y el desplazamiento o transmisión del agua por poros o por grietas).

Por tanto, la geología es un factor condicionante en el comportamiento de las

aguas subterráneas y superficiales en el medio, ya que influye en él influye la distribución y tipos de materiales geológicos, así como la presencia de fallas, fracturas, estructuras, etc.

Asimismo, es una ciencia con una amplia y directa aplicación al ámbito profesional, puesto que estudia el agua tanto como recurso hídrico, como elemento que interfiere en determinadas obras civiles o en actividades antrópicas. Los principales campos de aplicación son los siguientes:

- Evaluación y gestión de recursos hídricos: la cuantificación del recurso hídrico subterráneo existente y la viabilidad de su explotación, es una tarea cada vez más importante dada la creciente demanda de agua en el ámbito global.
- Planificación hidrológica: dentro del marco de la planificación de los recursos, las aguas subterráneas juegan un gran papel por ser un recurso con gran peso en el global.
- Contaminación de aguas subterráneas: ya sea para protegerlas frente a potenciales fuentes de contaminación como para determinar y establecer procesos de remediación de las mismas.

Pozos y captaciones de agua subterránea

Los pozos son perforaciones realizadas en el terreno para captar agua subterránea. Se revisten con una tubería para evitar su colapso, la cual está ranurada en determinados

tramos para dejar penetrar el agua en su interior.

La captación de aguas subterráneas se realiza a través de infraestructuras denominadas pozos, sondeos o captaciones de aguas subterráneas, aunque también se puede realizar a través de manantiales o drenes.

Una captación es un pozo o sondeo que ha sido equipada para extraer el agua subterránea. Para ello se introduce un equipo de bombeo, compuesto por un conjunto bomba-motor que sea capaz de elevar el agua desde el interior del pozo hasta la superficie.

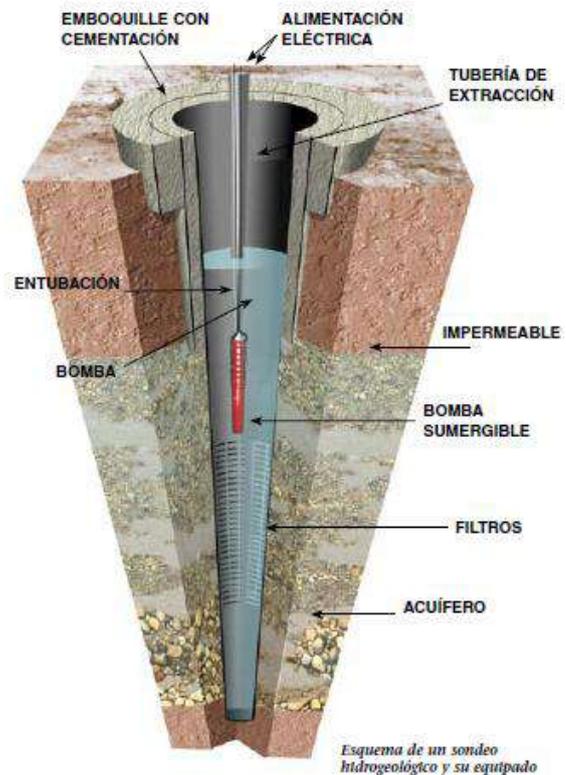


Figura 4. Esquema de un pozo

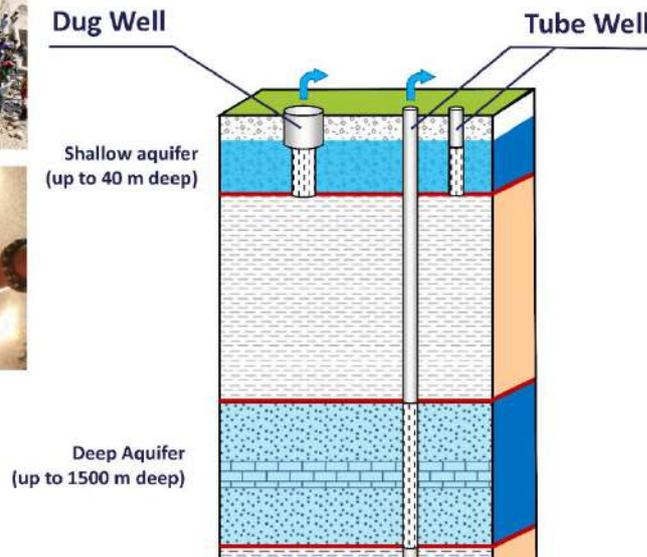


Figura 5. Tipos de pozos

Asimismo, en las captaciones se instalan una serie de sensores que permiten monitorizar (observar y registrar) determinados parámetros de funcionamiento, tales como:

- Profundidad del agua: sensor de nivel
- Caudal de explotación: caudalímetro
- Presión en cabeza de pozo: manómetro
- Consumo energético: analizador de redes

La información de estos sensores, se almacena y envía a través de un dispositivo vía GPRS o similar, para que pueda ser visualizada desde un dispositivo móvil o un PC con conexión a internet. Esto ayuda, junto con el conocimiento y el seguimiento de un hidrogeólogo/a que se pueda realizar una gestión eficiente y sostenible de la explotación del agua subterránea.

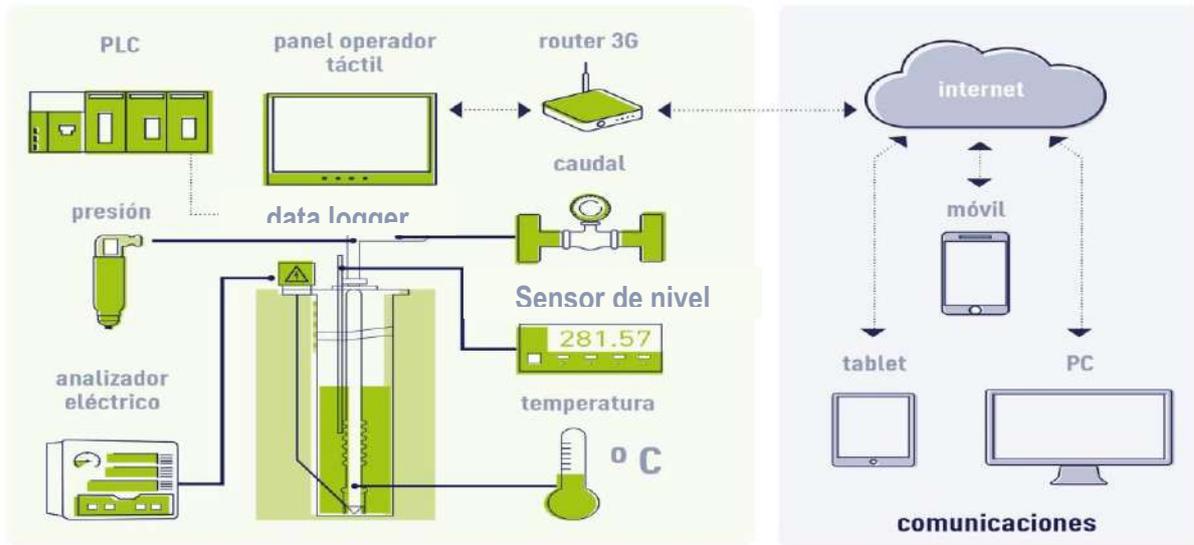


Figura 6. Esquema de la instrumentación y envío de datos en un pozo

¿Qué pasos debemos seguir para hacer un pozo?

De forma esquemática, los pasos a seguir para ejecutar un sondeo de explotación (pozo), son los siguientes:



Figura 7. Esquema del proceso para construcción de pozo

Antes de realizar un pozo, hay que realizar un **Estudio Hidrogeológico** que nos permita seleccionar aquella o aquellas zonas potencialmente favorables para la captación de aguas subterráneas en las condiciones en las que se requiera, es decir, en función de la demanda requerida tanto en cantidad (caudal) como calidad (características químicas).

En líneas generales, un Estudio Hidrogeológico para la ubicación de un pozo se compone de las siguientes actividades:

- **Geología de campo:** Dado que la geología es un factor clave de la hidrogeología, el primer paso es realizar una caracterización geológica de la zona de estudio, para lo cual es necesario realizar una cartografía de detalle en la que se caracterice la distribución, tipo, estructura, grado de meteorización, presencia de fracturas, etc., de las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.
- **Información de la zona:** también es necesario realizar una búsqueda y

análisis de información existente, así como la generación de nueva información de la zona, siguiendo las siguientes actividades:

- Recopilación y análisis de antecedentes (estudios previos, información meteorológica, registros piezométricos, estudios geofísicos, etc.)
- Inventario de puntos de agua, con la finalidad de conocer qué tipo de pozos y sus características hay en la zona de estudio. Medir niveles piezométricos, registrar la calidad del agua, etc.
- Geofísica: en algunas ocasiones es necesario realizar estudios geofísicos (no invasivos) para caracterizar el terreno en profundidad. Hay distintos métodos de investigación geofísica, de tipo gravimétrico, eléctrico, magnético, electro-magnético, sísmico, etc. Aunque los más utilizados en hidrogeología son los métodos eléctricos y electro-magnéticos.

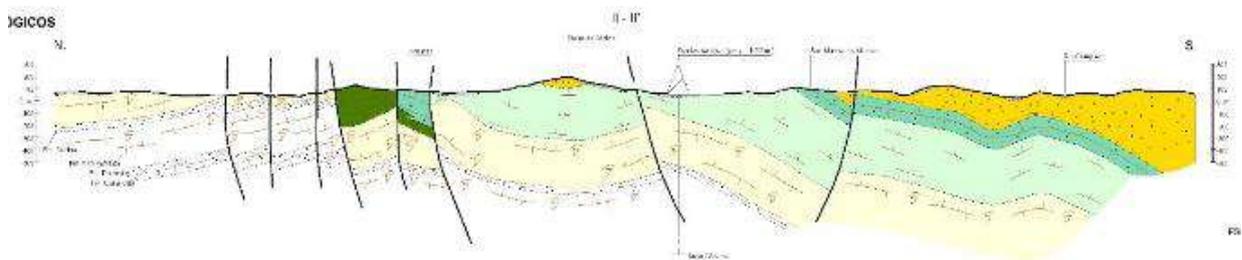


Figura 8. Corte geológico

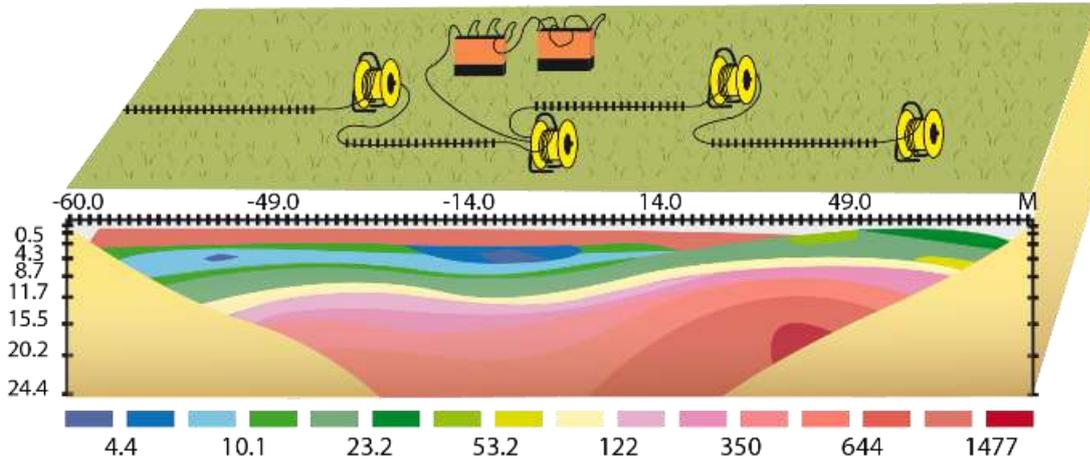


Figura 9. Esquema de prospección geofísica por método eléctrico

Ejecución de sondeo de investigación:

una vez determinada la zona más apropiada para realizar un sondeo, ya sea por la disponibilidad de agua, características hidrogeológicas apropiadas, buena calidad del agua, etc., teniendo una idea de la localización en profundidad de la capa acuífera más adecuada, se suele realizar un sondeo de investigación. Es decir, se ejecuta perforación de diámetro reducido que permita conocer la litología atravesada, la presencia o no de agua y la permeabilidad del acuífero (facilidad para transmitir agua), de forma que pueda evaluarse si es o no interesante realizar un sondeo definitivo.

Previo a la ejecución del sondeo, hay que realizar una serie de trámites administrativos, tales como la solicitud del permiso a Confederación (órgano de cuenca), a Minas y al Ayuntamiento, para los que hay que redactar un proyecto de ejecución, donde se incluyan las características de la obra a

realizar, un estudio de afección a terceros, para demostrar que no habrá afecciones, así como un permiso de obras municipal.

Ejecución de captación:

Si el sondeo de investigación ha resultado positivo, aportando agua en cantidad y calidad requerida, se debe proceder a solicitar los permisos para construcción de la captación (Consejería, Minas), aprovechamiento de aguas (organismo de Cuenca) y la licencia de obras si es en entorno urbano al Ayuntamiento.

Aprobados los permisos se podría ejecutar la captación, con las características definidas previamente por un hidrogeólogo (profundidad, diámetro, método de perforación, entubación, etc.).

Tras realizar la perforación, se introduce en el sondeo una tubería de revestimiento (normalmente de acero, aunque también puede ser de PVC) con las características definidas en función del

diámetro del pozo, profundidad, agresividad del agua, etc. Dicha tubería debe estar ranurada en los tramos en los cuales se prevea habrá aporte por parte del acuífero.

Entre la tubería de revestimiento y la perforación, se introduce un empaque de gravas.

Una vez realizada la entubación, se realiza un ensayo de bombeo, es decir, se introduce una bomba sumergible en el interior del pozo y se realiza una prueba para determinar el caudal óptimo de bombeo y así poder dimensionar el equipamiento requerido por el pozo.



Figura 11. Ensayo de bombeo.



Figura 10. Emplazamiento de máquina de perforación por el sistema de rotoperusión

[Inspección videográfica y geofísica del interior de un sondeo](#)

El objetivo de la inspección videográfica es la obtención de las características constructivas de los sondeos, su estado de conservación, tipo de entubación y diámetro, posición de los tramos filtrantes, grado de colmatación, incrustación y corrosión, roturas y por último profundidad total, así como cualquier otra información o deficiencia que pudiera ser relevante para su funcionamiento.

La Unidad de Reconocimiento de Sondeos de AQUATEC dispone de varias sondas mediante las cuales se obtienen diferentes parámetros para completar el reconocimiento integral del pozo.



Figura 12. Equipo de inspección videográfica y testificación de sondeos.

La sonda más empleada es la Sonda de TV, que está equipada de un equipo de filmación de video formado por una cámara sumergible marca Aries Industries, modelo BT-9700, con objetivo axial y lateral rotatorio, sistema de iluminación, zoom óptico, capaz de soportar presiones equivalentes a 1.500 m de columna de agua.

El resto de sondas geofísicas que completan el equipo de reconocimiento de sondeos son las siguientes:

- Sonda caliper: registro de diámetro.
- Sonda verticalidad: desviación de la perforación respecto a la vertical.
- Sonda calidad: conductividad eléctrica y temperatura del agua.

- Sonda eléctrica: resistividad eléctrica y gamma natural de la columna litológica que atraviesa la perforación.
- Sonda flowmeter: flujo vertical e identificación de zona de aportes de agua que existen.
- Sonda toma muestras: la obtención de una muestra de agua a una profundidad concreta.

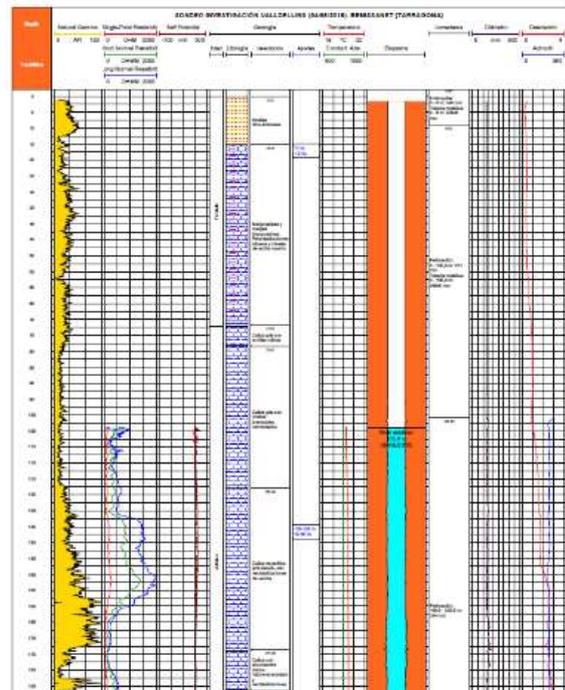
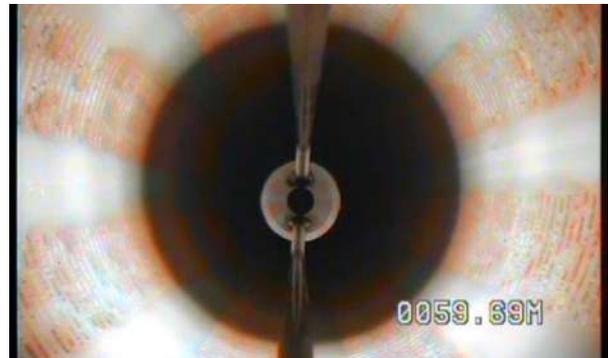


Figura 13. Vista del interior de un sondeo y registro de datos en profundidad.

Las sondas se introducen por la boca del sondeo, por lo que éste debe estar accesible para un vehículo tipo furgón, y libre del equipo de bombeo (bomba sumergible y tubería de impulsión desinstalados).

Para una óptima visión del interior del pozo, el equipo de bombeo (electrobomba sumergible y tubería de impulsión) debe estar desinstalado, al menos, 24 horas antes de la inspección. Este tiempo suele ser suficiente para que decanten las partículas existentes en el agua y se obtenga una buena calidad de imagen.

El proyecto de investigación coordinado OPAL sobre “Origen e incorporación de solutos antropogénicos a lagunas costeras: agua subterránea, sedimentos y eventos puntuales (Origin and Pathways of Anthropogenic solutes into coastal Lagoons: groundwater, sediments and episodic events)” (PID2019-110311RB-C21 y C22)

Marisol Manzano Arellano (UPCT)

Los nutrientes derivados de las actividades agrícolas y las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales se consideran los principales motores de la eutrofización en las lagunas costeras mediterráneas. Sin embargo, existe un hueco de conocimiento importante sobre las vías que suministran nutrientes originados a partir de actividades antropogénicas a lagunas costeras, particularmente en zonas áridas y semiáridas caracterizadas por la presencia limitada o incluso la ausencia de ríos y arroyos permanentes.

El proyecto se centra en la hipótesis de que con entradas superficiales limitados o en su ausencia, la descarga de aguas subterráneas (SGD) y la recirculación del agua de la laguna a través de sedimentos (PEX) representan las principales vías que introducen solutos en la columna de agua de las lagunas, y así se convierten en los principales mecanismos que controlan el funcionamiento y la vulnerabilidad de estos ecosistemas costeros. Además de estas vías permanentes, se lanza la hipótesis de que los eventos esporádicos e intensos, como eventos de flujo rápido o vientos fuertes, pueden forzar transferencias puntuales de entradas de origen antropogénico a la columna de agua, cuyas consecuencias se extienden mucho más allá de la duración de estos episodios.

Las lagunas costeras son hábitats de alta productividad biológica, que sustentan ecosistemas ricos y abundantes y proporcionan bienes y servicios a las comunidades costeras. Sin embargo, el aumento del estrés antrópico sobre los recursos de la laguna ha impactado negativamente estos ecosistemas. Las consecuencias bien conocidas de las presiones antropogénicas sobre las lagunas costeras incluyen el aumento de los aportes de nutrientes y contaminantes, que se originan principalmente en las aguas residuales domésticas o industriales no tratadas y/o en el uso de fertilizantes para la agricultura en las cuencas hidrográficas circundantes. Sin embargo, los mecanismos que transportan los solutos derivados de las actividades antropogénicas a las aguas de la laguna no se comprenden o no se han estudiado detalladamente.

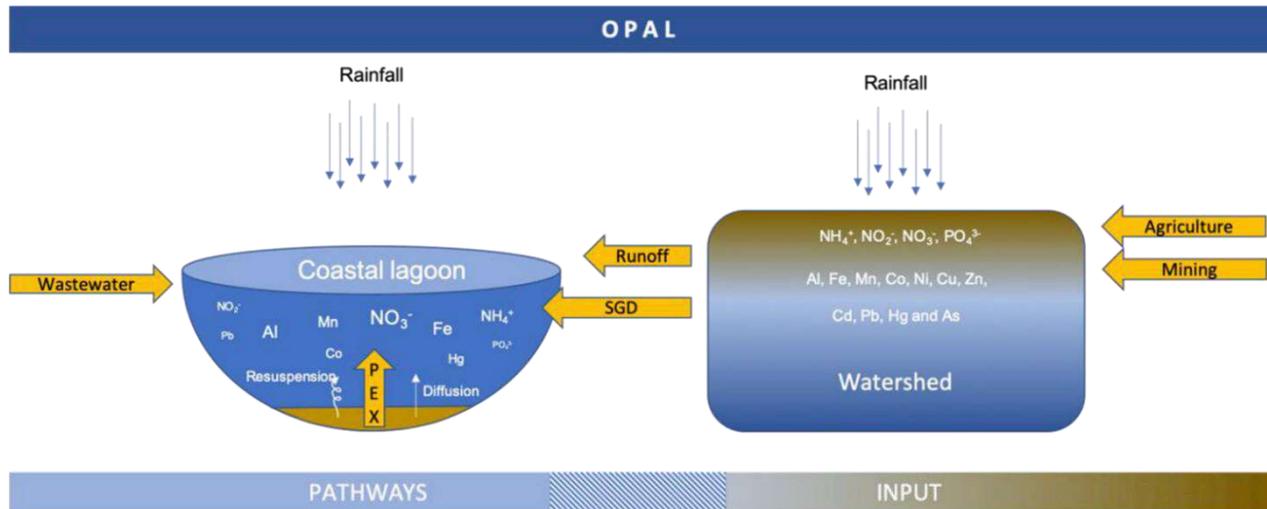


Figura 14. Esquema del proyecto OPAL financiado Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad.

El proyecto se desarrolla en el Mar Menor y su cuenca vertiente y presta especial atención a la comprensión del origen de los solutos (agrícolas, urbanísticos, turísticos y mineros), el papel de las principales vías (aguas subterráneas, sedimentos, arroyos y atmósfera) que transfieren estos compuestos a las aguas de las lagunas costeras y su respuesta durante episodios puntuales. OPAL propone un enfoque multidisciplinar que combina la aplicación de trazadores radiactivos y estables, modelización, evaluaciones microbiológicas y métodos geofísicos. El proyecto está organizado en dos subproyectos:

1) PATHWAYS (coordinado por la Universidad Autónoma de Barcelona) cuyos objetivos generales consisten en evaluar la importancia de las principales vías que suministran nutrientes, metales y contaminantes a la laguna costera y sus respectivos impactos en los ciclos biogeoquímicos. Esta investigación prestará especial atención a las entradas de solutos

impulsados por la descarga de flujo base de aguas subterráneas submarinas (SGD), el intercambio de agua de poro (PEX) y los eventos episódicos intensos. Además, en este proyecto se evaluará el uso potencial de comunidades microbianas como trazadores de influencia de las aguas subterráneas en las aguas de las lagunas. Se investigarán nuevas metodologías analíticas de laboratorio e in situ de trazas metálicas en lagunas contaminadas. Las tareas más relevantes se resumen en: Cuantificar la magnitud de los flujos de nutrientes, metálicos y contaminantes impulsados por SGD y PEX y su relevancia para los ciclos biogeoquímicos lagunares. Evaluar el papel de las tormentas y eventos episódicos en el aporte de nutrientes, metales y contaminantes. Caracterizar la calidad y las propiedades de los cuerpos de agua en términos de sus comunidades microbianas para identificar posibles trazadores de origen y/o calidad de las aguas subterráneas. Evaluar la evolución histórica de la concentración de metales, nutrientes, contaminantes y comunidades procariotas en lagunas costeras y posibles vínculos con cambios históricos en los

impactos humanos y climáticos. Mejorar e implementar metodologías para el análisis de trazas de metales en aguas lagunas costeras.

2) INPUT (coordinado por la Universidad Politécnica de Cartagena) enfocado a la identificación de fuentes de solutos en el acuífero costero, sus mecanismos de transporte de agua y a las transformaciones biogeoquímicas que ocurren en el acuífero. Los objetivos generales son: analizar el papel de los eventos episódicos de lluvia extrema en la entrega de nutrientes y otros contaminantes antropogénicos en acuíferos poco profundos y sus lagunas costeras conectadas en áreas semiáridas, comparando estas situaciones con las condiciones regulares de flujo base. Este objetivo principal se abordará con técnicas independientes: trazadores químicos e isotópicos y modelado numérico del flujo de aguas subterráneas y superficiales y del transporte de nitratos. Además, se investigarán las reacciones biogeoquímicas que se producen en el acuífero para desentrañar la posible existencia, condiciones y localización de los procesos de atenuación natural.

Sus tareas más relevantes consisten en: Identificar el origen de los principales nutrientes, metales trazas y contaminantes presentes en el acuífero costero y la contribución relativa de cada fuente en condiciones regulares y eventos de lluvia extraordinarios. Caracterizar y medir los nutrientes, flujos de metales y sedimentos a las aguas subterráneas y a las lagunas costeras por escorrentía superficial durante eventos de flujo rápido. Comprender los principales

mecanismos hidrobiogeoquímicos que modifican las firmas químicas e isotópicas de las fuentes de agua en los acuíferos costeros. Generar un modelo conceptual sólido sobre el comportamiento de la cuenca hidrográfica incluyendo la relación entre los acuíferos costeros y las lagunas costeras en condiciones regulares y episódicas.

La relevancia y novedad de la investigación del proyecto OPAL se caracteriza por la actualidad de sus objetivos y su enfoque innovador, principalmente por seis razones: enfoque multi-herramienta y multidisciplinar; diferenciación de los flujos de soluto impulsados por SGD y PEX; estudio de eventos esporádicos e intensos; evaluación de las comunidades microbianas como potenciales trazadores de influencia de las aguas subterráneas en las aguas lagunares; mejora de metodologías analíticas para el análisis de trazas de metales en aguas lagunas costeras; ciencia que apoya la gestión de los recursos naturales de un hábitat prioritario europeo y mejora e implementación of metodologías para el análisis de metales traza en agua en lagunas costeras.

El proyecto OPAL supone un primer acercamiento a la comprensión global de los procesos y factores que controlan las condiciones ecológicas de lagunas costeras vinculadas acuíferos de áreas con gran diversidad de actividades económicas que compiten por los recursos hídricos. La gestión de estos ecosistemas costeros requiere tomar medidas basadas en un conocimiento integrado, el cual solo se consigue generando redes de observación adecuadas y analizando series de datos temporales a medio y largo plazo.

Utilidades de conocer la composición química del agua subterránea

Marisol Manzano Arellano (UPCT)

Conocer la composición química que tiene el agua subterránea de un acuífero tiene tres utilidades principales:

- La primera y más inmediata, es conocer si la calidad de dicha agua es adecuada para su potencial utilización en usos concretos. La calidad del agua para muchos usos, por ejemplo, el uso humano, está regulada por normas de referencia. Por tanto, para conocer si la calidad del agua de un acuífero es adecuada o no para un uso concreto, es necesario compararla su composición química (y microbiológica, en el caso del uso humano) con los valores de referencia establecidos en la norma correspondiente.
- Una segunda utilidad es conocer si la calidad del agua del acuífero cumple las condiciones establecidas por la legislación medioambiental vigente, con independencia de los usos que se le puedan dar al agua. En España, y en el resto de la Unión Europea (UE), la legislación vigente relativa a la calidad ambiental del agua subterránea está regida por la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE; https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=D_OUE-L-2000-82524) y la Directiva para la Protección de las Aguas Subterráneas (2006/118/CE; <https://www.boe.es/doue/2006/372/L00019-00031.pdf>) de Europa. Esta legislación

obliga a los Estados de la UE a conocer la situación actual de la calidad del agua subterránea en cada país y a velar por el buen estado global de la calidad de los cuerpos de agua subterránea.

- Para determinar si la calidad del agua de un acuífero es buena o no en este contexto, también hay que comparar la composición química del agua con los valores de referencia establecidos (en listas) para una gran cantidad de solutos y sustancias susceptibles de deteriorar dicha calidad.
- La tercera utilidad de conocer la composición química de un agua subterránea es entender el origen de la composición de esa agua y los procesos - naturales y antrópicos- que la controlan. Conocer esto tiene muchas utilidades, entre ellas saber cómo funciona el acuífero en cuestión y mejorar la fiabilidad de las predicciones que podemos realizar acerca de, por ejemplo, los posibles cambios en la calidad / cantidad del agua que se producirán, y la velocidad a la cuál ocurrirán esos cambios, si se llevan a cabo determinadas actividades de gestión del acuífero o el territorio, o tienen lugar ciertos cambios en procesos naturales tales como el clima.

El origen principal del agua subterránea es la infiltración de la lluvia. Una vez que el agua de lluvia se filtra bajo la superficie del terreno, el agua comienza a interactuar con los gases, minerales y materia orgánica del terreno, disolviendo parte de ellos, precipitando algunos minerales a veces, intercambiando

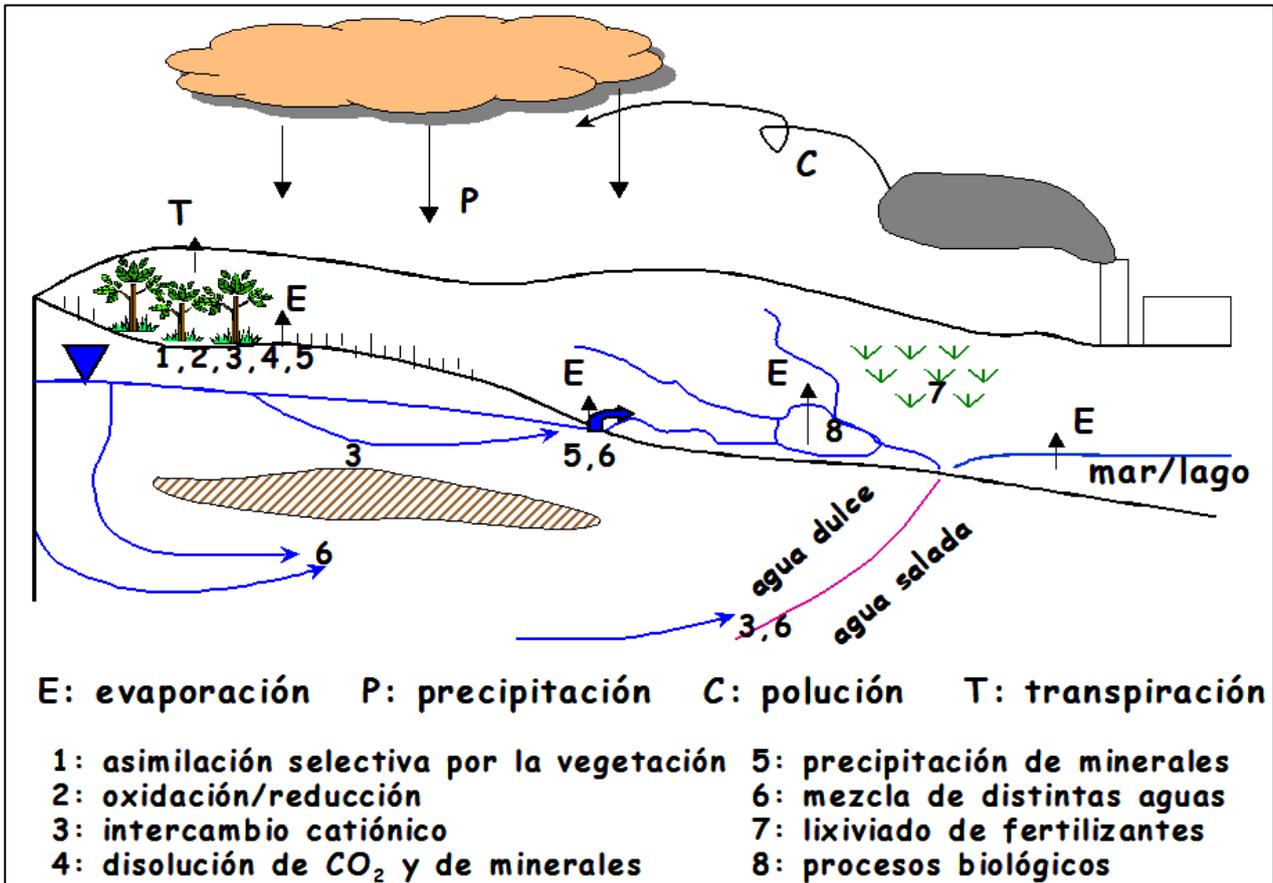


Figura 15. Procesos físicos y químicos responsables de la composición del agua subterránea.

algunos elementos químicos con esos sólidos a veces. La Figura 17 muestra una síntesis de los procesos físicos y químicos responsables de la composición del agua subterránea. Estos procesos hacen que el agua subterránea vaya modificando su composición química respecto a lluvia que la generó, y empiece a reflejar la composición de los minerales del terreno por el que circula. Además, si en la zona donde se produce la recarga al acuífero se realizan actividades antrópicas que modifican la composición natural de la lluvia, o generan residuos líquidos (que se infiltran en el terreno) o sólidos (que la lluvia disuelve e incorpora al subsuelo al infiltrarse),

probablemente esos residuos también aportarán solutos al agua subterránea de la zona.

Por tanto, la composición química de una muestra de agua subterránea tomada en un pozo/sondeo/manantial concreto de un acuífero y en un momento concreto, refleja la historia de los procesos físicos y químicos que han tenido lugar desde que la lluvia se infiltró y se convirtió en agua subterránea, hasta que, circulando por el acuífero, esa agua ha llegado al pozo/sondeo/manantial en el que la hemos extraído y en el momento en que lo hemos hecho.

Es decir, la composición química del agua subterránea informa sobre la historia del agua desde que se infiltró en el terreno. Saber interpretar dicha composición a partir de un número de muestras tomadas en distintos pozos/sondeos/manantiales de un acuífero y en distintos momentos, permite conocer información muy valiosa para la gestión del mismo, como, por ejemplo:

- dónde y cuánto se recarga ese acuífero,
- por dónde (en qué materiales) y hacia dónde (porqué rocas y sedimentos) ha circulado el agua,
- cuál es la magnitud del flujo de agua y del transporte de solutos (sustancias disueltas),
- cuáles son los procesos físicos e hidrogeoquímicos naturales y antrópicos que proporcionan al agua de ese acuífero su composición,
- cuáles son las causas más probables de los cambios espaciales y/o temporales de composición observados,
- cuáles son las causas responsables del deterioro de la calidad, si es el caso,
- cuáles son los cambios previsibles en la composición (y la calidad) del agua subterránea si se producen cambios en la cantidad y/o la calidad de la recarga, o bien se producen cambios en la red de flujo del acuífero como consecuencia de la influencia humana,
- otros.

“Proyecto de ejecución para implantación de tecnologías de agricultura de precisión y control del acuífero en la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena”

Miguel Angel del Amor Saavedra (CARM)
Félix Román Pérez Rubio (WIDHOC)

Desde la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Región de Murcia se promueve la ejecución del proyecto con el objetivo principal de incorporar en los sistemas informáticos de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC) un sistema de gestión que favorecerá un uso más eficaz y eficiente del agua y fertilizantes, acompañado de una optimización de energía asociada al uso del agua en el Campo de Cartagena, permitiendo así mejorar la sostenibilidad ambiental de los regadíos de esta zona y disminuir las presiones sobre la laguna, promoviendo a la vez un sistema de control y alertas de seguimiento en la afección del acuífero.

Para ello, se han instalado unas 500 sondas electrónicas compuestas con capacidad de medida de:

- Humedad en distintos perfiles de suelo, desarrollando un modelo tridimensional de movimiento de agua en el suelo.
-
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, similar a la salinidad del mismo.
- Temperatura y humedad relativa ambiente y suelo.

Todo el sistema se conecta a una estación registradora con comunicaciones en la nube, con baterías y panel solar que recopila la información y la envía al servidor central de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena.

Los datos recibidos de la red de sondas serán gestionados a través de diversos convenios de colaboración entre la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), la UPCT, Cebas, IGME, SIAM y científicos para su análisis y extrapolación a todos los comuneros a través de la plataforma web de consulta de la CRCC.

Los datos individuales de las parcelas serán sólo visibles por los usuarios de las mismas y de manera global por la Consejería.

Una vez analizados los datos, se extrapolarán al resto de comuneros en función del cultivo y tipo de suelo mediante recomendaciones para aplicación directa en la propia página web de

la Comunidad, a través de su usuario registrado por la CRCC.

Adicionalmente se instalarán pluviómetros distribuidos por toda la zona regable que servirán de apoyo al sistema de estaciones meteorológicas de la CARM-SIAM para mejorar las recomendaciones de riego y además se estudiará la profundidad de alcance del riego para analizar si éste afecta al acuífero a través de una red de piezómetros que se instalarán en 25 puntos del acuífero a lo largo de toda la zona regable, pudiendo con ello modelizar tridimensionalmente el porcentaje de humedad en los distintos perfiles del suelo y su transmisión al acuífero. Para esta última fase, los piezómetros que miden la altura del agua del acuífero, serán conectados a la red de la Confederación Hidrográfica del Segura y monitorizados a demás por el Instituto Geológico Minero de España (IGME). Creando una de las mayores redes de control de lixiviado existente en la actualidad.



Figura 16. Muestra de sistema de control de la humedad en el suelo

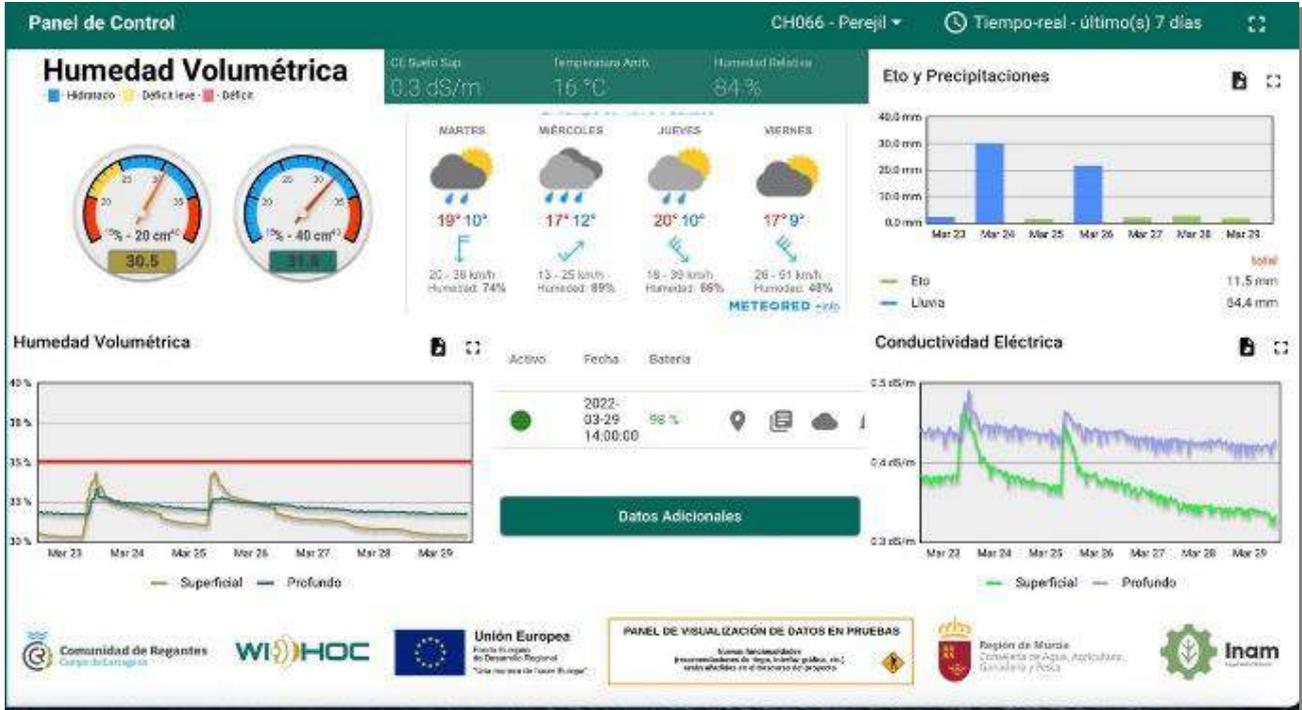


Figura 17. Ejemplo de plataforma de registro de datos de una sonda de humedad.

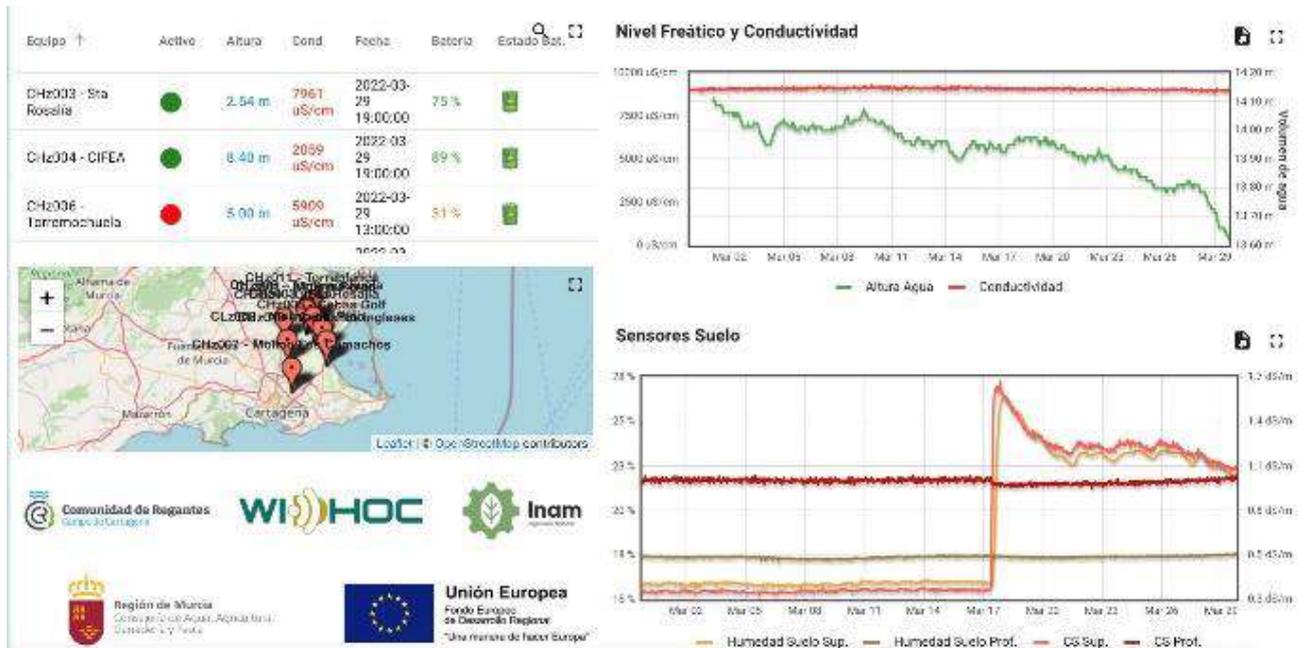


Figura 18. Ejemplo de registro reciente de datos en el Campo de Cartagena

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA MURCIA

Está previsto que la organización proporcione un pequeño almuerzo de media mañana en la parada nº 2. No existen especiales dificultades de acceso a ninguno de los puntos visitados, no obstante, se aconseja el uso de indumentaria de campo apropiada (calzado, ropa, crema solar, agua, etc.).

La organización no dispone de 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.

Menores de edad:

Los menores de edad (la actividad no se recomienda para menores de 5 años) deberán asistir acompañados por un padre, madre o tutor, que será responsable de los mismos y de sus actos. La organización no se hace cargo de desperfectos, pérdidas, robos que pudiesen ocurrir.

LOS COORDINADORES Y COLABORADORES DEL HIDROGEODÍA MURCIA 2022

- **José Luis García Aróstegui.** Hidrogeólogo. Científico Titular del IGME-CSIC (j.arostegui@igme.es), y Profesor Asociado de la Universidad de Murcia (j.arostegui@um.es). Responsable del proyecto europeo AQUIFER. *Coordinador HIDROGEODIA 2022.*
- **Alberto Barrera García.** Hidrogeólogo. AQUATEC-AGBAR (abarrera@aquatec.es). *Coordinador HIDROGEODIA 2022*
- **Marisol Manzano Arellano.** Hidrogeóloga. Profesora Titular de Universidad Politécnica de Cartagena. (Marisol.Manzano@upct.es). Responsable del proyecto INPUT (OPAL). *Coordinadora HIDROGEODIA 2022.*
- **Nicolás Tapia Morales.** Hidrogeólogo. AQUATEC-AGBAR (nicolas.tapia@aquatec.es).
- **Antonio Jesús Ramírez Bermúdez.** Hidrogeólogo. AQUATEC-AGBAR. (antoniojesus.ramirez@aquatec.es)
- **Miguel Angel Del Amor Saavedra.** Dirección General del Agua (CARM) (miguel.delamor@gmail.com)
- **Félix Román Pérez Rubio.** (WIDHOC) (felix@widhoc.com).



1. REGIÓN DE MURCIA

Sábado 2 de abril



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

PARA SABER MÁS

Asociación Internacional de Hidrogeólogos.
Grupo Español: www.aih-ge.org

Instituto Geológico y Minero de España.
Oficina de Murcia: www.igme.es

AGRADECIMIENTOS

INICIATIVA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

ANOTACIONES:

Blank lined area for notes.

HIDROGEODÍA
2022 SEGOVIA

ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROGEOLOGOS
GRUPO ESPAÑOL



SÁBADO, 26 DE MARZO DE 2022
DE 9:45 A 14 H

¿De dónde venía el agua del Acueducto?

Las raíces hidrogeológicas del Acueducto de Segovia

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA
PLAZAS LIMITADAS

IMPRESINDIBLE RESERVA:
reservas@segoviaeducaenverde.com

INFORMACIÓN DETALLADA DEL HIDROGEODÍA
<http://www.geologiadesegovia.info/hidrogeodia-segovia-2022/>
<http://www.aih-ge.org/index.php/hidrogeodia-2022>



ORGANIZAN



geología de Segovia

COLABORAN



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



INSTITUTO
NACIONAL DE
ECONOMÍA Y
DEMOGRAFÍA



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



INSTITUTO GEOLÓGICO
Y MINERO DE ESPAÑA



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

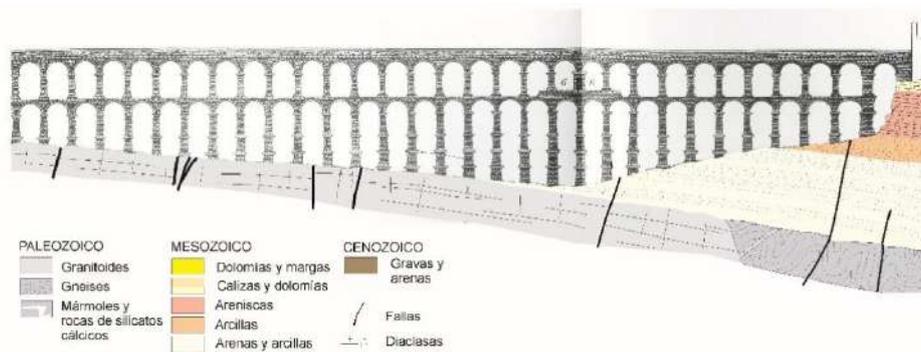
22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de las sociedades y además, en el caso de la ciudad de Segovia, una parte imborrable de su razón de ser, su historia, sus oficios, tradiciones culturales y hasta creencias religiosas. No conviene olvidar que la obra humana que es el emblema de Segovia (forma parte de su escudo), por la que es reconocida mundialmente y hasta por lo que ha sido nombrada Patrimonio Mundial por la UNESCO, es precisamente un Acueducto; y no cualquier acueducto, sino uno de los más bellos y mejor conservados del antiguo Imperio Romano.



Aunque la ciudad antigua amurallada de Segovia está circundada por dos corrientes fluviales (río Eresma y arroyo Clamores), la diferencia de cota entre los cauces y la población ha hecho inviable históricamente la elevación del agua de consumo. Tampoco la constitución geológica del subsuelo de la ciudad ha permitido el aprovechamiento del exiguo acuífero kárstico sobre el que se ubica, cuyo nivel freático se encuentra a unos 30 m de profundidad. Por ello, ya desde la Edad Antigua, para abastecer de agua a la ciudad hubo que recurrir a la derivación del agua procedente de los manantiales y arroyos de la cercana sierra de Guadarrama, mediante caceras, canales y el propio Acueducto.

Además, la patrona de la Comunidad de Ciudad y Tierra de Segovia (que abarcaba numerosas localidades de las actuales provincias de Segovia, Madrid y Toledo; del Duero al Tajo), la Virgen de la Fuencisla, tiene en la etimología de su nombre el manantial o fuente que se ubica en el escarpe rocoso tras el santuario (Peñas Grajeras), y que es un magnífico ejemplo de surgencia de un acuífero kárstico. Sin olvidar oficios tradicionales vinculados al transporte y gestión del agua hacia la ciudad por las caceras y acequias (pastores del agua, aguadores), con ordenanzas conservadas desde el siglo XV; las tradiciones de trabajos comunales de limpieza y cuidado de las caceras de agua (hacenderas); y la infinidad de leyendas (el Diablo y la chica segoviana), cuentos y paremias (dichos, coplas, refranes...) vinculados al agua en Segovia y su entorno.

Por todo ello, el objetivo de esta edición del **Hidrogeodía 2022 - Segovia** es realizar **un viaje en busca del origen del agua que transportaba el Acueducto de Segovia**, para demostrar que en realidad los arroyos y caceras que derivaban sus aguas hacia la ciudad mediante tomas y azudes, se nutren de fuentes y manantiales que drenan los acuíferos fisurados o fisurales en rocas duras de las laderas y piedemonte de la Sierra (gneises y granitoides); o bien de los acuíferos detríticos superficiales constituidos en los canchales y pedreras del Guadarrama.

EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) con la colaboración de Organismos Públicos de Investigación y Universidades, y consta de **actividades de divulgación, abiertas al público en general, gratuitas** y guías por hidrogeólogos/as. En 2022, bajo el lema “*Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible*”, se celebrará el sábado 26 de marzo en 20 provincias españolas.

El **Hidrogeodía Segovia 2022** está organizado por la asociación Geología de Segovia y el programa de educación ambiental municipal Segovia Educa en Verde, del Ayuntamiento de Segovia. Con el título “**Las raíces hidrogeológicas del Acueducto de Segovia**” y el lema “**¿De dónde venía el agua del Acueducto de Segovia?**”, consistirá en un recorrido circular, a pie, entre la localidad de Revenga y el azud del Acueducto y la fuente Fría (Chamorrilla o Chaborrilla), en el valle del arroyo de la Acebeda.

ITINERARIO



Figura 1. Mapa topográfico (Iberpix IGN) del recorrido del Hidrogeodía Segovia 2022.

El recorrido es de unos **10 km** (ida y vuelta), con desnivel altitudinal de unos 150 m. Se va a dimensionar para un máximo total de **75 participantes**, divididos en 5 grupos de 14 personas acompañadas por uno o varios guías-intérpretes.



Figura 2. Perfil del recorrido del Hidrogeodía Segovia 2022.

El punto de encuentro será el aparcamiento de vehículos frente al bar Montalvo, en Carretera de San Rafael, 54, 40195 Revenga (Segovia); a las 9.45 h.

1. ¿POR QUÉ SE CONSTRUYÓ UN ACUEDUCTO EN SEGOVIA?

Aunque se han barajado otras posibles hipótesis que vinculan la construcción del Acueducto con una demostración de poderío e incluso motivaciones políticas, está claro que existía una necesidad de **abastecer de agua potable a la población** ubicada en el cerro del actual recinto amurallado de la ciudad.



Figura 3. Tramo superior de la doble arquería del Acueducto de Segovia desde el lateral del canal en la plaza de Día Sanz, con el recinto amurallado de la ciudad al fondo. Foto: Andrés Díez Herrero.

Para ese abastecimiento, no podían tomar el agua de las dos corrientes fluviales que circundan Segovia, los actuales río Eresma y arroyo Clamores, pues sus **cauces se sitúan**

a cotas topográficamente muy bajas respecto al núcleo de población, tras el encajamiento de sus valles durante el Cuaternario, formando cañones.

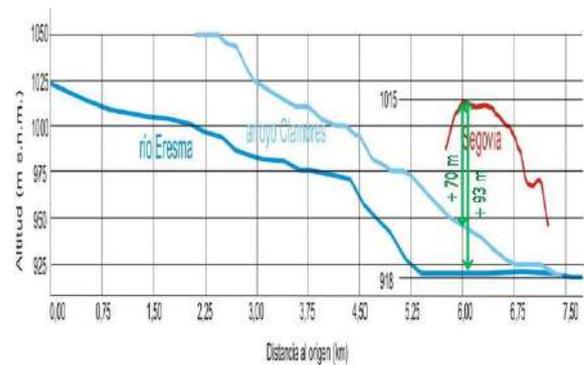


Figura 4. Perfiles topográficos longitudinales de los cauces del río Eresma (azul oscuro) y el arroyo Clamores (azul claro) desde aguas arriba de Segovia a su paso por las inmediaciones de la ciudad; y perfil topográfico de la culminación del cerro desde el Azoguejo a San Marcos (línea roja); donde se puede apreciar la diferencia de cotas entre ellos en la ciudad (segmentos verdes).

Tampoco captarla de las aguas subterráneas mediante pozos o manantiales, debido a la **constitución geológica de Segovia**, situada a caballo entre los tres principales conjuntos geológicos de la península Ibérica: el Macizo Ibérico; la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica; y la Cuenca Cenozoica del Duero.

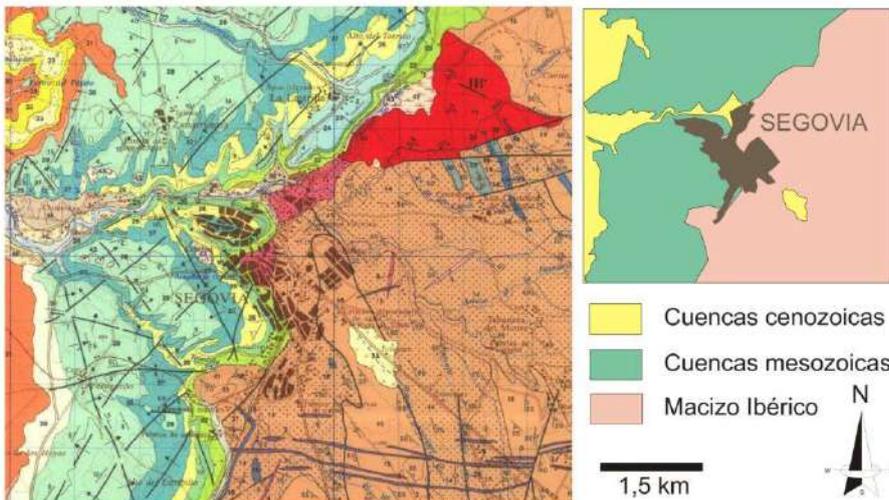


Figura 5. Extracto del mapa geológico a escala 1:50.000 (MAGNA; ITGE, 1991) de Segovia (ver leyenda en Arenas et al., 1991), con la ciudad de Segovia en posición central, a caballo entre diferentes conjuntos geológicos; y esquema de la disposición de las tres principales unidades geológicas representadas en el entorno de la ciudad.

Esta diversidad de materiales geológicos otorga al subsuelo diferentes propiedades y características para albergar agua subterránea (o no). Así, en Segovia existen **acuíferos de diferentes tipos, pero escasos, con pequeña extensión de superficie de recarga y niveles freáticos muy por debajo de la altura de la ciudad.**

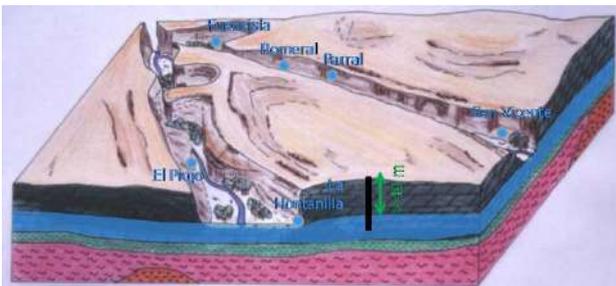


Figura 6. Bloque diagrama geológico simplificado de la ciudad de Segovia y su entorno (completado de Vegas, 1998), con representación de la hipotética situación de la superficie freática del acuífero kárstico bajo la ciudad (banda azul) y los manantiales que lo drenan en ambos valles (puntos azules), situados en torno a 35-40 m por debajo de la superficie culminante del cerro, lo que hace inviable su aprovechamiento mediante pozos y captaciones.

Para saber más:



2. ¿DE DÓNDE VENÍA EL AGUA DEL ACUEDUCTO?

Descartada la captación de agua de los ríos Eresma y Clamores y de las aguas subterráneas bajo Segovia, fue necesario recurrir a las aguas superficiales de las **cuenas fluviales** situadas en cotas topográficas superiores a la ciudad, para aprovechar la caída por gravedad y así evitar el costoso bombeo o elevación artificial del agua.

De las cuenas fluviales que se encuentran en la vertiente septentrional de la sierra de Guadarrama, y según exigían las características de las captaciones y acueductos romanos, sólo el arroyo de **La Acebeda** (Alto Frío) y el **Alto Eresma** (Valsain) serían capaces de suministrar caudales suficientes y a cotas viables para el abastecimiento, fluyendo hasta Segovia sin encontrar obstáculos topográficos ni geomorfológicos reseñables.

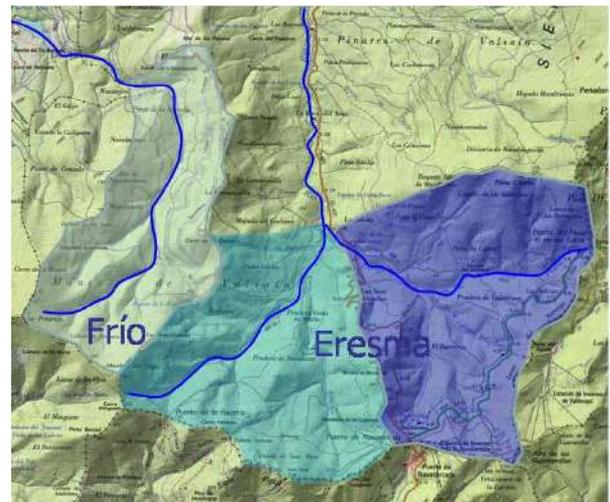


Figura 7. Mapa topográfico (base Iberpix, IGN) con las dos principales cuenas hidrográficas de la vertiente septentrional del sector central de la Sierra de Guadarrama por encima de la cota 1400 m s.n.m.: el alto Frío o arroyo de la Acebeda; y el alto Eresma o río Valsain.

En la cuenca hidrográfica del Alto Eresma, predominan litologías de **granitoides**: monzogranitos, leucogranitos y granodioritas. En estas rocas, el agua de precipitación apenas se infiltra y circula de forma superficial rápidamente sobre lanchas y losas, por lo que los arroyos tienen un marcado **estiaje**, aún más en la época romana, cuando el clima era más cálido y seco que en la actualidad.

Tan solo una pequeña cantidad de agua se infiltra por las grietas de la roca (diaclasas y fallas) y se acumula en **acuíferos fisurados, fisurales o de ‘rocas duras’**.

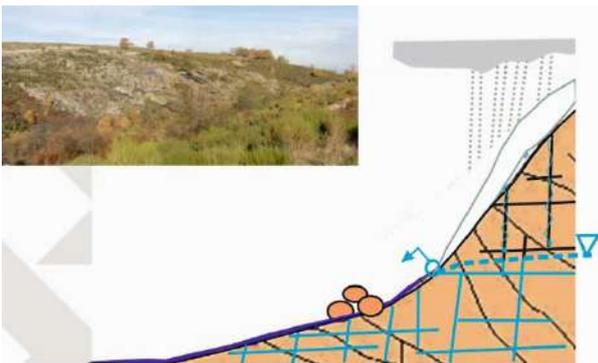


Figura 8. Fotografía y corte geológico idealizado del funcionamiento hidrogeológico de la cabecera del Alto Eresma, con los acuíferos fisurales, fisurados o de rocas duras.

También el agua de la lluvia o la fusión de nieve puede saturar las arenas y limos en los pequeños mantos de meteorización de los granitoides (en navas, vaguadas de arroyos, y monteras de cerros y el piedemonte, constituyendo **acuíferos detríticos superficiales**, que drenan lentamente hasta que se agotan sus exiguas reservas hídricas a inicios del verano.

En la cuenca del arroyo de La Acebeda (o tramo alto del río Frío) predominan **leucogneises y ortogneises glandulares**, cuyas laderas y vertientes muchas veces están cubiertas por **canchales o pedreras**, producto de su disgregación por procesos periglaciares (gelifracción o crioclastia y posterior desprendimiento).

El agua de lluvia o de la fusión de la nieve se infiltra en estos canchales y pasa a formar **acuíferos detríticos** que se recargan en invierno y van drenando por fuentes y manantiales, manteniendo caudales constantes en arroyos y el propio río.

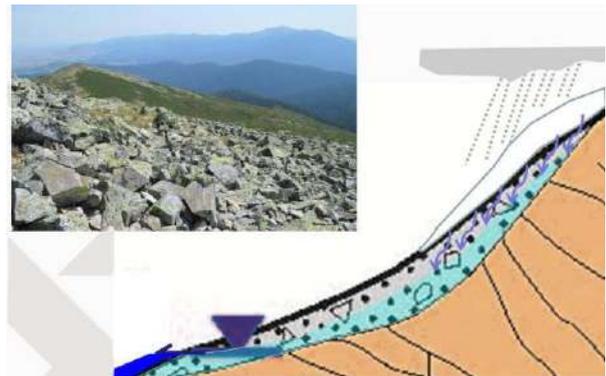


Figura 9. Fotografía y corte geológico idealizado del funcionamiento hidrogeológico de la cabecera del río Frío.

Estas dos diferentes respuestas hidrológicas, junto con la longitud y complejidad del trazado y movilidad del cauce en la captación, pudieron ser las causas de la elección del **arroyo de La Acebeda** para la captación del Acueducto.

Para saber más:



3. BAJO LOS PRIMEROS KILÓMETROS DEL ACUEDUCTO

El trazado del Acueducto desde la captación en el arroyo de la Acebeda (alto río Frío), siguiendo la conducción decimonónica hasta Segovia, atraviesa diferentes tipos de sustratos geológicos.

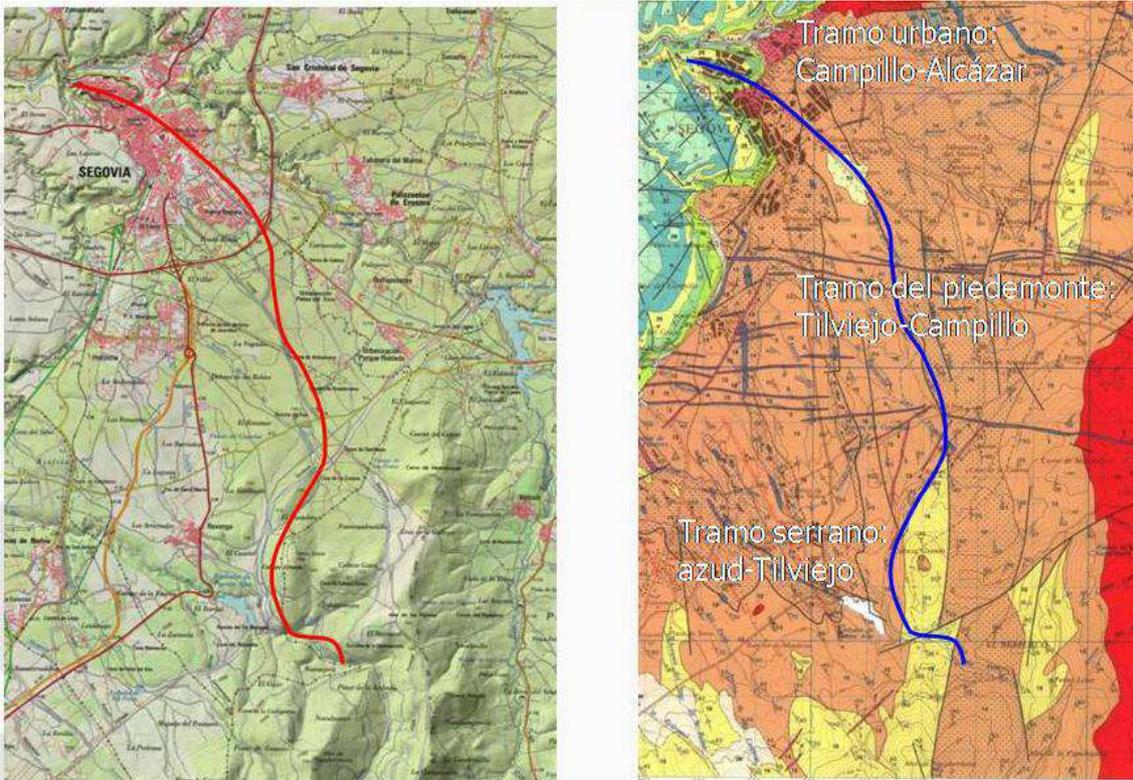


Figura 10. Izquierda: mapa topográfico del sector suroriental de la ciudad de Segovia (Iberpix, IGN), con el trazado del Acueducto simplificado, del azud al Alcázar (línea roja). Derecha: mapa geológico del mismo ámbito (MAGNA; Arenas et al., 1991), con el trazado del Acueducto y los tres tramos diferenciados por su diferente geología y geomorfología (ver explicación en el texto). Fuente: Díez-Herrero (2017).

En el **tramo serrano**, desde la captación en el arroyo de La Acebeda al ‘molino’ de Tilviejo’ o molino de Los Hoyos, que comprende el recorrido íntegro del Hidrogeodía Segovia 2022, el sustrato está formado mayoritariamente por **rocas metamórficas ortoderivadas**, de edad Cambro-Ordovícica (unos 480 millones de años), sobre todo ortogneises, tanto de alto contenido cuarzo-feldespático (leucogneises), como de texturas porfidoblásticas (glandulares).

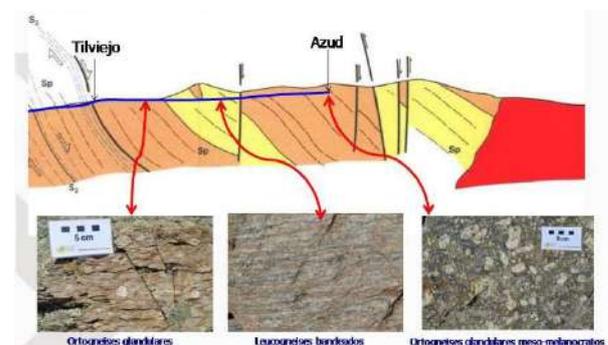


Figura 11. Corte geológico simplificado e idealizado del sustrato del Acueducto (línea azul) en el tramo serrano, con los tres tipos de rocas fundamentales sobre los que discurre. (Tomado de MAGNA; Arenas et al., 1991). Fuente: Díez-Herrero (2017)

La naturaleza gnéisica del sustrato de la cuenca de drenaje del arroyo Acebeda aguas arriba de la captación y el tramo serrano, además con gneises glandulares con abundantes minerales ferromagnesianos (mica biotita, anfíboles, piroxenos...), hace de su alteración no sólo se produzcan arenas, sino importantes cantidades de **limos y arcillas**, que pueden ser transportados en suspensión en el agua, siempre que haya un cierto flujo, a lo largo de kilómetros de distancia.

Por ello, a la llegada del Acueducto a Segovia hubo que instalar sistemas de eliminación de detríticos, llamadas popularmente ‘casetas desarenadoras’, cuya verdadera función era más la decantación de limos y arcillas.



Figura 12. Interior de una de las casetas desarenadoras del Acueducto de Segovia (denominada de San Gabriel), con el canal de entrada, el de salida y el rebosadero, entrando y saliendo de la profunda piscina central de decantación de arenas, limos y arcillas. Fuente: Díez-Herrero (2017)

Para saber más:



4. ¿SE PUEDE ATERRAR PUENTE ALTA?

Según el Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española, **aterrar**, es «cubrir con tierra». Y esto es lo que ocurre, en mayor o menor grado, en el lecho de los embalses (‘pantanos’) que represan los ríos y arroyos, interrumpiendo el transporte natural de sedimentos en los cauces (cantos, gravas, arenas, limos y arcillas; y restos vegetales de hojas, ramas, troncos, corteza, piñas, etc.) y facilitando su depósito en el fondo. Si el aterramiento es tan rápido y cuantioso que disminuye la capacidad de almacenamiento de los embalses, reduce su vida útil, y produce problemas de calidad de las aguas (turbidez, eutrofización, anoxia, etc.).

El embalse de **Puente Alta**, construido en la década de 1950 en el arroyo de la Acebeda o alto río Frío, en estas siete décadas de funcionamiento ha ido reteniendo los sedimentos que transportaba esta corriente fluvial desde su cuenca hidrográfica, de unos 22 km² de superficie.

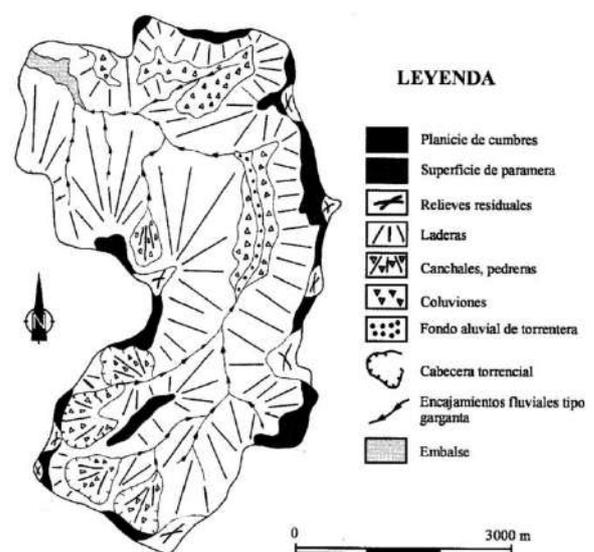


Figura 13. Esquema geomorfológico de la cuenca hidrográfica del embalse de Puente Alta. Fuente: Bodoque et al (2001).

En la década de 1990, con la puesta en funcionamiento del nuevo embalse del Pontón Alto en el río Eresma, el Ayuntamiento de Segovia tuvo ocasión de acometer grandes obras de restauración y mejora de la presa y embalse de Puente Alta. Entonces, se extrajo todo el sedimento y materia orgánica acumulada en el vaso de la presa, que formaba una capa que iba desde unos pocos centímetros, hasta cerca de 3 metros. Con ello, se pudo cubicar todo el sedimento extraído del fondo del embalse y estimar el aterramiento que había sufrido entre 1955 y

Volumen estimado de aterramiento en el vaso del embalse = **40.000 m³**

Coeficiente de retención de sedimentos (Brown, 1943) = **99,6 %**

Volumen total evacuado desde la cuenca = **40.161 m³**

Peso total de los sedimentos acumulados = **62.370 toneladas**

Degradación específica media de la cuenca = **71 t/km² año**

1995, por **evaluación directa**:

Posteriormente, se realizó un estudio de **evaluación indirecta**, utilizando la formulación mundialmente conocida como **USLE** («*Universal Soil Loss Equation*»; Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), que maneja diferentes variables que influyen en que en cada sector del territorio se produzca mayor o menor erosión. Una vez reclasificadas y cartografiadas para la cuenca, se multiplican los valores de las variables para obtener el peso total de material que se erosionará en cada sector del territorio.

Pero no todo el material erosionado en las laderas de la cuenca de Puente Alta llega al embalse, sino que gran parte del sedimento

queda retenido en la propia ladera, al pie de la misma, en los fondos de los valles de los arroyos, o en el cauce del río antes de llegar al embalse. Por ello, esas cantidades hay que reducirlas con un parámetro que se denomina coeficiente de entrega (CE), que para esta cuenca del embalse de Puente Alta se estimó, en el 22%. Lo que llegaría al embalse serían, entonces, unas **69 t/km² · año**, cifra muy parecida a la de la estimación directa.

El conocimiento de las tasas de erosión y de aterramiento de los embalses son fundamentales para la prevención de los mismos y **alargar la vida útil de las presas**. Pero además son útiles para la gestión de la cuenca, dado que la erosión es diferente en los distintos sectores con diferente precipitación, pendiente, vegetación o prácticas forestales. Por ejemplo, la erosión en la cuenca de Puente alta varía mucho en las zonas con:

- Masa forestal densa = 0,4 t/ha año
- Pastizal = 0,5 t/ha año
- Masa forestal media = 7 t/ha año
- Matorral = 15 t/ha año
- Cubierta inapreciable = 70 t/ha año

Con esta información, los gestores pueden tomar decisiones de actuar sobre las zonas que producen mayores tasas de erosión para reducirla, Como todo, requiere un estudio multidisciplinar e integral, para que la gestión conjunta de la cuenca del arroyo de la Acebeda y el embalse de Puente Alta sea sostenible.

Para saber más:



UN COMIC PARA EL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2022

La organización del Hidrogeodía Segovia 2022, con el visto bueno de la coordinación nacional del Hidrogeodía 2022 de la AIH-GE, ha querido contribuir al **uso del cómic en la**

divulgación geológica encargando a una prestigiosa ilustradora segoviana (Celia Uve) una secuencia de ocho viñetas para contar de forma desenfadada y gráfica, algunos aspectos sobre la hidrogeología de la Sierra de Guadarrama y su repercusión en la construcción del legendario Acueducto de Segovia.



La viñeta 0 presenta a los personajes del cómic: Fuen, la moza segoviana que según la leyenda vendió su alma al diablo para que construyera el Acueducto en una noche y así no tener que bajar a por agua al río; cuyo nombre hace alusión a la Virgen de la Fuencisla, patrona de la ciudad y tierra de Segovia, y cuya etimología se vincula a la fuente o manantial de Peñas Grajeras, que drena un acuífero kárstico; y con el detalle del característico pendiente del traje típico segoviano. Y el diablillo, el otro personaje de la popular leyenda que, en lugar de tratar de engañar a la moza segoviana, le interroga con preguntas insidiosas, poniendo a prueba sus conocimientos. Finalmente, el título del cómic (*¿De dónde venía el agua del Acueducto de Segovia?*) inscrito en un sillar granítico del mismo.



La viñeta 1 disfraza a Fuen de aguerrida arqueóloga, con su gorro, pantalones y botas de excavación y con un paletín o catalana en su mano. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos arqueológicos.



La viñeta 2 disfraza a Fuen de ilustrada geógrafa, sus pantalones y botas de campo y un mapa topográfico en su mano. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos geográficos, ubicando la toma del Acueducto de Segovia (sin total seguridad, de ahí el «pensamos», porque hay diversas teorías) en la cabecera del río Frío o arroyo de La Acebeda, entre Cabeza Grande-Cerro Pelado y la Sierra de la Mujer Muerta.



La viñeta 3 disfraza a Fuen de meteoróloga, su chubasquero con capucha, pantalones y botas de campo y un pluviómetro de embudo en su mano. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos meteorológicos, atribuyendo a las precipitaciones (lluvia y nieve), el caudal que lleva el arroyo de La Acebeda o río Frío.



La viñeta 4 disfraza a Fuen de hidróloga, con su camisa con el logotipo de la AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), botas de goma y una regleta limnimétrica para medir la profundidad de agua y estimar el caudal de un río. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos hidrológicos, atribuyendo a la procedencia del caudal del arroyo de La Acebeda a las múltiples fuentes y manantiales de su cuenca.



En la viñeta 5 disfraza a Fuen de hidrogeóloga, con su sudadera con el logotipo de la AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), botas de goma y una sonda piezométrica para medir la profundidad del nivel freático en pozos y sondeos. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos hidrogeológicos, atribuyendo a la procedencia del agua de los manantiales y fuentes naturales, a surgencia del agua de los acuíferos del subsuelo donde se almacenan y mueven las aguas subterráneas.



En la viñeta 6, Fuen sigue disfrazada de hidrogeóloga, con su sudadera con el logotipo de la AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), dejando en un lateral la piezométrica para medir la profundidad del nivel freático en pozos y sondeos. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos hidrogeológicos, explicando al de forma sencilla las dos principales tipologías de acuíferos que existen en las laderas de la Sierra de Guadarrama.



En la viñeta 7 y última, Fuen sigue disfrazada de hidrogeóloga, ahora con una camiseta con el logotipo de la AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), manejando un ordenador portátil en el que hay un modelo numérico de flujo subterráneo. Responde airosa a la pregunta del diablillo con sus conocimientos hidrogeológicos, concluyendo a modo de moraleja final con una exclamación muy segoviana (¡Ahí le has dao, majo!) que el agua del Acueducto de Segovia procedía de las aguas subterráneas de la Sierra.

Para saber más:





CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA- SEGOVIA 2022

La inscripción en el Hidrogeodía Segovia 2022 supone la aceptación de las siguientes normas y condiciones:

- El transporte entre el lugar de residencia y la localidad de Revenga correrá por cuenta del participante.
- Se exigirá puntualidad en la hora de inicio, por lo que se ruega acudir con 5-10 minutos de antelación, para confirmar la asistencia e inscripción.
- Está permitida la participación de menores de edad (indicándolo al inscribirse), pero siempre acompañados por un padre, madre o tutor, que se responsabilizarán de ellos durante toda la actividad.
- La organización no dispone de un seguro de responsabilidad civil, por lo que la participación en la actividad supone la aceptación de que las instituciones y personas organizadoras no se harán responsables de daños y desperfectos que sufran los participantes o que éstos puedan causar.
- Debido a la alerta sanitaria y en función de la evolución de la pandemia y las recomendaciones de las autoridades, o por circunstancias meteorológicas adversas, la organización se reserva el derecho de modificar la actividad o incluso anularla, para lo cual se avisará con la máxima antelación posible a los inscritos.

¿CÓMO CITAR ESTA GUÍA?

Sacristán Arroyo, N. y Díez Herrero, A. (Coords.); Casado, A., De Miguel, C., Díez, A., Font, P., Vegas, J. y Vicente, F. (2022). *¿De dónde venía el agua del Acueducto? Las raíces hidrogeológicas del Acueducto de Segovia*. Guía del Hidrogeodía 2022 Segovia. Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH-GE), Segovia Educa en Verde (Ayuntamiento de Segovia) y Asociación Geología de Segovia. Segovia, 26 de marzo de 2022, 16 páginas DIN-A5.

CRÉDITOS DEL HIDROGEODÍA SEGOVIA 2022



COORDINACIÓN:

Nuria Sacristán Arroyo
(Segovia Educa en Verde y Geología de Segovia)

Andrés Díez Herrero
(IGME-CSIC y Geología de Segovia)

GUÍAS-INTÉRPRETES:

Andrea Casado (Geología de Segovia)

Carlos de Miguel (CENEAM)

Andrés Díez (IGME-CSIC y Geología de Segovia)

Alberto Díez (Segovia Educa en Verde)

Pablo Font (Geología de Segovia)

Nuria Sacristán (Segovia Educa en Verde y Geología de Segovia)

Juana Vegas (IGME-CSIC y Geología de Segovia)

Fuencisla Vicente (Geología de Segovia)

COLABORADORES EN LA INSCRIPCIÓN Y LOGÍSTICA:

Sara González (Segovia Educa en Verde)
Parque Nacional Sierra de Guadarrama

DIBUJOS DEL CÓMIC DEL GUION:

Celia Uve

DISEÑO DEL CARTEL (portada):

Emilio Pascual GAETE, para Talher

PARA SABER MÁS....

Arenas Martín, R., Fuster J.M., Martínez-Salanova, J., del Olmo Sanz, A., Villaseca, C. (1991). *Mapa geológico de la Hoja nº 483 (Segovia)*. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Segunda Serie (MAGNA), Primera edición. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid.

Bodoque, J.M.; Pedraza, J.; Martín-Duque, J.F.; Sanz, M.A.; Carrasco, R.M.; Díez, A. y Mattera, M. (2001). Evaluación de la degradación específica en la cuenca vertiente al embalse de Puente Alta (Segovia) mediante métodos de estimación directos e indirectos. *Rev. Cuaternario y Geomorfología*, 15 (3-4), 21-36. ISSN 0214-1744; D.L. Z-113-1996.

Díez-Herrero, A. (2017). Las raíces del Acueducto: Segovia antes y bajo 'el ciempiés'. En: *Actas I Jornadas Acueducto de Segovia. Una ciudad por y para un monumento*, pp. 27-52, Segovia, 3-9 octubre de 2016. Edita: Ayuntamiento de Segovia-Turismo de Segovia, Segovia, 203 pp.

ITGE (1991). *Memoria del mapa hidrogeológico de la Hoja nº 38 (Segovia)*. Mapa Hidrogeológico de

España E. 1:200.000. Primera edición. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 135 pp.

Martínez Caballero, S. (2012). *El Acueducto de Segovia. De Trajano al siglo XXI*. Ed. Ayuntamiento de Segovia, Concejalía de Patrimonio Histórico y Turismo, Empresa Municipal de Turismo, Segovia, 179 pp.

Rodríguez Fernández, R. (Ed., Coord.); López Olmedo, F., González Menéndez, L., Rodríguez Fernández, R.; Salazar Rincón, A., Díez Herrero, A., Rubio Pascual, F., Luengo, J., Rábano, I. (2020). *Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama Guía geológica*. Colección: Guías Geológicas de Parques Nacionales, 14. Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), Primera edición, Madrid, 276 pp + 2 mapas.

Sacristán Arroyo, N., Díez-Herrero, A. y Carrera Anaya, A. (2016). *Guía de Piedras de la Sierra de Guadarrama*. Ediciones La Librería, Madrid, 128 pp.

Vegas, J. (1998). Bloque diagrama de la geología del recinto amurallado de Segovia. En: Díez, A. y Vegas, J. (Coord.), *Segovia. las ciudades de la ciudad*. Catálogo de la exposición, Obra Social y Cultural, Caja Segovia, Segovia, 52 pp.

Si quieres preparar el recorrido leyendo alguna documentación previa, y así sacar más partido a la excursión y las explicaciones de los guías-intérpretes, te sugerimos también la lectura de estas entradas en la página web de Geología de Segovia:





NOTAS



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

HIDROGEÓDÍA

2022 SEVILLA



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

19 de marzo 2022

AGUAS SUBTERRÁNEAS Y MINERÍA EN LA PROVINCIA DE SEVILLA

GUÍA DE CAMPO

ORGANIZAN:



**UNIVERSIDAD
de SEVILLA**



**DÍA
MUNDIAL
DEL AGUA**

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
“Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible”
Concurso del Agua Subterránea, 2022



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

¡PARTICIPA!

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 2022 se celebra en **El Castillo de las Guardas y la Pasá del Madroño**, en el Río Tinto, el **sábado 19 de marzo**.



Foto 1: Detalle del Río Tinto, a su paso por la Pasá del Madroño.



Foto 2: Punto de encuentro en el parking de la Reserva Natural El Castillo de Las Guardas, en la carretera A-476, próximo al Arroyo Agrio. Aguas abajo se puede observar el Puente-viaducto de Minas del Castillo.

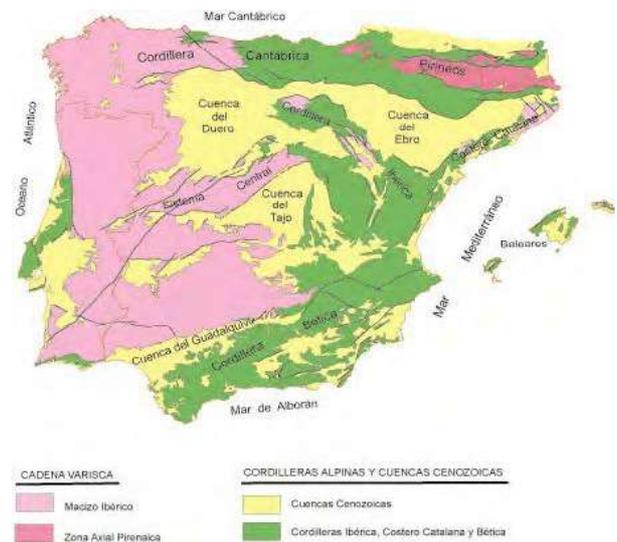


Foto 3: Esquema de las grandes unidades geológicas de la Península Ibérica.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro será el acceso al Castillo de las Guardas (Foto 2).



Foto 4: Panorámica de la zona a visitar. Puente-viaducto de Minas del Castillo, construido para salvar la vaguada del Arroyo Agrio.

QUÉ VEREMOS

El itinerario transcurre por el sector sur del Macizo Ibérico (Foto 3), concretamente en la Zona Surportuguesa, donde se sitúa la **Faja Pirítica Ibérica** (FPI). Durante la excursión, haremos dos paradas principales en las que describiremos y valoraremos la hidrogeología de este sector y su importancia en esta región metalogénica:

Parada 1:

Mina El Castillo de las Guardas, donde conoceremos el origen, tipo y disposición de las masas de mineral y su interacción con la zona saturada para generar aguas contaminadas (drenajes ácidos de mina) que descargan a través de rezumes y pequeños manantiales ácidos. De manera secundaria se valorará el valor patrimonial de las construcciones mineras y los productos derivados de la explotación.

Parada 2:

La Pasá de el Madroño, junto al río Tinto, donde tendremos ocasión de ver y discutir los impactos naturales y antrópicos de la minería en el paisaje y en las aguas subterráneas y superficiales.

Consideraciones sobre la minería metálica en la FPI.

Se denomina "**Faja Pirítica Ibérica**" (FPI) al conjunto de unidades geológicas que afloran en el sector de la Zona Surportuguesa, caracterizadas por la abundancia de sulfuros metálicos, dominando la pirita (sulfuro de hierro) y la calcopirita (sulfuro de hierro y cobre). Las masas de sulfuros metálicos se localizan dentro del Complejo Vulcano sedimentario, constituido por rocas de origen detrítico entre las que se intercalan rocas volcánicas y subvolcánicas. Este conjunto es de edad Devónico Superior-Carbonífero inferior (370-330 Ma).

Se interpreta como el resultado de la sedimentación en cuencas marinas desarrolladas como consecuencia de la extensión a la que estaba sometida la corteza en dicho periodo. Esta extensión provocaba una intensa actividad magmática que daba lugar a un importante vulcanismo en medios marinos, lo que propició la formación extensiva de masas metálicas. El agua marina, al circular por las abundantes fracturas del lecho rocoso, lavaría metales que saldrían al exterior a través de fumarolas (*black smokers*). Allí se combinarían con azufre (procedente tanto del agua marina, como de origen volcánico), probablemente con ayuda de bacterias que viven en estos medios pobres en oxígeno, dando lugar a la precipitación de sulfuros metálicos sobre el lecho marino (Foto 5). La alimentación de estos depósitos masivos se canalizaba a través de sistemas de venas entramadas bajo las masas metálicas masivas (*stockworks*). Cuando los depósitos de sulfuros masivos y *stockworks* se emplazan cerca de la superficie quedan expuestos a los agentes de meteorización, especialmente a la acción de agua de lluvia infiltrada y **aguas subterráneas**. Esta alteración genera una zona con predominio de minerales oxidados: el **gossam** o **montera de hierro** (Foto 5).

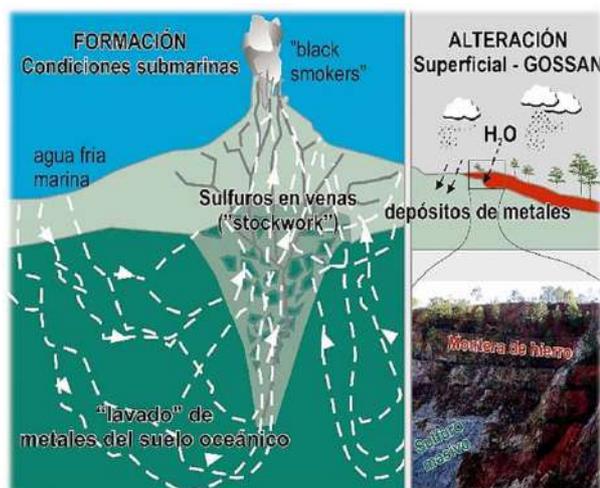


Foto 5: Esquema de formación de los sulfuros masivos y stockworks, así como la formación de gossan cuando se alteran al ser expuestos en superficie (tomada del folleto "Geología 2021. Provincia de Sevilla", ver referencias).



Foto 6: Elementos característicos de la mina de El Castillo de las Guardas. A: planta de procesado; B: embalse de la mina; C: canalones-conducciones de agua; D: antigua plaza de tostación mineral; E-G: escombrera, generación DAM, río Crispinejo o Agrio (tomada del folleto "Geología 2021. Provincia de Sevilla", ver referencias).

El Castillo de Las Guardas ha sido habitado por tartesos, fenicios y romanos, que explotaron los metales preciosos (entre ellos, oro y plata) de los ricos afloramientos de la FPI, sobre todo del gossam. Sin embargo, no es hasta el s.XIX que la minería se industrializa y se comienza una explotación realmente intensa de estos minerales. A principios del s. XX, la pirita extraída en la FPI suponía casi el 50% de la producción mundial. Esta actividad decayó a final de siglo, debido a las fluctuaciones de los mercados de los metales y la apertura de nuevas minas en Sudamérica, África y Australia. Actualmente, debido a la gran demanda de cobre en los mercados internacionales, existen proyectos mineros en Andalucía occidental y el sur de Portugal, tales como la mina de cobre de Las Cruces en Gerena (Sevilla).

Las instalaciones donde actualmente se sitúa el parque de animales "**La Reserva del Castillo de las Guardas**", comprenden pozos (el maestro de 125 m), galerías, puentes para ferrocarril, canalones y una antigua corta de 300 m de largo y 100 m de ancho (Foto 6). Así mismo, se pueden identificar una planta para la explotación de minerales de baja ley en azufre, un taller de trituración de piritas y la antigua plaza de tostación.

Los **impactos ambientales** en la Faja Pirítica son resultado de una explotación minera de más de 4000 años. A la deforestación en época romana de las primeras explotaciones y la obtención de carbón vegetal para la minería le siguió un desarrollo de la minería a cielo abierto (segunda revolución industrial, siglos XIX y XX), que generó grandes cortas y toneladas de escoria y residuos que han modificado significativamente el *paisaje* original de la FPI que debía ser alomado y tapizado por el bosque mediterráneo. Las calcinaciones (tostación de la pirita) al aire libre para concentrar el cobre de los sulfuros generaron grandes vertidos de cenizas a la *atmósfera*. Además, los gases sulfurosos y arsenicales desencadenaron lluvias ácidas a escala regional. Los *suelos* originales (delgados y pobres en materia orgánica), tradicionalmente usados para actividad forestal, sufren una degradación físico-química por los movimientos de tierra y la generación de aguas ácidas. Dicho *drenaje ácido de mina* (DAM) se produce de forma natural cuando la roca madre rica en sulfuros se meteoriza en contacto con la atmósfera. Sin embargo, la actividad humana produce una **sobreexposición** que acelera el proceso. Las fuentes de aguas ácidas son variadas, como las galerías y cortas, pero principalmente se origina por la **lixiviación** de residuos mineros abandonados. El resultado final es que muchos de los cauces fluviales de cuencas mineras tienen pH de 2 a 5 y alto contenido en metales como sucede, por ejemplo, en el río Tinto.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA SEVILLA 2022

La “Pasá” del Madroño (Foto 7): La cuenca del río Tinto (1646 km²) se extiende por las provincias de Huelva y un pequeño sector de Sevilla perteneciente a los municipios de El Madroño y El Castillo de las Guardas. Aguas arriba de la Pasá del Madroño se encuentra la cuenca alta del río Tinto (217 km²), que incluye la mayor parte de la zona minera de Riotinto-Nerva. En este sector el río Tinto y su afluente Rivera de Jarrama marcan el límite provincial. **La oxidación abiótica de la pirita** produce acidez y la liberación de sulfatos, hierro y otros elementos accesorios asociados a los sulfuros (As, Cd, Pb, etc.). En la naturaleza, estas reacciones se aceleran considerablemente gracias a la acción catalizadora de bacterias acidófilas como *Acidithiobacillus ferrooxidans* que favorecen la oxidación de Fe²⁺ a Fe³⁺ convirtiendo a la oxidación en un proceso sin fin. Las distintas labores mineras (escombreras, cambios en el nivel freático) favorecen enormemente el contacto entre el oxígeno y los sulfuros y, en consecuencia, la generación de aguas ácidas con elevadas concentraciones de metales disueltos.



Foto 7: La Pasá del Madroño, en la visita de campo realizada en el marco del Geolodía 2021 (foto realizada por M.Rodríguez-Rodríguez con dron DJI-Mini2).

Hora de inicio en el punto de encuentro: 10:00h. *Llegada en coche particular, por la imposibilidad de circular con autobús en la parada 2.

- Recorrido: 2 km aproximadamente en cada parada (el recorrido se realiza a pie).
- Duración aproximada: 3,5 horas
- Dificultad: Media-Baja.
- Recomendaciones: calzado cómodo, agua y protección solar.

Los participantes en la actividad serán las personas inscritas mediante envío de un correo electrónico:

mjmonveg@upo.es

En el mensaje deben indicar el nombre completo y el DNI. Plazas limitadas atendiendo estrictamente al orden de inscripción. La organización no dispone de 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.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2022

La actividad estará conducida por los profesores Miguel Rodríguez Rodríguez (Universidad Pablo de Olavide), Joaquín María Delgado Rodríguez (Universidad de Sevilla) y María José Montes Vega (Universidad Pablo de Olavide). El presente folleto está modificado del cuaderno de campo: “Geolodía21. Sevilla. *La Faja Pirítica Ibérica en la Sierra Norte (Sevilla): patrimonio histórico-minero e implicaciones medioambientales.*” Autores: J. Delgado; J.C. Balanyá, M. Díaz-Azpiroz; I. Expósito; A. Jiménez; F. Moral y M. Rodríguez-Rodríguez.

PARA SABER MÁS

Delgado, J., Boski, T., Nieto, J., Pereira, L., Moura, D., Gomes, A., Sousa, C. y García-Tenorio, R. (2011). **Quaternary Science Reviews** 33, 121-141.

Delgado, J., Balanyá, J.C., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I., Jiménez, A., Moral, F., y Rodríguez-Rodríguez, M. (2021) **Geología. Provincia de Sevilla**, 8 pp.

Fernández Caliani, J.C. (2008). **Macla** 10, 24-28.

Olías, M., Nieto, J.M., Miguel, A. y Ruiz, C. (2010). [La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel](#). Universidad de Huelva, 166 p.

Pérez-Macías, J.A. (1986). En: I Jornadas de Patrimonio de la Sierra de Huelva. Huelva.



UNIVERSIDAD
de SEVILLA

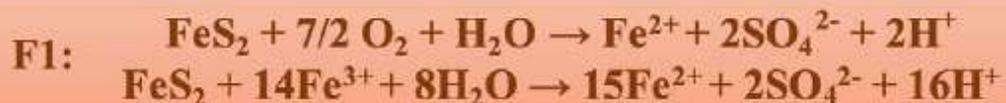
ORGANIZA:



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español

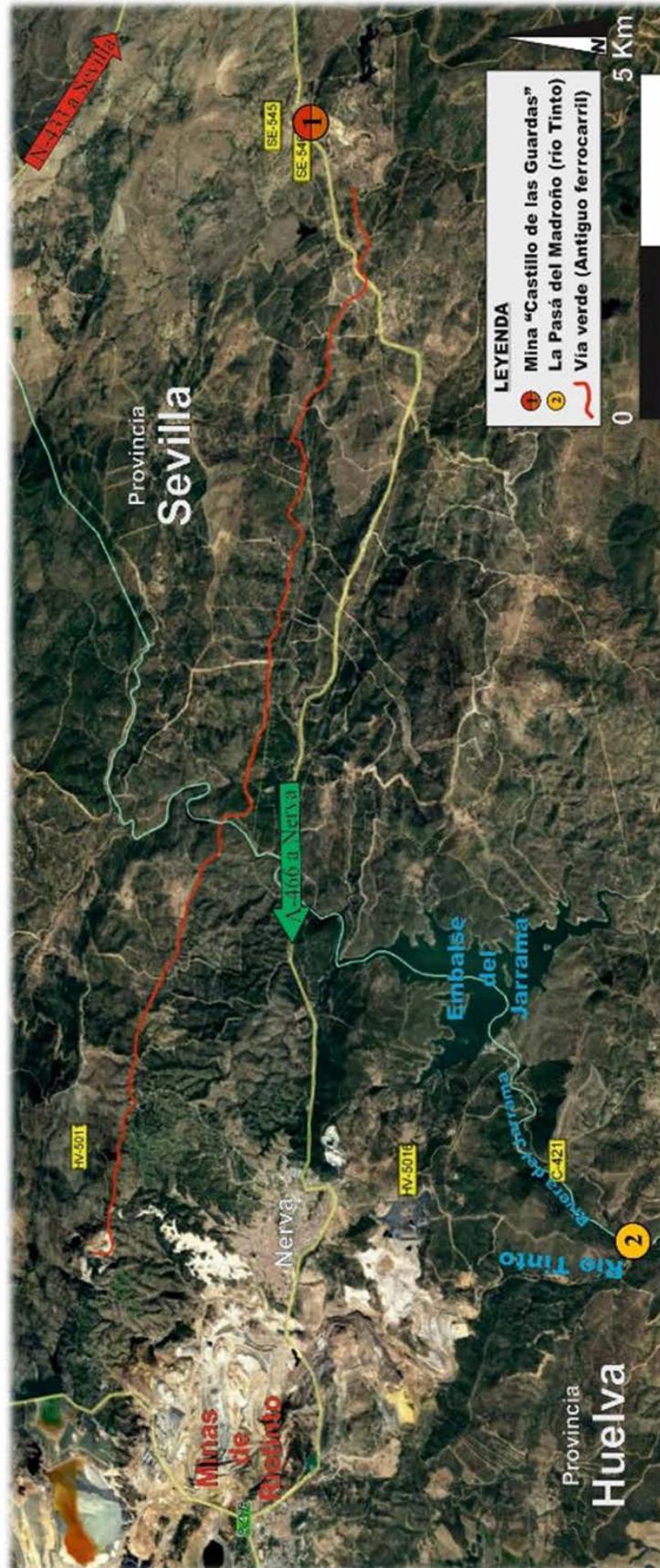


REACCIÓN DE OXIDACIÓN DE LA PIRITA



La oxidación abiótica de la pirita (F1) produce acidez y la liberación de sulfatos, hierro y otros elementos accesorios asociados a los sulfuros (As, Cd, Pb, etc.). En la naturaleza, estas reacciones se aceleran considerablemente gracias a la acción catalizadora de bacterias acidófilas como *Acidithiobacillus ferrooxidans* que favorecen la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} convirtiendo a la oxidación en un proceso sin fin. Las distintas labores mineras (escombreras, cambios en el nivel freático) favorecen enormemente el contacto entre el oxígeno y los sulfuros y, en consecuencia, la generación de aguas ácidas con elevadas concentraciones de metales disueltos. La precipitación del Fe^{3+} en forma de oxihidróxidos de hierro "tiñe" los cauces de rojo-ocre y produce un tamponamiento del pH a valores próximos al rango 2,5-3. Cuando en el lixiviado ácido existe muy poco hierro en disolución, el pH asciende a valores entre 4 y 5 y el papel de tamponamiento pasa a ser ejercido por la precipitación de aluminio. Los precipitados de aluminio forman partículas coloidales blanquecinas que dan un aspecto lechoso al agua. En los primeros 10 km de su recorrido, el río Tinto recibe los lixiviados ácidos del distrito minero de Riotinto y Peña de Hierro. Los análisis realizados por Olías et al. (2010) indican que en la Pasá del Madroño, las aguas del río Tinto tienen un pH próximo a 2,3 y una conductividad eléctrica de unos 7 mS/cm. Los contenidos en algunos iones y elementos mayoritarios son: 7000 mg/L de sulfato, 1500 mg/L de Fe, 350 mg/L de Al, 100 mg/L de Zn, 100 mg/L de Cu y 30 mg/L de Mn.

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA SEVILLA 2022





Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



Las aguas subterráneas en la Muntanyeta dels Sants de Sueca

Parque Natural de la Albufera de Valencia

27 de marzo de 2022

EXCURSIÓN GRATUITA (plazas limitadas)

INSCRIPCIÓN: ja.dominguez@igme.es

MÁS INFORMACIÓN: www.aih-ge.org

PUNTO DE ENCUENTRO:

Mirador de la ermita dels Sants (Sueca)

Hora de inicio: 10.00

Hora estimada de finalización: 13.00



EL HIDROGEODÍA

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

En Valencia, el **Hidrogeodía 2022** se celebra en el entorno del **Parque Natural de La Albufera de Valencia (Fotos 1 y 2)**, concretamente en los parajes de **La Muntanyeta dels Sants y Na Molins**.

El hilo argumental lo constituyen las aguas subterráneas de esta zona y concretamente varios de los manantiales que dan origen a los conocidos como “ullales”.



Foto 1 y 2: campos de arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro se sitúa en el **mirador de la ermita dels Sants Abdó i Senén de Sueca (Foto 3 / Figura 1)**.



Foto 3: Mirador de la Ermita dels Sants Abdó i Senén.



Foto 4: Zona de estacionamiento.

Se puede acceder desde la **CV-500**, en la entrada noreste de Sueca, en el **p.k. 26,9**, donde está la cruz, se toma el camino con dirección norte que, atravesando arrozales, se dirige directamente hasta los pies de este enclave, donde se sitúa la zona de estacionamiento (Foto 4).

Desde el interior, por la **CV-515**, en el **p.k. 7,5**, en una glorieta partida, se toma el camino de la “Sequieta Nova” que atraviesa una zona de huerta y cruza, elevado, tanto la A-38 como la vía del ferrocarril.

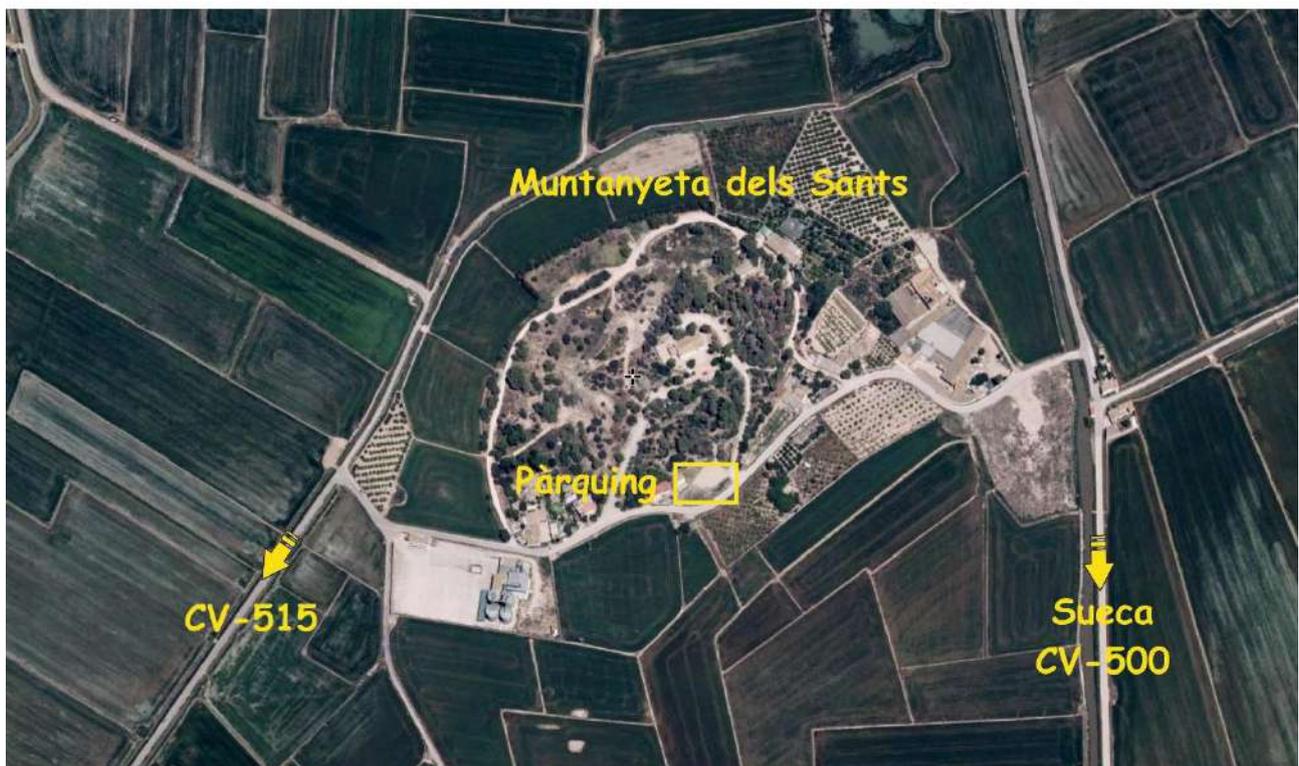


Figura 1: Punto de encuentro

Se ruega **puntualidad**.

La **hora de inicio será a las 10.00 de la mañana** del día 27 de marzo de 2022, siendo la duración aproximada de la visita de unas **3 horas**.

IMPORTANTE

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

La organización no 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** (el mapa del recorrido se adjunta en la última página de esta guía), consta de **6 paradas** y presenta **baja dificultad**, ya que es prácticamente llano y tiene una longitud total (incluido el regreso al punto de partida - aparcamiento) de apenas 5 km.

La única cota se sitúa en el punto de partida, en el montículo de Els Sants (27 m s.n.m.) (Foto 5).



Foto 5: Vista de la pequeña elevación de La Muntanyeta dels Sants, rodeada por campos de arroz.

Hay que indicar que en las fechas en las que se realiza la visita puede darse cualquier circunstancia climática, desde lluvias intensas y frío, hasta días de sol radiante y calor. Por ello, con antelación a la excursión deberemos estar

atentos a las previsiones meteorológicas y **llevar ropa, gorra y calzado apropiados**. De igual forma, al estar en una zona de cultivos y húmeda, con presencia de canales y zanjas de riego (Foto 6), manantiales y láminas de agua, es frecuente la presencia de insectos (mosquitos especialmente), por lo que se recomienda usar algún tipo de protección o repelente.



Foto 6: Vista de una de las acequias de riego de la zona.

Aunque el recorrido no es excesivamente largo y existen fuentes en el entorno de la ermita dels Sants, conviene **llevar algo de comida y bebida**.

Finalmente, conviene recordar que nos encontramos en un **espacio natural protegido** y que debemos aprender tanto a **disfrutarlo** como a **conservarlo (Foto 7)**.



Foto 7: el Parque Natural de La Albufera es un enclave de gran riqueza medioambiental.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?

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

QUÉ VEREMOS

Se inicia el recorrido en lo alto de La Muntanyeta dels Sants desde donde se tienen unas vistas panorámicas espectaculares de las áreas de cultivo de arrozal de la zona.

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

Parada 1: Muntanyeta dels Sants (vista sur)

- Introducción a la jornada
- La importancia de las aguas subterráneas
- Ejemplos de su uso: cultivo del arroz, abastecimiento urbano, etc.

Parada 2: Muntanyeta dels Sants (vista norte)

- Encuadre hidrogeológico
- La Albufera de Valencia: su origen y evolución

Parada 3: Pozos y sondeos

- La explotación de las aguas subterráneas



Foto 8: campos de arroz (ermita dels Sants al fondo)

Parada 4: Cova de l'Aigua

- Manantial
- Concepto de acuífero (Formaciones permeables e impermeables)
- Morfologías kársticas

Parada 5: Llosa Na Molins

- Nivel freático (medida)
- Muestreo y caracterización de las aguas
- Morfologías kársticas

Parada 6: Ullal de Baldoví

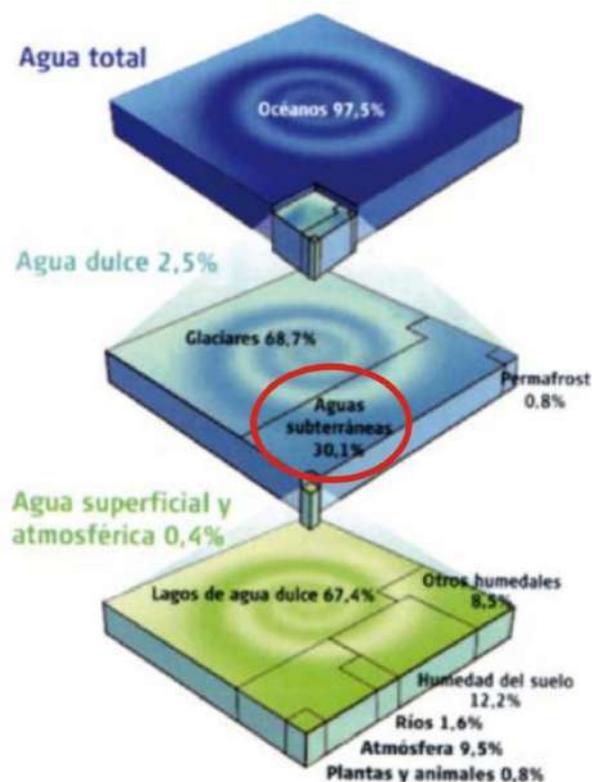
- Caracterización físico-química de las aguas
- Toma de muestras
- Las aguas embotelladas

**Se adjunta
plano del recorrido
al final de esta guía**

PARADA 1: MUNTANYETA DELS SANTS (vista sur)

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

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



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

Figura 2: La importancia de las aguas subterráneas.

De este 2,5 %, casi un 69 % se encuentra en forma de hielo en los glaciares de los casquetes polares y en los de las cumbres de las grandes cordilleras, es decir, es un agua que no podemos usar ya que no se encuentra

cerca de las áreas en las que vivimos. Queda así algo más de un 30 % de agua dulce utilizable de la que únicamente un 0,4 % se encuentra en los ríos, lagos y la atmósfera (Figura 2).



Foto 9: Parada 1. Ermita dels Sants Senén i Abdó (imagen superior). Vista hacia el sur desde la parada 1 (imagen inferior)

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.

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

El agua dulce es esencial para la vida. Su uso principal es para la agricultura y en mucha menor medida para la industria y el abastecimiento urbano.

En la Albufera de Valencia destaca el ejemplo del cultivo del arroz.

En la cuenca del Júcar la dotación media neta para el arroz es de unos 9.500 m³/ha/año (Figura 3), lo que supone más del doble de la dotación correspondiente a los cítricos (4.000 m³/ha/año).

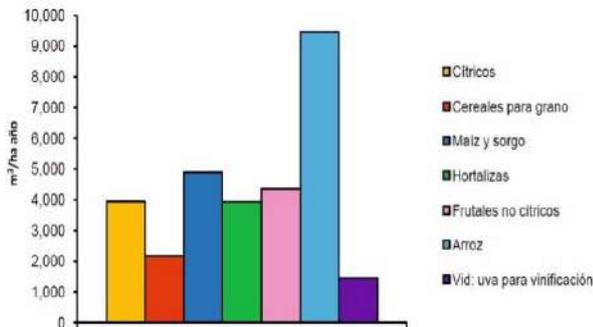


Figura 3: Dotación neta promedio en la cuenca del Júcar para los cultivos más representativos (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021)

En la Albufera de Valencia se realiza la denominada “perellonà” en el mes de noviembre, que consiste en el cierre de las compuertas del Perelló, del Perellonet y la de Pujol para poder inundar los campos. Entre noviembre y febrero con los terrenos inundados (Foto 10) se moltura la tierra produciendo un barro fino que se mezcla con la “paja” sobrante de los arrozales del año anterior. Este proceso además de atraer a las aves migratorias favorece el proceso de descomposición de la materia orgánica y enriquece la tierra.

De marzo a abril los campos se dejan descansar, se van secando paulatinamente y finalmente se aran para deshacer la capa más superficial del terreno. En mayo, se vuelven a inundar y a arar, como paso previo a la siembra, que se inicia en junio.

El arroz crece durante el verano y a primeros de septiembre se lleva a cabo la recolección.

En el caso del cultivo del arroz se emplean aguas superficiales procedentes de La Albufera. Sin embargo, parte de las aguas de la Albufera son subterráneas.



Foto 10: Campos de arroz inundados

Otro ejemplo de la importancia de las aguas subterráneas es el **abastecimiento urbano**. Por ejemplo, la provincia de Castellón se abastece casi al 100 % con aguas subterráneas de diferentes acuíferos gracia a pozos o sondeos de explotación.

Para comprender la importancia crucial 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 drenado agua subterránea al río permitiendo que lleve agua incluso durante largas sequías.

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

PARADA 2: MUNTANYETA DELS SANTS (vista norte)

La Albufera de Valencia se localiza en el sector central y costero de la Plana de Valencia.

Una albufera es una laguna litoral, situada en una cota baja, que contiene agua salina o ligeramente salobre y se encuentra separada del mar por una lengua o cordón de arenas.

Las albuferas, marjales o lagunas costeras son **ecosistemas de gran valor por su riqueza biótica, su función reguladora de los regímenes hidrológicos y por su alto potencial económico, cultural, científico y/o recreativo.**

La Albufera fue declarada Parque Natural el 8 de julio de 1986 y el 8 de mayo de 1990 se incorporó a la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional Conferencia Ramsar. Cuenta con una superficie de 21.120 ha.

También cuenta con la figura de protección **ZEPA (Zona de Especial Protección para Aves - 8 de junio de 1994)**. Se aprobó su PORN (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales) el 16 de mayo de 1995 y su PRUG (Plan Rector de Uso y Gestión) el 19 de noviembre de 2004.



Foto 11: Vista desde la Parada 2 de los ullales dels Sants i Baldové y de la Llosa Na Molins

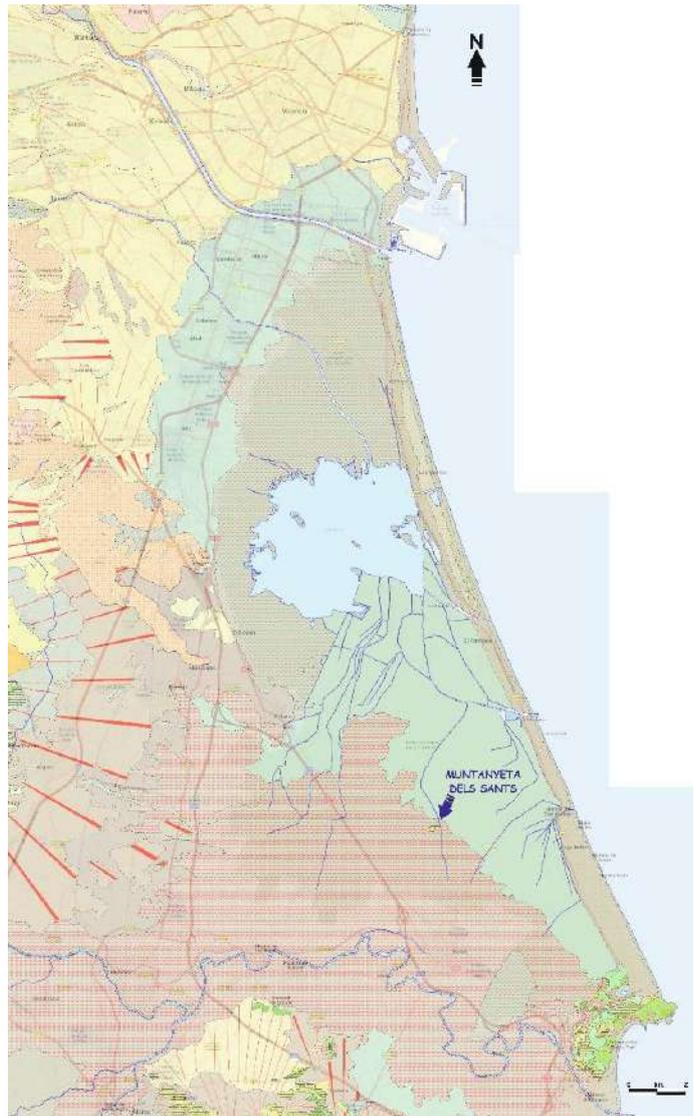


Figura 4: Mapa geológico de La Albufera (Modificado de <http://info.igme.es/visorweb/>.- IGME)

Esta llanura es una zona geológicamente deprimida y subsidente, es decir, que se hunde. A la vez sufre un proceso de colmatación por depósitos aluviales cuaternarios constituidos por lechos de margas, arcillas, cantos rodados, gravas y limos (Figura 4).

La configuración espacial de este entorno ha cambiado notablemente a lo largo de los últimos 10.000 años (Holoceno). Hace 7.000 años, la Muntanyeta dels Sants y la Montaña de las Zorras de Cullera eran islotes en medio del mar, separados del continente.

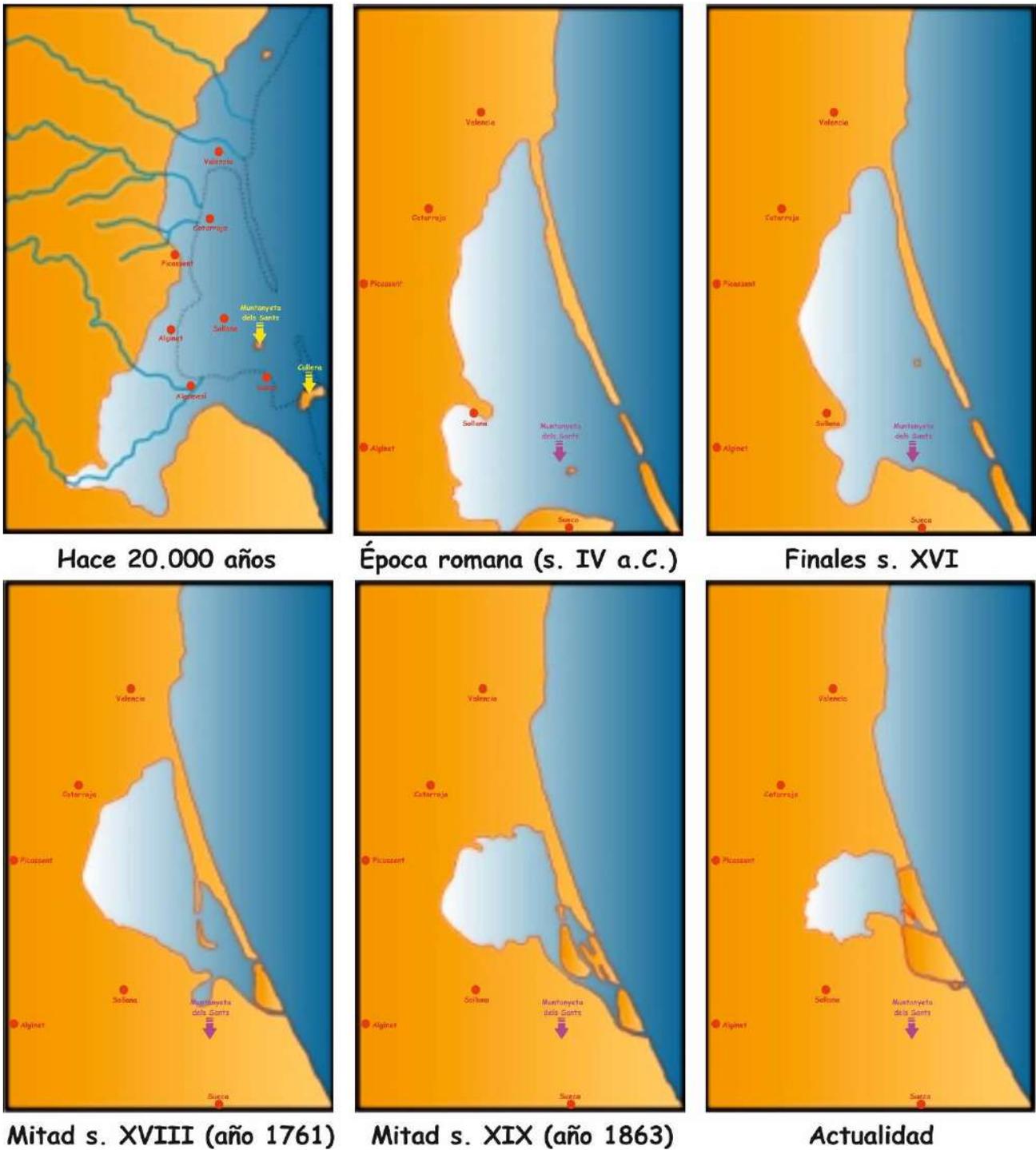


Figura 5: Evolución geomorfológica de la Albufera de Valencia (modificado de Miguel Mondría García en: Estudio para el desarrollo sostenible de la Albufera de Valencia – CHJ 2003)

A partir de trabajos de datación radioisotópica realizados por el Gabinete de Aplicaciones Nucleares del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) en el año 1971 se sabe que hace unos 6.000 años se inició la formación de la restinga o barra arenosa costera que finalmente, hace unos 3.000 años, cerró y aisló la albufera del mar.

Este proceso tuvo lugar gracias a los aportes de sedimentos fluviales procedentes del Río Turia que se fueron distribuyendo de norte a sur empujados por la corriente de deriva típica de este sector del Mediterráneo sobre una plataforma marina de escasa pendiente, hasta alcanzar la isla de Cullera.

Durante la época romana, ya con el lago separado del mar, pero conectado con él a través de varias golas, se intentó utilizar como lago salado en el que pescar de forma sencilla. No obstante, el cierre continuo de estas golas y los aportes de sedimentos y de agua dulce obligaron a desestimar este uso.

En 1863, la superficie del lago era de 8.190 ha., en 1898 de 5,090 ha. (mapa de la Sociedad Valenciana de Caza y Pesca). En 35 años la superficie del lago mermó más de 3.000 ha. (un 37 %) para ganar tierra cultivable. Este proceso antrópico continuó hasta 1911, en que pasó a ser propiedad de la ciudad de Valencia. En esa fecha la superficie ocupada por las aguas oscilaba entre las 2.950-1.900 hectáreas (según la variación del nivel) con que cuenta actualmente. A partir de los años 30 del s. XX se deja de aterrar el humedal con la idea promovida por el Ayuntamiento de Valencia de que constituya un parque público para uso y disfrute de los ciudadanos y se construye, por ejemplo, el embarcadero de la gola de Pujol (Figura 5).

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

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

No puede abordarse el estudio de una zona húmeda sin conocer su **contexto hidrogeológico**. Es preciso estimar lo más ajustadamente posible su **balance hídrico**, es decir, conocer los recursos hídricos que entran o recargan el sistema y los que salen del mismo, así como determinar la calidad de las distintas aguas presentes (Figura 6).

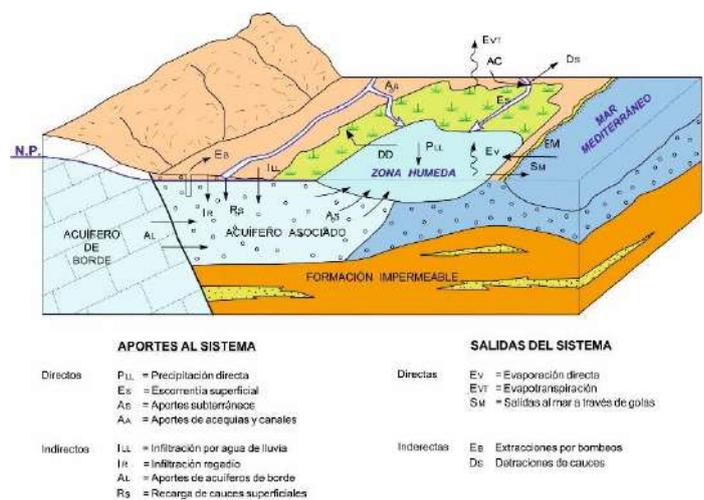


Figura 6: Parámetros a tener en cuenta a la hora de estimar el balance hídrico de un humedal. (De Ballesteros Navarro, B.J. 2003).

PARADA 3: POZOS Y SONDEOS

Desde el alto de la Muntanyeta dels Sants descenderemos por su cara este para dirigirnos hasta la parada 3, en un recorrido de apenas 300 m.

Antiguamente, los seres humanos se abastecían directamente de los ríos, lagos y manantiales de agua dulce. Luego descubrieron que en algunas zonas excavando agujeros o pozos de escasa profundidad o pequeñas galerías obtenían agua. Mucho más recientemente, la tecnología ha permitido la construcción de **sondeos** de centenares de metros en los que se instalan bombas capaces de elevar el agua desde gran profundidad.

Un **sondeo o pozo** es una perforación realizada en el terreno, de profundidad y diámetros diversos que permite conocer las características de los diferentes estratos o niveles que atraviesa y de los fluidos que contienen (agua, gas, petróleo...). Su **acondicionamiento** permite la extracción de dichos fluidos o actuar como punto de **observación del acuífero**, siendo su función en este caso la de permitir la **toma de muestras de agua** para su análisis o la medida de otros parámetros como el **nivel piezométrico**, o profundidad a la que se encuentra el agua.

Para la obtención de agua subterránea, la labor del hidrogeólogo no solo consiste en determinar en qué punto debe perforarse un pozo, sino definir sus características (profundidad, diámetro, acondicionamiento, etc) aconsejar el mejor sistema de perforación, los métodos de desarrollo 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 y se comprueba la coincidencia entre el proyecto previsto y los resultados reales. De esta forma pueden irse ajustando los trabajos para alcanzar los objetivos deseados.

Los métodos de perforación más utilizados en la actualidad son la percusión, la rotación, y la rotoperCUSión (Figura 7):

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



Foto 11: perforación de un sondeo a rotoperCUSión

- **RotoperCUSión:** es un método mixto que destruye la roca mediante una cabeza percutora que a la vez va girando (Foto 11). 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.

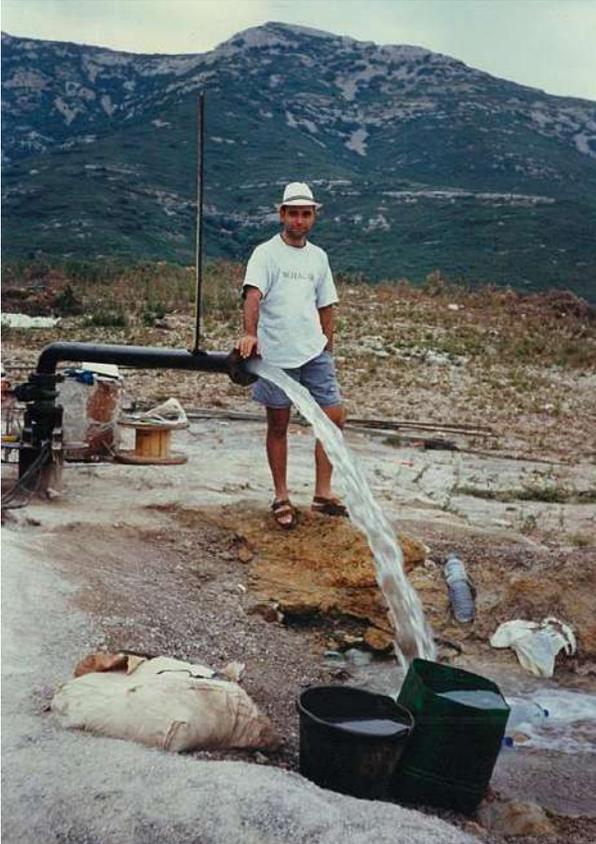


Foto 12: Ensayo de bombeo o prueba de aforo.

Acondicionar un sondeo consiste en equiparlo de forma adecuada para asegurar su uso y poder extraer eficazmente el agua.

Para ello, es esencial su **entubación**, es decir, introducir una tubería (metálica o de PVC) en el agujero que impida que este se cierre o se derrumbe. Esta tubería incluye tramos perforados o filtrantes que se hacen coincidir con los niveles del terreno atravesado que aportan agua (niveles acuíferos). Así se permite el paso de agua al interior del sondeo.

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



Foto 13: pozo (5,41 m de profundidad). Abastecimiento urbano de Sueca.

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



Foto 14: Sondeo realizado a percusión (30 m de profundidad). Uso industrial.

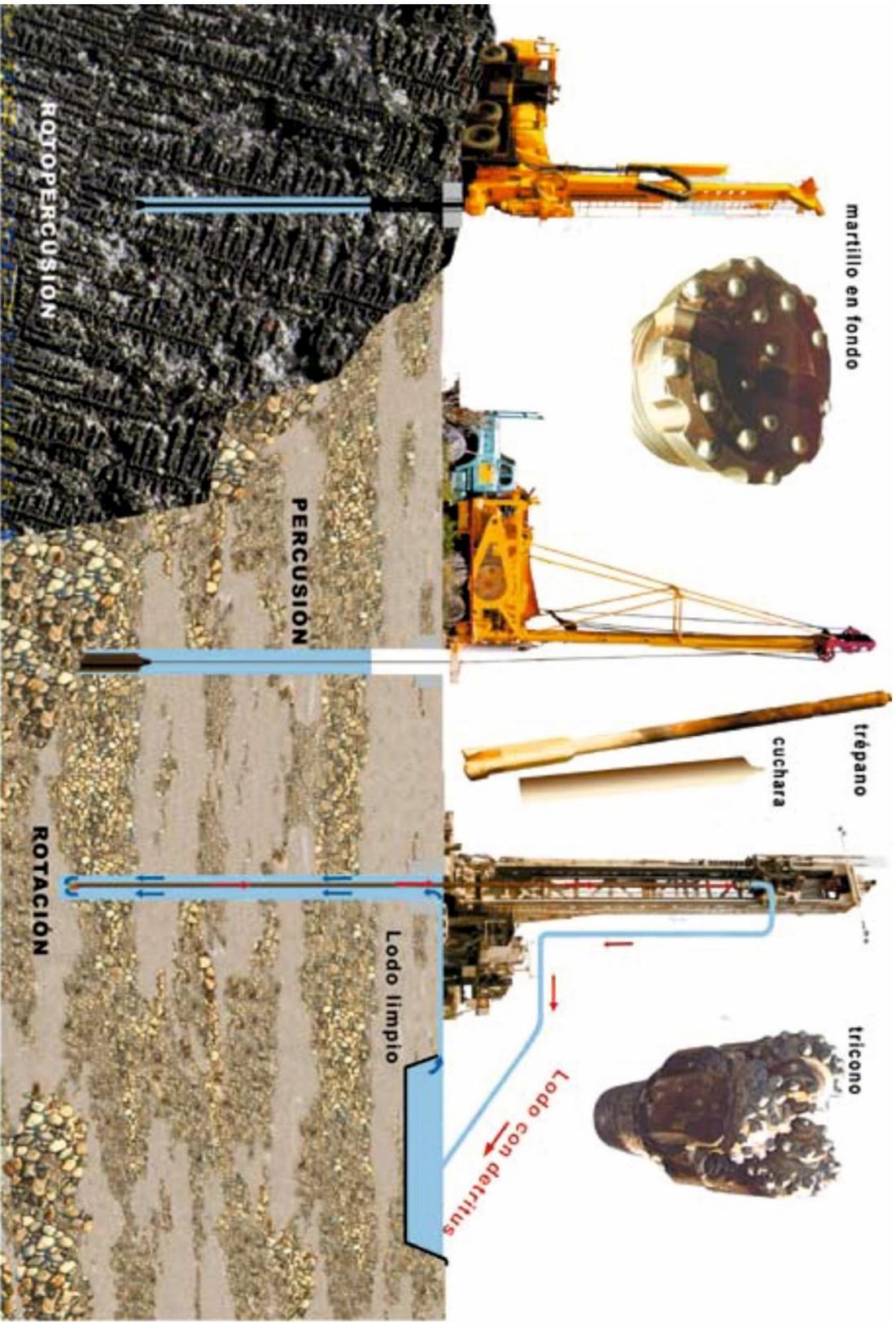


Figura 7: Sistemas de perforación de sondes (López Geta, J.A et al. 2009)

PARADA 4: COVA DE L'AIGUA

Bordeando la cara oeste de la Muntanyeta dels Sants, a escasos 200 m de la parada anterior, llegaremos hasta el paraje de la Cova de l'Aigua (Fotos 15 y 16).

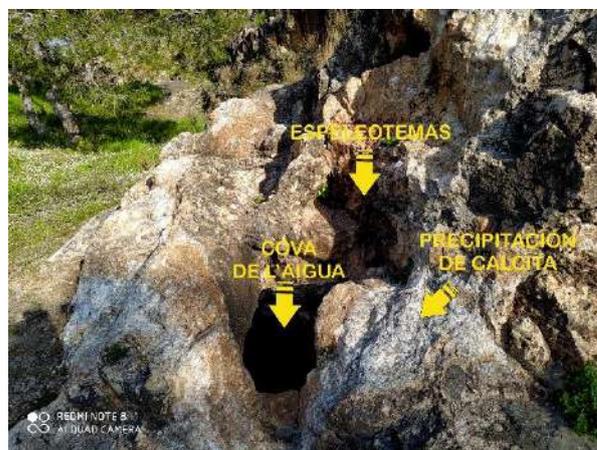
Desde esta posición se puede observar la configuración rocosa de esta elevación de apenas 27 m s.n.m., formada por estratos, con cierta vergencia (inclinación) norte (Figura 11), de dolomías, calizas y margas, de edad cretácica (Cenomaniense-Turonense).

Se trata de materiales solubles que sufren procesos de karstificación (disolución), es decir, en estos terrenos se crean formas kársticas a partir del desarrollo de conductos por la circulación de las aguas meteóricas y subterráneas que disuelven la roca carbonatada desde la zona de recarga en la superficie hasta las áreas de descarga.



Fotos 15 y 16: Paraje de la Cova de l'Aigua

En superficie se desarrolla un paisaje kárstico o exokarst, con formas típicas como dolinas, poljes, colapsos kársticos, uvalas, simas, sumideros, cuevas o lapiaces (Figura 8). Si este proceso se realiza bajo la superficie del terreno se habla de endokarst y entonces se forman sistemas de cavidades o cuevas en las que la reacción entre agua, gas y roca puede invertirse y originar infinidad de espeleotemas (estalactitas, estalagmitas, columnas, banderas, gours, escudos, coladas, ...) debidas a la precipitación de calcita, aragonito o yeso (Figura 9).



Fotos 17: Precipitaciones de calcita y espeleotemas en la Cova de l'Aigua

La Cova de l'Agua (Foto 17) es un ejemplo de esta morfología fruto de la disolución y precipitación de carbonato cálcico. Se trata de una cavidad estrecha, vertical (una pequeña sima) que permite comprobar la profundidad a la que se encuentra el **nivel freático** (capa freática), que es el nivel por debajo del cual un acuífero libre se encuentra permanentemente saturado de agua.

En los afloramientos rocosos de este lugar se pueden observar infinidad de formas kársticas y espeleotemas (estalagmitas, oquedades, recristalizaciones de calcita, etc).



Figura 8: Modelado kárstico. Morfologías del epikars y del endokars.

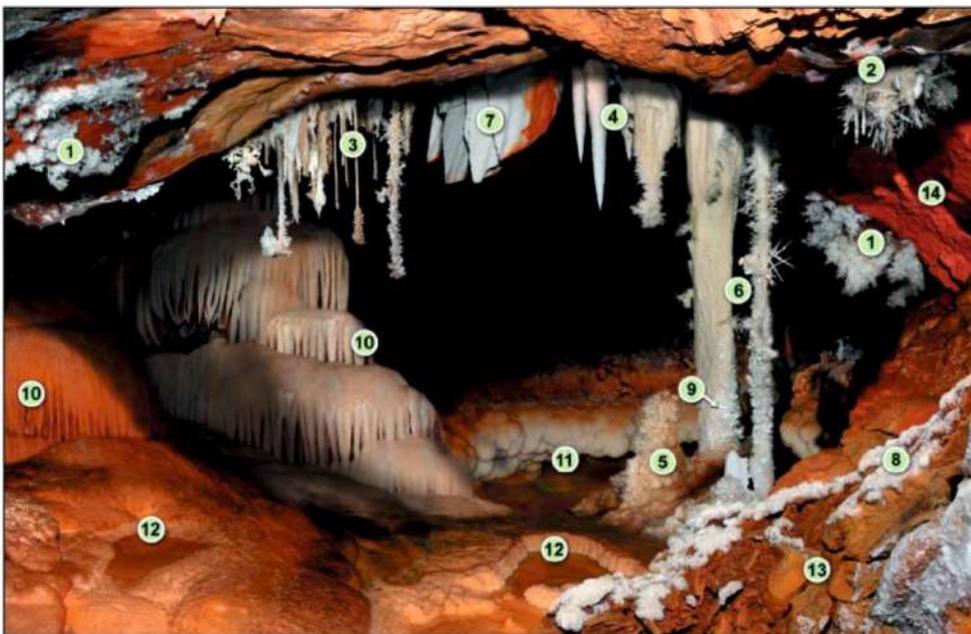


Figura 9: Espeleotemas

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

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

El objetivo de un pozo o sondeo de explotación de aguas subterráneas es alcanzar un tramo o nivel permeable en profundidad que se encuentre saturado, es decir, que se sitúe por debajo del nivel freático.

La perforación, por tanto, deberá ir atravesando distintos tramos (permeables e impermeables) hasta llegar al que nos interesa para poder extraer los recursos hídricos subterráneos que contiene (Figura 10).

Así, las **capas permeables** del subsuelo que se encuentran saturadas de agua y permiten su aprovechamiento constituyen lo que se denomina **acuíferos**, mientras que 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**.

Si nos alejamos un poco de la base del afloramiento calizo de la Muntanyeta dels Sants, se puede observar la diferencia entre los materiales rocosos que constituyen esta elevación y los depósitos detríticos más blandos que la rodean (áreas de cultivo)

Mientras que las calizas son materiales permeables, los limos, margas y arcillas junto con niveles de arenas forman los depósitos de la llanura litoral y constituyen una formación de baja permeabilidad.

La disposición de unos y otros también es diferente pudiendo comprobar el ligero buzamiento hacia el norte de los estratos calizos (Figura 11).

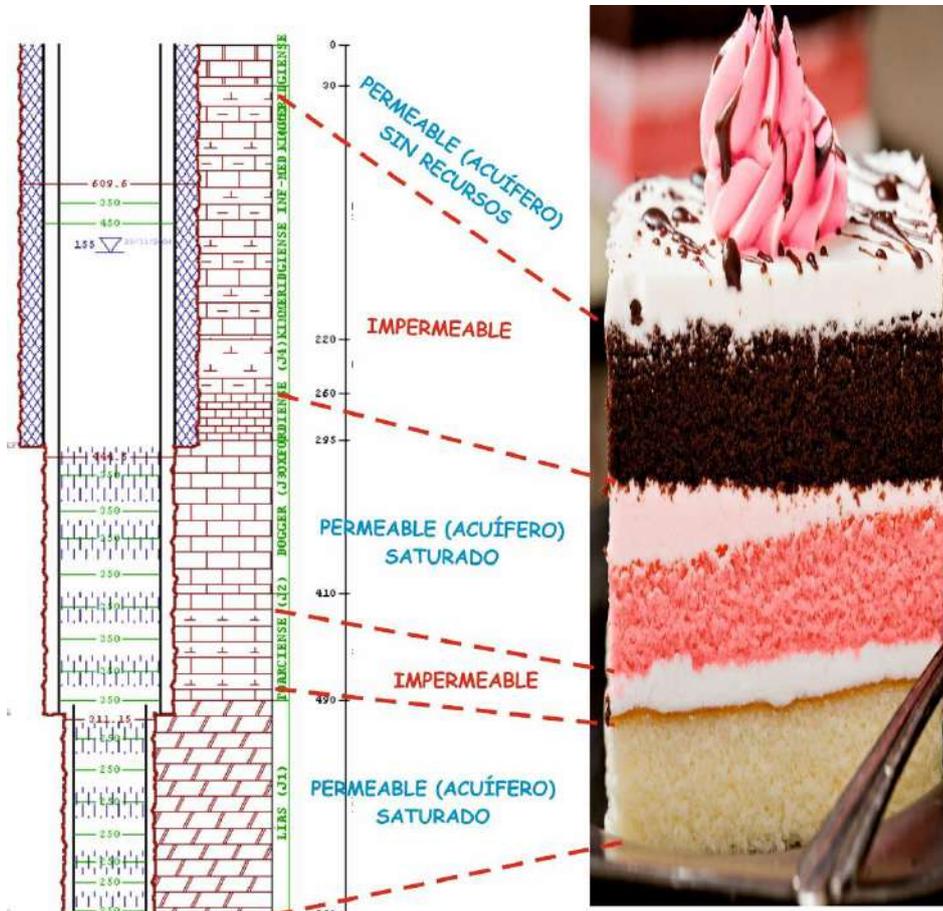


Figura 10: Acondicionamiento de un sondeo. Nivel freático. Capas permeables (acuíferos) e impermeables (acuicludos).

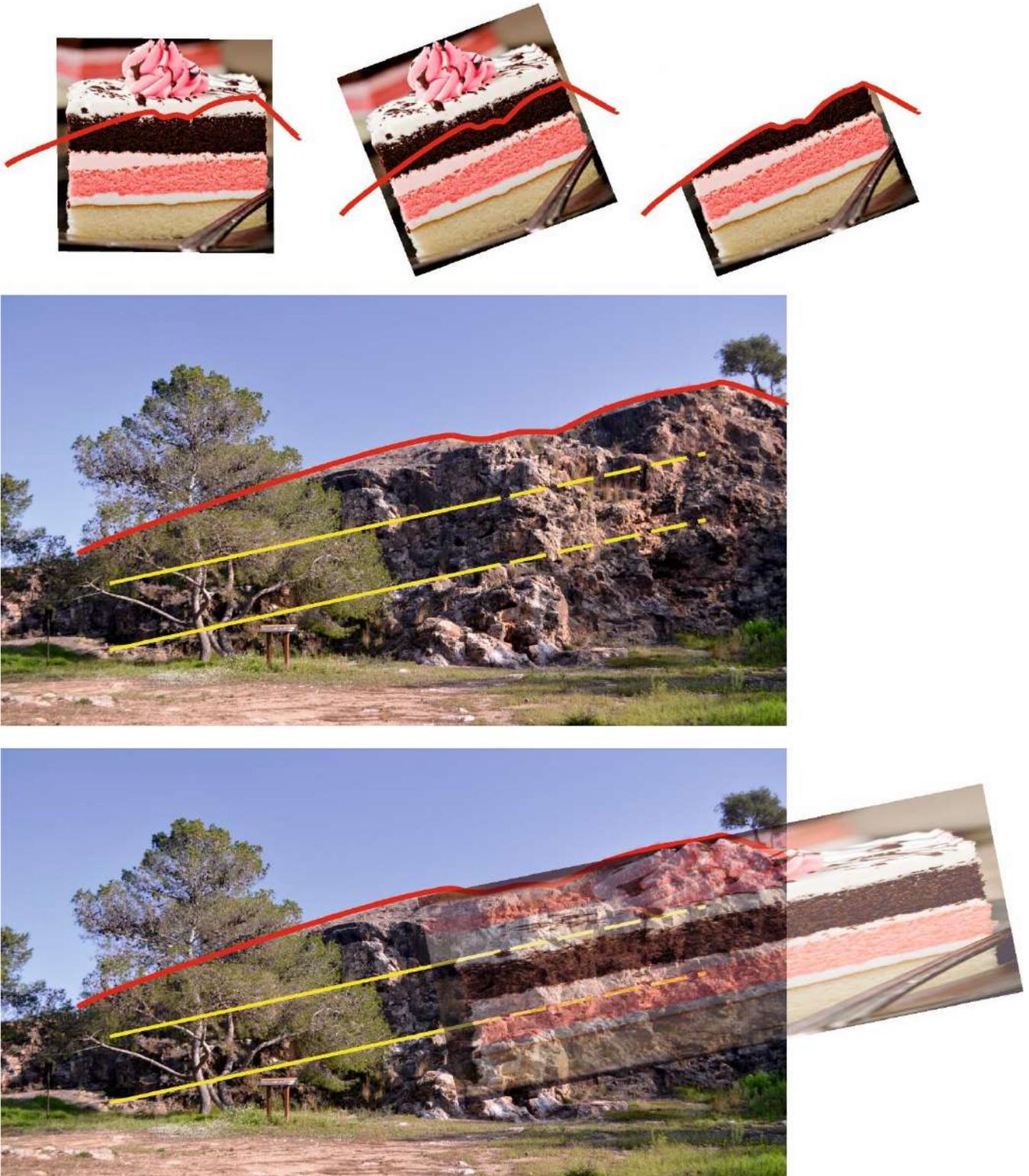


Figura 11: Estratificación de la Muntanyeta dels Sants. Las capas de caliza se sumergen bajo los depósitos detríticos de la Plana de Valencia.

PARADA 5: LLOSA NA MOLINS

Desde la parada anterior, se han de recorrer 900 m, en dirección norte, primero por un tramo de carretera asfaltada que discurre al oeste de la Muntanyeta dels Sants y después por un camino de tierra entre campos de cultivo (Foto 17).



Foto 17. Vista desde el sur de Llosa Na Molins.

Esta parada se sitúa en el afloramiento de dolomías y calizas, también de edad cretácica, de la Llosa de Na Molins. Se corresponde con una pequeña tachuela de rocas carbonatadas rodeada por los depósitos detríticos (arcillas, limos, margas y arenas) de la Plana de Valencia.

En este afloramiento se pueden observar formaciones de disolución kársticas de tipo superficial (pequeñas dolinas, grietas, etc.)



Foto 18: Sima de Llosa Na Molins

Destaca la pequeña sima de Na Molins (Fotos 18 y 19) que permite, como en la Cova de l'Aigua, observar el nivel freático, medir su profundidad (Foto 20) y tomar muestras de agua para su caracterización (Fotos 21 y 22).



Foto 19: Vista de la Llosa de Na Molins. En primer término, la sima.

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

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

El **pH** nos indica la acidez o alcalinidad del agua, es decir, la concentración de iones de hidrógeno. La sigla (pH) significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.

Varía entre 0 y 14 unidades de pH, de tal forma que 7 se considera un pH neutro. Las disoluciones por debajo de 7 se consideran ácidas y por encima básicas o alcalinas. El agua natural se pone como ejemplo de solución neutra, porque normalmente tiene un valor cercano a 7 (6 – 8,5 unidades de pH).

La **conductividad eléctrica** es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. Un agua muy pura tiene una conductividad

eléctrica muy baja, mientras que aguas muy salinas (salmueras) tienen un valor elevado en este parámetro. Por tanto, la conductividad eléctrica permite tener una idea de la salinidad del agua.

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

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

Tabla 1: valores característicos de conductividad eléctrica y salinidad de diferentes tipos de aguas

| TIPO DE AGUA | Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) |
|--------------------|---|
| Aguas frías | < 20 $^{\circ}\text{C}$ |
| Aguas hipotermales | 20 $^{\circ}\text{C}$ - 35 $^{\circ}\text{C}$ |
| Aguas termales | >35 $^{\circ}\text{C}$ |

Tabla 2: valores de temperatura de las aguas subterráneas

En cuanto a la temperatura, las aguas subterráneas pueden llegar a alcanzar los 150 $^{\circ}\text{C}$. No obstante, son mucho más frecuentes las denominadas aguas frías, cuya temperatura no supera los 20 $^{\circ}\text{C}$.

Las aguas subterráneas en Llosa Na Molins se han muestreado desde abril de 2007 a enero de 2013.

Su valor medio de conductividad eléctrica es de 1.620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir, se trata de **agua potable** según este parámetro.

El contenido en cloruros varía entre 297 mg/L y 99 mg/L, con una concentración media de 231 mg/L.

Su temperatura varía entre 17,4 y 21,88 $^{\circ}\text{C}$.



Foto 20: Medida del nivel piezométrico mediante sonda.



Foto 21: Toma de una muestra de agua subterránea en un piezómetro mediante tubo tomamuestras.



Foto 22: Toma de muestra de agua en la Albufera de Valencia (embarcadero de la gola de Pujol) y medida de parámetros "in situ" (temperatura, pH y conductividad eléctrica).

PARADA 6: ULLAL DE BALDOVÍ

Desde la parada 5 en Llosa Na Molins deberemos retroceder hasta el camino asfaltado y continuar por el mismo en sentido norte hasta encontrar los carteles indicadores del desvío al “Ullal de Baldoví” (Foto 23). Tomaremos el camino de tierra y recorreremos unos 350 m hasta el área de Na Molins (Foto 24), donde se ha acondicionado una senda con tabloncillos de madera que bordea parcialmente el ullal (Foto 25) y permite acceder a un mirador de aves (Foto 26).

Todo este recorrido, de unos 1.700 m., debe realizarse con precaución, aunque se transite por una carretera de poco tráfico.



Foto 23: Carteles indicadores del “ullal de Baldoví”.



Foto 24: estacionamiento del área de Na Molins. Acceso al ullal de Baldoví y al observatorio de avifauna.

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



Foto 25: camino de tabloncillos alrededor del ullal de Baldoví



Foto 26: ullal de Baldoví y mirador de aves (al fondo)

El Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, establece los criterios sanitarios de la calidad del **agua de consumo humano**. En el mismo se fijan los límites de potabilidad que deben cumplir las aguas de abastecimiento.

Por tanto, las aguas embotelladas también deben cumplir esta normativa y que todos sus parámetros se encuentren por debajo de los límites de potabilidad. En su etiquetado se muestran algunos datos como el lugar del manantial, empresa embotelladora, laboratorio que realiza el análisis y varios datos químicos que dan idea de su grado de pureza.



Figura 12: muestra de etiquetas de aguas embotelladas



Foto 27: Vista general del ullal de Baldoví

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por la ayuda prestada para llevar a cabo el HIDROGEODÍA 2022 al **Excelentísimo Ayuntamiento de Sueca**, así como a los gestores del **Parque Natural de la Albufera** y a la empresa **Aigües Sueca**.

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

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA VALENCIA 2020

Coordinación y redacción:

Jose Antonio Domínguez Sánchez
(Hidrogeólogo - IGME)

Monitores:

Silvia Rosado Piqueras (Técnico – IGME)

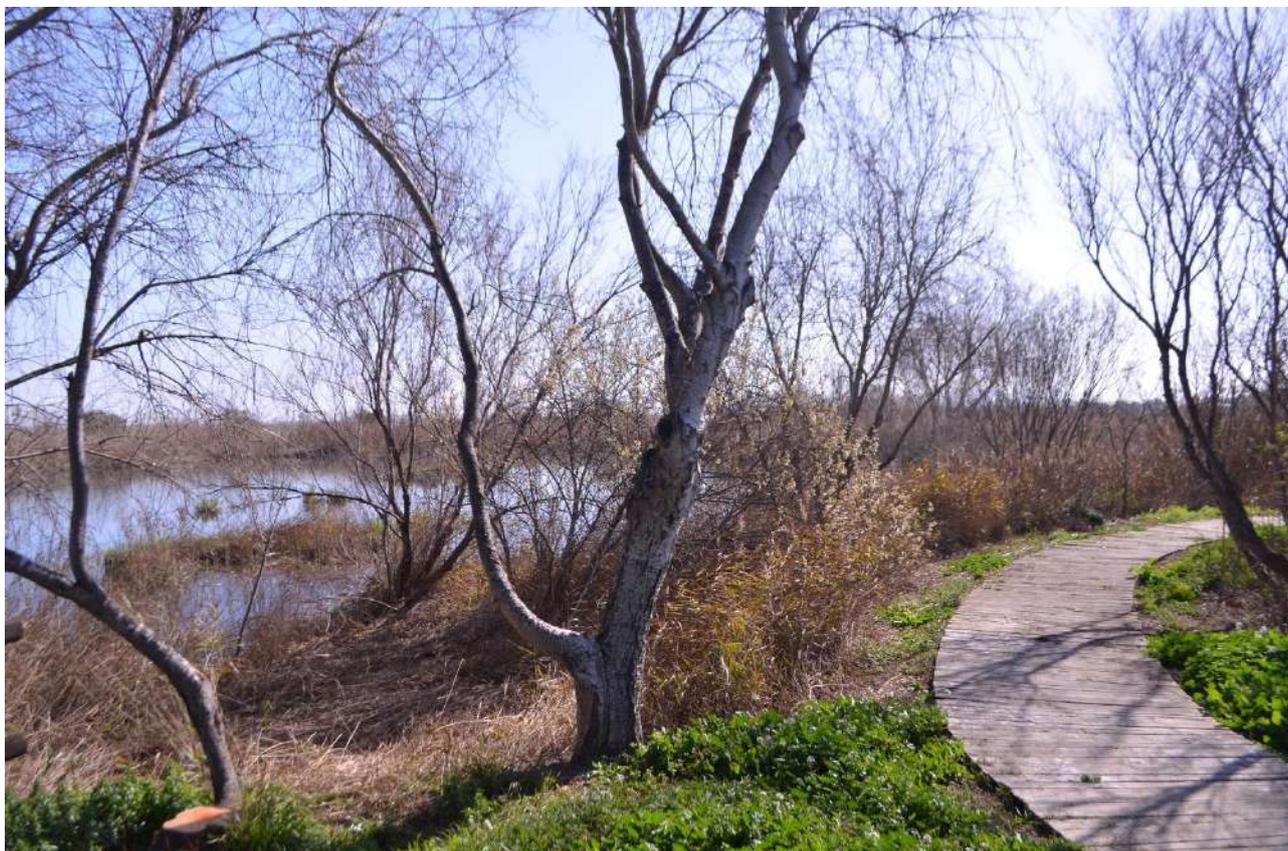
Arianna Renau Pruñonosa
(Hidrogeóloga – UJI)

Belén Sánchez (Hidrogeóloga - FACSA)

Remedios Pérez Zuriaga (Periodista)

Eduardo Ruiz-Dorizzi Ordóñez
(Hidrogeólogo)

José Oriol Navarro Odriozola
(Hidrogeólogo)



PARA SABER MÁS

ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES

- Ballesteros Navarro, B.J. (2003). Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: litoral mediterráneo. Comentario a “Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas”. Ed.: J.M. Fornés y M.R. Llamas. Fundación Marcelino Botín. ISBN: 84-95516-62-4. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-097-9. Madrid 2003
- Cueva de Castañar. Monumento natural (2015). Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura.
Depósito Legal: BA-0590-2015
I.S.B.N.: 978-84-8107-087-3
- López Geta, J.A.; Fornés Azcoiti, J.M.; Ramos González, G. y Villarroya Gil, F. (2009): Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo (Instituto Geológico y Minero de España)
- Miguel Mondría García (2003): Estudio para el desarrollo sostenible de la Albufera de Valencia (Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- Morales García, R; Domínguez Sánchez, J.A.; Durán Valsero, J.J.; Vega Martín, L; Rodríguez Hernández, L.; Hernández Bravo, J.A.; Fernández Mejuto, M. (2016) Génesis de los enclaves kársticos de mayor interés patrimonial de Alicante. Una

aproximación para su geoconservación y aprovechamiento sostenible. CUEVATUR 2016. VI CONGRESO ESPAÑOL SOBRE CUEVAS TURÍSTICAS “El karst y el Hombre: Las Cuevas como Patrimonio Mundial”. Nerja, del 29 de septiembre al 1 de octubre de 2016.

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano
- Romero Pavía, P. El abastecimiento de Castellón (ITGE).

PÁGINAS WEB

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

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

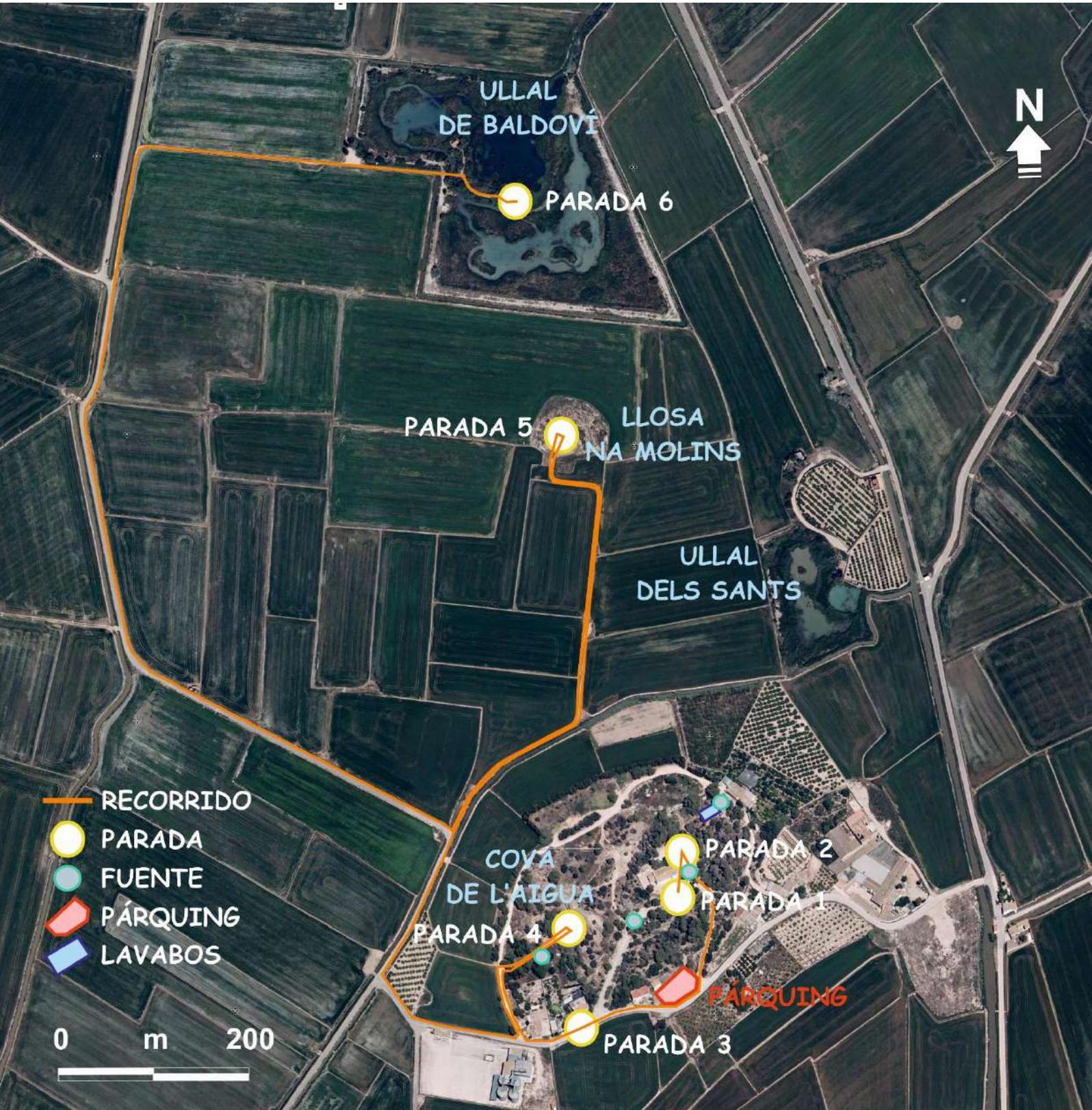
<http://www.igme.es/LibrosE/RuAzAlicante/libros.htm>

<https://rutasazulesalicante.es/>

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

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

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA VALENCIA 2020





Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



26 de marzo de 2022

LOS OJOS DE PONTIL: UN MANANTIAL PRESERVADO

COLABORAN:

 Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza

 CHE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA
EBRO

 Excmo. Ayuntamiento de Rueda de Jarán

CONCURSO ESCOLAR:

 
2022 Groundwater
Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español (AIH - GE)

22 de marzo de 2022 - Día Mundial del Agua
"Aguas subterráneas, hacer visible lo invisible"
Concurso del Agua Subterránea, 2022

 PARTICIPA

EL HIDROGEODÍA

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

Esta jornada está promovida por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y ha sido organizada por el CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR) y el Excmo. Ayuntamiento de Rueda de Jalón.

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 2022** se celebra el 26 de marzo y tiene como temática “Los Ojos de Pontil: Un manantial preservado”.

Se llevará a cabo una visita guiada en el entorno del manantial de Ojos de Pontil, en la que se han previsto dos paradas:

- 1) Ojos de Pontil (Rueda de Jalón)
- 2) “El Geiser de Aragón” (Pozuelo de Aragón)

ITINERARIO

El punto de encuentro será en la C/ Violante de Hungría 7, a la altura del Auditorio de Zaragoza, junto a la parada de los autobuses 35, 53 y Ci2 (Figura 1).



Figura 1. Vista del punto de encuentro en la calle Violante de Hungría 7 (Auditorio de Zaragoza).

Recepción. 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 Rueda de Jalón.

Parada 1. Se visitará el manantial de **Ojos de Pontil**, una de las surgencias de agua subterránea localizada cerca de la población de Rueda de Jalón (Figura 2).



Figura 2. Manantial de Ojos de Pontil.

Allí se realizará una descripción geológica e hidrogeológica de la zona. En este punto se explicará el origen y el funcionamiento de este humedal, la forma en la que ha circulado el agua subterránea por el acuífero que ha dado lugar a sus especiales características. A continuación, se dispondrá de un corto espacio de tiempo libre para poder pasear por el entorno. Además, antes de continuar con la excursión, haremos una breve parada técnica de una media hora en el bar de Rueda de Jalón para quién necesite ir al baño.

Sobre las 12:30 cogeremos de nuevo el autobús que nos llevará hasta la siguiente parada junto a Pozuelo de Aragón.

Parada 2. En esta parada se explicarán algunos aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos relacionados con el sondeo surgente denominado “Geiser de Aragón”.

Se explicarán aspectos relacionados con la procedencia del agua y formación de precipitados a su alrededor (Figura 3).



Figura 3. Sondeo Surgente (Geiser de Aragón).

CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Desde el punto de vista hidrogeológico, tanto el manantial de los Ojos de Pontil como el sondeo surgente de Pozuelo de Aragón se localizan en la Masa de Agua Subterránea ES091MSBT072 Somontano del Moncayo.

El ámbito geológico de esta masa de agua subterránea se engloba en el borde norte de la rama aragonesa de la cordillera Ibérica, en su zona de contacto con la depresión terciaria del Ebro. Alberga una amplia serie de materiales con edades comprendidas desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

Los materiales más antiguos afloran en las cumbres de las sierras del Moncayo y de Tabuenca. Orlando estos afloramientos paleozoicos se localiza el Triásico, fundamentalmente representado por las facies detríticas del Buntsandstein (areniscas, lutitas y conglomerados). Muschelkalk y Keuper afloran con muy poca extensión en las proximidades de la localidad de Ainzón.

El Jurásico se localiza en la zona del anticlinorio de Litago, en los anticlinorios de Veruela y Calatorao y en pequeños afloramientos al NE del horst de Tabuenca.

En el sector NE se localizan unos afloramientos del Cretácico inferior (conglomerados, areniscas y limonitas del Grupo Tera).

El Terciario ocupa toda la franja NE de la masa de agua subterránea, en contacto con la cuenca terciaria del Ebro. En el interior, el sinclinal de La Cabota, está relleno por materiales de esta edad.

Finalmente, el Cuaternario está representado por aluviales que alcanzan su máximo desarrollo en las terrazas de los ríos Huecha y

Jalón, así como en los glacis que tapizan el contacto entre las sierras de Moncayo y Tabuenca con la depresión del Ebro.

El acuífero principal está compuesto de carbonatos mesozoicos de distintas edades, que tienen un espesor conjunto del orden de 750 m. Afloran a lo largo de una banda continua de dirección NO-SE, emplazada al NE del anticlinorio de la Sierra del Moncayo. Constituye un acuífero kárstico por fisuración con un grado de karstificación muy variable, encontrando en las formaciones carbonáticas del Lías inferior (Formación de dolomías tableadas de Imón, facies de carniolas de Cortes de Tajuña y calizas tableadas de la formación Cuevas Labradas) unas excelentes condiciones hidrogeológicas, con un comportamiento kárstico de tipo difuso.

Hacia el O, el acuífero queda fosilizado bajo los sedimentos neógenos de la cuenca del Ebro. Hacia el NE, encuentra su límite en la traza de la falla Noribérica, que sigue una alineación desde Tarazona-Borja-Bureta-Pozuelo de Aragón hasta el río Jalón. El zócalo paleozoico y las formaciones mesozoicas muestran en profundidad una disposición cabalgante sobre los materiales terciarios paleógenos, generándose a favor de estas estructuras unas barreras hidrogeológicas que interrumpen la continuidad de los flujos regionales y obligan a los flujos de agua a tomar un camino ascendente, atravesando los materiales de baja permeabilidad del terciario en las zonas de rebose de las escamas. Estos flujos son los responsables en la superficie de los drenajes más destacados de la zona, entre ellos el que da lugar a los Ojos de Pontil (Figura 9), pero también los manantiales de Santa Ana en Pozuelo de Aragón (Figura 14) o el de San Juan, en Tarazona.

Otro acuífero presente en la masa de agua subterránea, aunque de menor interés, es el formado por conglomerados miocenos, de unos 200 m de espesor. Es un acuífero

permeable por fisuración o fracturación y su importancia reside en que estos materiales son receptores de los flujos procedentes del acuífero del Lías (acuífero de Tarazona, ver corte I). Están dispuestos subhorizontalmente y contienen numerosos cambios laterales de facies.

Finalmente, los materiales aluviales y de glaciocuaternarios pueden constituir acuíferos locales de menor importancia.

LOS HUMEDALES A LO LARGO DEL TIEMPO

Durante siglos los humedales han sido considerados lugares insalubres y fuente de plagas y enfermedades, como fiebres o calenturas, que era como antaño se conocía a la malaria.

En 1342 el médico valenciano Andrés Piquer escribía en su Tratado de las Calenturas que “los vapores corruptos que exhalaban los arrozales contagiaban a sus moradores”. Es por ello que los esfuerzos por desecar toda clase de humedales se remontan a la Edad Media.

Quinientos años más tarde, en 1880, se descubre que es un parásito el causante de la malaria y, poco después, que los mosquitos son los transmisores de la enfermedad. Es entonces cuando se radicaliza la cruzada contra los humedales y en 1895 se aprueba un Decreto que declaraba zonas insalubres a las lagunas y terrenos pantanosos y encharcados.

A principios del siglo XX las condiciones de higiene y salubridad pública todavía eran muy malas. En 1910 la «Inspección para el Saneamiento del Campo» estimó que para controlar la enfermedad había unas 400.000 ha de humedales por desecar. Poco después, en 1918, se aprueba la Ley Cambó, un documento impulsado por el entonces ministro de Fomento, Francisco Cambó, que

buscaba la desecación de las zonas húmedas en España, que ha estado vigente hasta 1985. Promovía la desecación de humedales para lo que ofrecía todo tipo de facilidades, incluso la propiedad de la tierra, con lo que se acelera la desecación de miles de hectáreas por todo el país.

Aunque los intentos por acabar con los humedales se remontan a muy antiguo, no cabe duda de que alcanzó su mayor impulso a mediados del siglo pasado.

Se estima que en los últimos años se ha perdido más del 60 % de las zonas húmedas del país. Alguno de los más significativos en nuestra Comunidad Autónoma es la Laguna El Cañizar (Teruel), de unas 1.200 ha, fue desecada en 1732. En 2013 se inició la recuperación de 411 hectáreas y hoy es uno de los humedales más importantes de Aragón. Algunos han resistido, como Gallocanta, que se intentó desecar en 1897 o el caso que nos ocupa, Los Ojos de Pontil.

En la actualidad, lejos queda la impresión de insalubridad y de foco de infecciones que se tenía de las lagunas y marismas, pero estos ecosistemas aún no han escapado del riesgo de desaparición. Precisamente la celebración del Día Internacional de los Humedales ha servido para llamar la atención sobre la conservación de estos espacios naturales.

PARADA 1. OJOS DE PONTIL

A unos 1,2 km de Rueda de Jalón en dirección WNW, en la margen izquierda del río Jalón, se sitúa el espacio natural conocido como los Ojos de Pontil. El perímetro, de unas 6 ha, se encuentra vallado y está gestionado por el Ayuntamiento de Rueda de Jalón (Figura 4).

Está catalogado como Humedal Singular de Aragón (D207/2010 Gobierno de Aragón) y como Punto de Interés Geológico de Aragón (D274/2015 Gobierno de Aragón).

Los manantiales de Ojos de Pontil constituyen el principal punto de descarga natural junto al río Jalón del drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica en la depresión terciaria del Ebro.



Figura 4. Situación de los Ojos de Pontil y vista aérea de la zona.

EL RECORRIDO DE LAS AGUAS DESPUÉS DE MANAR

Se trata de una zona húmeda, compuesta por al menos cinco “ojos” o surgencias, de dimensiones métricas, englobadas en un

entorno palustre. El agua mana en los Ojos y discurre a través de una acequia que va a parar a los llamados “módulos” o “agujas” (Figura 5). El repartidero (módulo) que encontramos a la salida del humedal, divide el caudal recogido hacia dos acequias diferentes: la de Pontil, y la de Caulor – también conocida como de Plasencia o de Longás–. Ambas riegan el término de Rueda de Jalón, mientras que la de Caulor lo hace también, aguas abajo, en Urrea de Jalón, Plasencia de Jalón y Bardallur.

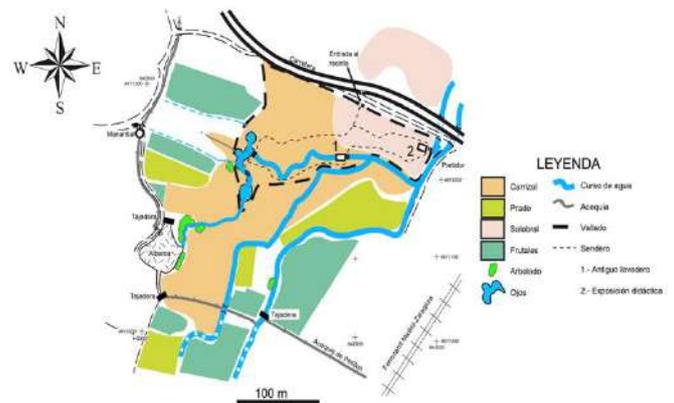


Figura 5. Plano de los Ojos de Pontil y distribución de las acequias de riego.

Consiste en un azud con un labio de más de 10 metros de longitud que mantiene una carga hidráulica constante sobre la toma de la acequia de Pontil, estimada en unos 150 l/s, regando unas 90 ha. Mientras que el resto del caudal, es decir, el que salta por encima del azud, no es constante y se recoge en la acequia de Caulor (Figura 6).

Existe una tercera acequia, denominada de Pinillos, que parte de un manantial situado al oeste de los Ojos, unos dos metros por encima de la lámina de agua del humedal principal. El escaso caudal de esta fuente –unos 10 l/s– es conducido a la alberca y desde allí domina unas 25 hectáreas de zona regable. Se recuerda que antiguamente a través de esta acequia sólo podía regar el referido “Pinillos”,

que tenía la propiedad del agua que discurría por el citado canal.

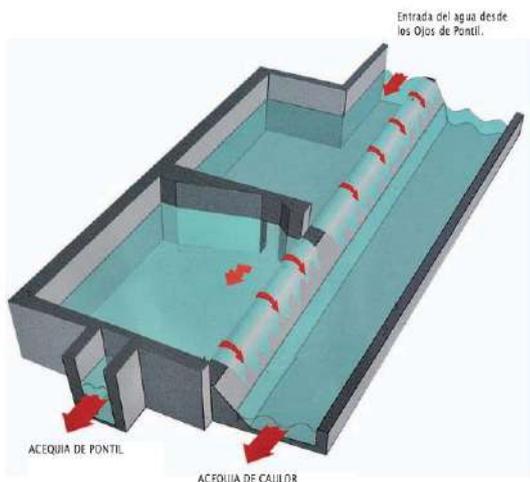


Figura 6. Esquema del módulo o repartidero que divide el caudal de las acequias.

Actualmente se calcula que todas estas aguas que manan en los Ojos de Pontil riegan 563 hectáreas de las huertas y frutales que se disponen en las fértiles orillas de la vega del Jalón, ayudando así notablemente al mantenimiento de una importante industria hortofrutícola en esta zona de Aragón, en la que destaca la llamada “pera de agua”.

HISTORIA

El agua del humedal de los Ojos de Pontil – antiguamente llamado “El Prado” o “Los Prados”– fue propiedad de la familia árabe Banu Hud hasta el siglo XII, gobernadores de Zaragoza, pasando con posterioridad a manos de los Condes de Aranda.

Hacia el año 1398, como consecuencia del Fuero “aprehensionibus” que sancionó el rey D. Martín en Zaragoza, esta potestad pasó a beneficio de los habitantes de Rueda de Jalón, fundándose en 1670 la Hermandad de Regantes del Río Pontil, con el fin de lograr un buen aprovechamiento del agua.

El uso y aprovechamiento del agua en esta zona puede resumirse en una etapa relativamente reciente de usos tradicionales: utilización del agua y la vegetación, pesca, pastos para el ganado y construcción del lavadero, seguida de otra etapa posterior –a mediados del siglo XX– derivando en la ocupación, transformación y modificación del territorio –mediante cultivos agrícolas, nuevos tendidos, carreteras, usos de productos fitosanitarios, sobreexplotación de acuíferos– hasta la degradación del espacio Los Ojos, pasando de las más de 12 hectáreas que tuvo, a las 6 hectáreas actuales.

La recuperación y puesta en valor de este humedal se proyectó en el año 2001 por Bernardo Lario y el Ayuntamiento de Rueda de Jalón, e impulsado por sus vecinos a través de la Asociación de Defensa Medioambiental Ojos de Pontil, quienes han desarrollado en los últimos años numerosas actuaciones de acondicionamiento, vallado y protección de 3 hectáreas, con tareas de voluntariado, señalización de itinerarios y educación ambiental.

HIDROGEOLOGÍA

Los llamados “ojos” son manantiales de agua subterránea que, al salir a superficie, dan lugar a pequeñas lagunas o zonas húmedas rodeadas de vegetación acuática, como el junco o el carrizo.

Este tipo de humedales lo encontramos también en otros lugares de Aragón como en los Ojos de Fuentes Claras, Caminreal y Monreal del Campo, en la provincia de Teruel, o ya en la provincia de Zaragoza los ojos de Cimballa, el Ojo de San Juan en Tarazona, los Ojos del Cura y del Fraile en Casetas (visitados en el Hidrogeodía 2019-Zaragoza) o, a pocos kilómetros al sur de Rueda de Jalón, los Ojos de Toroñel.

La descarga de aguas subterráneas de los Ojos de Pontil (Figura 7), proviene fundamentalmente de la infiltración del agua de lluvia sobre formaciones permeables y de infiltración de escorrentía en barrancos que atraviesan las calizas jurásicas que afloran en los relieves montañosos del Somontano del Moncayo, Monegré y la Sierra de la Nava Alta, situados al noroeste.

Esta agua de lluvia se filtra a través del terreno hasta llegar al acuífero, convirtiéndose en agua subterránea. Esta se incorpora al acuífero y va desplazándose lentamente a gran profundidad a través de los poros y fracturas de las rocas carbonatadas.

En función de la orografía, podemos encontrar en algunas zonas el nivel piezométrico (profundidad a la que se encuentra el agua subterránea) a más de 100 metros de profundidad, mientras que, en otras, el nivel puede situarse por encima del terreno, dando lugar a pozos surgentes.



Figura 7. Humedal de los Ojos de Pontil.

El agua se desplaza en profundidad a través del acuífero hasta que se enfrenta a litologías muy poco permeables o con una falla en el terreno (fractura de la corteza terrestre que va acompañada de un deslizamiento de uno de los bordes), que corta al acuífero y lo pone en contacto con materiales impermeables. Estos impiden el avance del agua, que se ve

obligada a rebosar la estructura ascendiendo hacia la superficie a través de materiales de baja permeabilidad. En el caso que nos ocupa, la falla coincide con el contacto geológico entre la cordillera Ibérica (donde están presentes los materiales carbonatados) y la cuenca terciaria de la depresión del Ebro (con predominio de materiales yesíferos y arcillosos, como los que forman el escarpe sobre el que se asienta el castillo de Rueda de Jalón).

El caudal medio del conjunto de ojos es de unos 400 litros por segundo, lo que correspondería con un aporte de unos 12,5 hm³/año (suficiente agua para llenar la basílica del Pilar en poco más de seis días).

Este mismo acuífero descarga también al Jalón, poco más arriba, cerca de Épila, unos 4,5 hm³/año en los Ojos de Toroñel, así como en otras surgencias menores en los manantiales de Abarquetes, Fuendejalón, las Heras y Santa Ana. En los Ojos de Pontil se puede apreciar de forma muy clara como el agua surge a través del fondo arenoso, con aguas limpias, transparentes, de color azul turquesa (Figura 8). Esto se observa a simple vista por las ondas y círculos que se dibujan en el lecho arenoso resultado de un borboteo constante, que parece generar pequeños volcanes de agua y arena.



Figura 8. Borboteo de las aguas subterráneas al surgir a través del fondo arenoso.

TEMPERATURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA

El agua mana en los Ojos a una temperatura constante durante todo el año de unos 22,4 °C. Pueden calificarse como de “hipotermales” o de baja termalidad. Aunque no se trate de aguas muy calientes, su temperatura es bastante más alta que la temperatura media anual de la zona, de unos 14 °C. Este contraste térmico es más llamativo en invierno cuando las temperaturas en la superficie son más bajas, llegando a observarse en ocasiones el vapor generado.

El valor de la temperatura en el punto de surgencia se alcanza gracias al gradiente geotérmico, fenómeno por el que se incrementa la temperatura en 1 grado centígrado aproximadamente cada 33 metros que se profundiza en el subsuelo. El agua que surge en los Ojos ha recorrido una distancia importante y ha alcanzado una profundidad suficiente como para calentarse debido a este gradiente geotérmico. En profundidad posiblemente alcance temperaturas algo más altas, pero durante su lento ascenso pueden perder algo de temperatura, incluso mezclarse con otros flujos someros de aguas más frías que contribuyen a definir sus propiedades actuales en el punto de surgencia.

La composición química del agua es sulfatada cálcica. La abundancia relativa de estos iones frente al resto de componentes mayoritarios del agua se debe fundamentalmente a la disolución de los materiales evaporíticos (yesos y anhidritas) que se localizan en profundidad y en el acuífero Jurásico inferior, como han puesto en evidencia varios sondeos profundos en la zona. Además, el grado de mineralización o salinidad de las aguas subterráneas es función del tiempo de residencia del agua en el acuífero, es decir, el

lapso de tiempo transcurrido durante la circulación por el acuífero, momento en el que se produce la disolución de las rocas a través de las que circulan y que conforman la estructura del acuífero. Por tanto, la mineralización está también en parte relacionada con la profundidad que alcanza el agua: a mayor profundidad, mayor tiempo de tránsito a través del acuífero y, por tanto, se produce una mayor disolución que acaba incrementando la mineralización del agua subterránea.

Asimismo, un incremento de la temperatura en profundidad favorece parcialmente el proceso de disolución de las rocas del subsuelo, que como hemos descrito acaba aumentando la concentración en sales minerales del agua subterránea.

Análisis de Tritio –un isótopo del hidrógeno– realizados hace tres décadas en el agua de los Ojos (San Román, 1994) arrojaron valores bajísimos del isótopo. Sabiendo que este elemento estaba prácticamente ausente en la atmósfera hasta las explosiones termonucleares ocurridas entre 1954 y 1964, puede deducirse que el tiempo medio del “viaje” del agua en el acuífero es cercano a los 30 años.

En conclusión, el agua que encontramos en los Ojos ha estado mucho tiempo en contacto con el acuífero, disolviéndolo y adquiriendo una composición química que se asemeja a la composición de los materiales rocosos por los que ha circulado. Se trata de un agua de mineralización media, con algo más de un gramo de sales disueltas por litro de agua. Tanto la composición química, como la temperatura constante a la que emergen sus aguas (22,4 °C), ponen de manifiesto que se trata de un acuífero profundo. Si tenemos en cuenta que la temperatura media de la zona son unos 14 °C, deducimos que el agua ha

circulado por el subsuelo alcanzado al menos una profundidad de unos 300 metros.

EL ACUIFERO

El río Jalón pasa muy cerca de los Ojos de Pontil, aunque al contrario de lo que podría esperarse no es el río el que aporta agua al humedal sino al contrario.

El Jalón nace en las proximidades de Medinaceli, en la provincia de Soria, y discurre libre, sin grandes presas o regulaciones, a lo largo de 223 kilómetros, siendo afluente del Ebro por su margen derecha. Su vocablo procede precisamente de las abundantes “jalonadas” que anegaban la vega en las épocas de crecidas e inundaciones.

Las aguas de los “Ojos de Pontil” no están relacionadas con el río Jalón. Esto queda evidenciado por sus características físicas, químicas e isotópica muy diferentes a las del río, además de por la constancia tanto de los caudales surgentes como de la temperatura a la que mana durante todo el año. Así pues, no son aguas del río Jalón sino aguas de un acuífero profundo, en concreto, procedentes del acuífero carbonatado mesozoico del Lías inferior (Jurásico), situado a más de un centenar de metros de profundidad.

El funcionamiento hidrogeológico del acuífero regional y del humedal de Ojos de Pontil se conoce fundamentalmente gracias a los trabajos de Andrés de Leiva (geólogo de la Diputación de Zaragoza,) y la tesis doctoral de Javier San Román (1994).

El acuífero carbonatado mesozoico es el principal acuífero de la cordillera Ibérica, extendiéndose al sur de las sierras paleozoicas de la cordillera, desde el río Queiles hasta prácticamente el Matarraña. Sus afloramientos son una pequeña parte de su

extensión ya que están cubiertos por materiales terciarios de la cuenca del Ebro. Precisamente, el contacto mediante la falla noribérica entre este acuífero profundo y los materiales poco permeables de la cuenca terciaria del Ebro son la causa principal de la surgencia del agua en los “Ojos” (Figuras 9 y 10).

A lo largo de la línea de falla se sitúan manantiales que tienen características y funcionamiento similar al de Ojos de Pontil, como son los de Arnedillo, Fitero, Borja, Mediana de Aragón o Ariño, siendo las manifestaciones más relevantes del proceso denominado “drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica”.

Las aguas de precipitación se infiltran en los afloramientos calizos de la cordillera, en algunos casos los ríos pierden sus aguas al llegar a los afloramientos de calizas, como sucede con el río Huecha en Alcalá de Moncayo, o el río Jalón en Ricla. El agua circula por los huecos de las calizas, descendiendo hasta alcanzar un nivel impermeable, que corresponde a las arcillas y yesos de las facies Keuper. Como ya no puede descender más continúa lateralmente por el nivel permeable más profundo del mesozoico, que corresponde a las carniolas del Lías.

Las carniolas del Lías resultan ser tremendamente porosas proporcionando valores muy altos de permeabilidad; constituyen un acuífero excepcionalmente bueno que encauza gran parte de la circulación del agua subterránea de las formaciones carbonatadas del mesozoico. Cuando este acuífero choca lateralmente con materiales poco permeables, el agua busca un camino natural por el que continuar su recorrido, que lo encuentra en este caso ascendiendo hasta la superficie, originando en su salida los Ojos de Pontil.

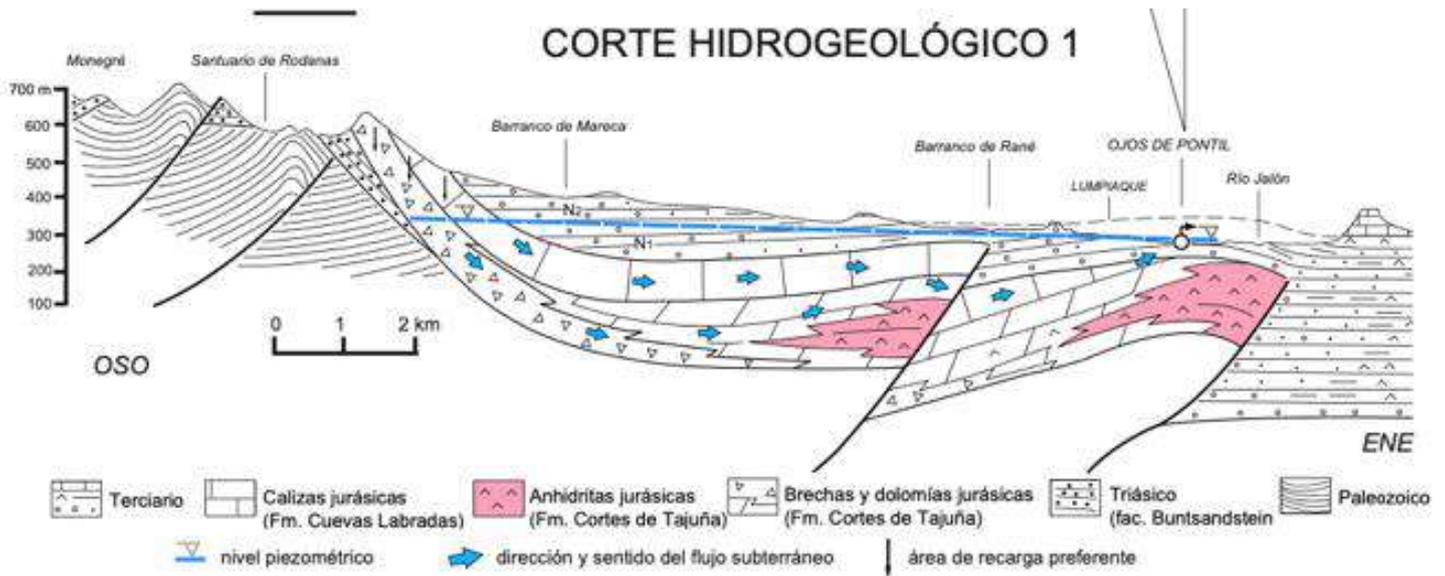
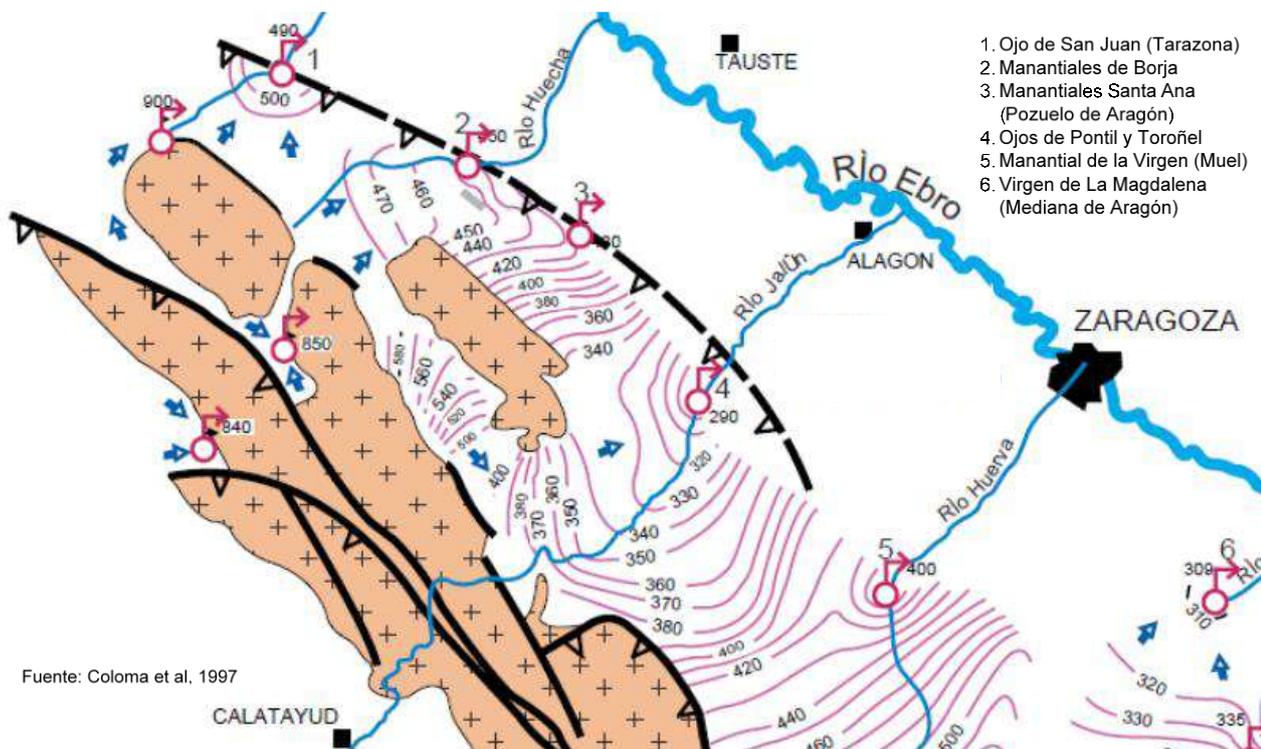


Figura 9. Corte hidrogeológico del drenaje subterráneo de la cordillera Ibérica en la depresión terciaria del Ebro (Coloma, 2004).

Mapa de Isopiezas del acuífero carbonatado mesozoico (Jurásico Inferior)



1. Ojo de San Juan (Tarazona)
2. Manantiales de Borja
3. Manantiales Santa Ana (Pozuelo de Aragón)
4. Ojos de Pontil y Toroñel
5. Manantial de la Virgen (Muel)
6. Virgen de La Magdalena (Mediana de Aragón)

Fuente: Coloma et al. 1997

Figura 10. Mapa de isopiezas del acuífero carbonatado mesozoico (Jurásico inferior).

PARADA 2. EL GEISER DE ARAGÓN

A unos 400 m de Pozuelo de Aragón en dirección Fuendejalón se encuentra una señalización que indica “Geiser” y un camino que nos conduce hacia el sur hasta un gran surtidor natural de agua, de varios metros de altura, bien visible en mitad del campo, con los relieves de la sierra de la Nava Alta y el Moncayo al fondo (Figura 11).

La aparente similitud entre esta surgencia natural y los espectaculares chorros de agua o géiseres que se encuentran en ciertos lugares del planeta, como en el Parque Nacional de Yellowstone o en Islandia, ha propiciado que se le denomine de forma popular como “Geiser de Aragón”. Pero la explicación sobre la génesis de la surgencia de Pozuelo de Aragón nada más lejos queda de la naturaleza hidrotermal de los auténticos géiseres, que tienen su origen en la circulación de agua por zonas volcánicas de alta temperatura.

Lo que aquí se observa es, por el contrario, uno de los pozos artesianos surgentes más singulares de la comarca del Somontano del Moncayo, es un Punto de Interés Geológico de Aragón y como tal queda recogido en el Decreto 274/2015, de 29 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Catálogo de Lugares de Interés Geológico de Aragón y se establece su régimen de protección (BOA 4-11-2015).

Los pozos artesianos se descubrieron hacia el año 1100 en Flandes y décadas más tarde en el sureste de Inglaterra y en el norte de Italia. Aunque también hay evidencias históricas de que las antiguas civilizaciones de Egipto, China, Persia y Siria desarrollaron técnicas de construcción y extracción de agua que mantenían los pozos activos.

La palabra artesiano procede de la región francesa de Artois. Durante la Edad Media,

hacia el siglo XII, se hicieron famosos en la región un tipo de perforaciones y pozos (“puits artésian” o pozos de Artois) que manifestaban un fenómeno singular al atravesar ciertas capas del subsuelo, por el que se observaba una rápida elevación del agua hasta que estabilizaba en una determinada profundidad, incluso, cuando confluían algunas condiciones particulares, el agua se elevaba a alturas superiores a la de la superficie del suelo sin la necesidad de utilizar sistemas mecánicos de elevación o bombeo.

Con el desarrollo de técnicas más modernas de perforación y la proliferación de los trabajos para la explotación de las aguas subterráneas en la cuenca de Paris, que buscaban tener resultados semejantes a los obtenidos siglos atrás en Artois, el término se hizo extensivo y llegó a popularizarse durante el siglo XIX. Hoy en día el vocablo está en desuso y se ha ido sustituyendo por el de “pozos surgentes” en el caso particular que el agua se eleve por encima de la superficie del terreno. Por tanto, se pueden observar fenómenos de artesianismo, simplemente cuando se observa un ascenso del nivel el agua subterránea dentro del pozo, y un artesianismo con surgencia de agua o pozo surgente, como es el caso que aquí se trata.

Ambos fenómenos, el artesianismo y la surgencia, pueden explicarse por la diferente presión hidrostática a la que se encuentra sometida el agua en las formaciones permeables. Así, en este sentido, en función de la presión hidrostática del agua se pueden distinguir tres tipos principales de acuíferos, tal y como se observa en la Figura 12.

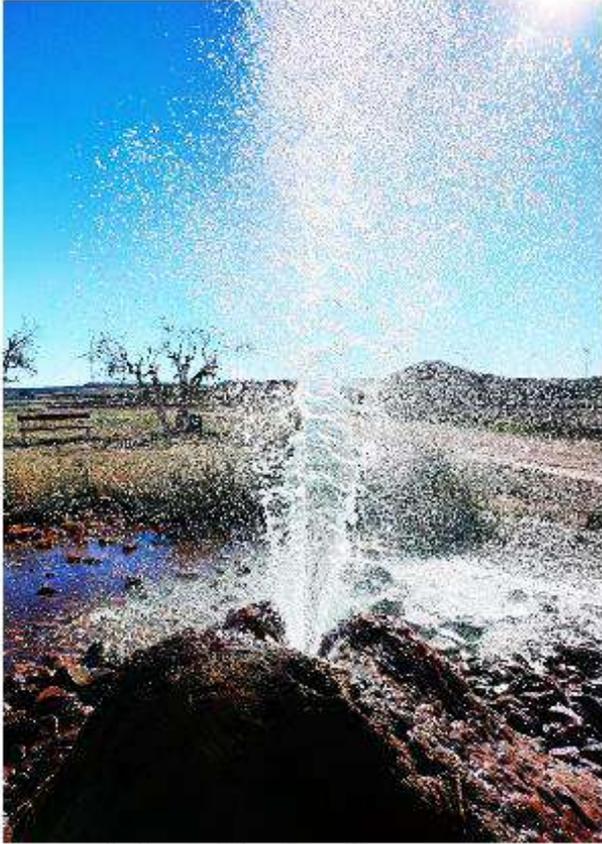


Figura 11. A la izquierda, el sondeo surgente Z-50 de Pozuelo de Aragón en la actualidad (foto E. Garrido); a la derecha, situación del sondeo hacia el año 1990 (foto J. San Román).

- **Acuíferos libres, no confinados o freáticos:** aquellos en los que el agua forma una superficie real dentro de la formación permeable, que está en contacto con el aire de la zona no saturada. Esta superficie está sometida a la presión atmosférica por lo que cuando se perforara un pozo en estos acuíferos y se llega al agua, esta alcanza un nivel freático en esa misma posición o profundidad. Todos los pozos que atravesaran este tipo de acuíferos generarían una superficie real denominada superficie freática. Un caso particular lo constituyen los acuíferos colgados, cuyo nivel freático no representa el nivel de base regional o no está conectado con ríos o cursos significativos de agua.
- **Acuíferos confinados, cautivos o a presión.** El techo de estas formaciones permeables está sometido a una presión superior a la atmosférica, pues además han de

soportar una presión litostática debido al peso de un espesor considerable de sedimentos impermeables que recubre la superficie de estos acuíferos. En consecuencia, cuando un pozo perfora la superficie de estos acuíferos se observa un rápido ascenso del agua por su interior hasta que estabiliza a una profundidad determinada denominada nivel piezométrico. Todos los niveles de los pozos que atravesaran este mismo acuífero definirían una superficie imaginaria denominada superficie piezométrica.

Los pozos en estos acuíferos se denominan artesianos o a presión y, como se ha comentado, se conocen como pozos surgentes cuando el nivel piezométrico queda a una cota superior a la de la boca del pozo, como es el caso el sondeo Z-50 que se visita.

En estos casos, para medir la altura que alcanza el nivel es preciso cerrar completamente la boca del pozo e instalar manómetros que registren la presión o los metros de columna de agua que se elevan

sobre la superficie del terreno. El agua de estos pozos procede del almacenamiento elástico de la formación, siempre y cuando el nivel piezométrico se halle por encima del techo del acuífero, por lo que el nivel piezométrico resulta muy sensible a perturbaciones ambientales y cambios de presión atmosférica, que se traducen en importantes oscilaciones de nivel.

- **Acuíferos semiconfinados o semicautivos.** Son un caso particular de los acuíferos cativos, en los que su parte inferior (muro), superior (techo) o ambas superficies no están en contacto con materiales impermeables si no con acuitardos o formaciones que permiten una muy lenta filtración, que acaba alimentando al acuífero en cuestión a partir de otros acuíferos situados encima o debajo del semiconfinado. Esta transferencia vertical será posible siempre y cuando exista una diferencia de potencial entre los dos acuíferos y su sentido vendrá marcado por la relación de potenciales, desde el que ostenta mayor potencial hacia el que tiene menor potencial, con independencia de la posición relativa que ocupen las dos formaciones permeables en profundidad.

El pozo surgente de Pozuelo de Aragón fue perforado en el año 1988 por iniciativa de la Diputación Provincial de Zaragoza (DPZ), se denominó Z-50 y tiene como referencia actual el número 2614-2-0009 en el inventario de puntos de agua de las bases de datos de la CHE o del IGME. La prospección de la DPZ tenía fines de investigación, pretendía mejorar el conocimiento existente sobre la geometría de los acuíferos del Somontano del Moncayo y localizar nuevos recursos de agua para regadío; poco más tarde la DPZ promovió un segundo sondeo (2614-2-0011), esta vez para su explotación, que se halla 415 m más al sureste y que alcanzó 368 m de profundidad, por lo que es también surgente. En la actualidad dispone de llave de cierre y no reviste la espectacularidad visual del primero, pero puede ser visitado igualmente.

El sondeo de investigación Z-50 alcanzó 324 m de profundidad final (Figura 13). Bajo un pequeño espesor inicial de gravas la perforación atravesó un potente espesor de materiales impermeables, de casi 250 m de margas y yesos de edad miocena.

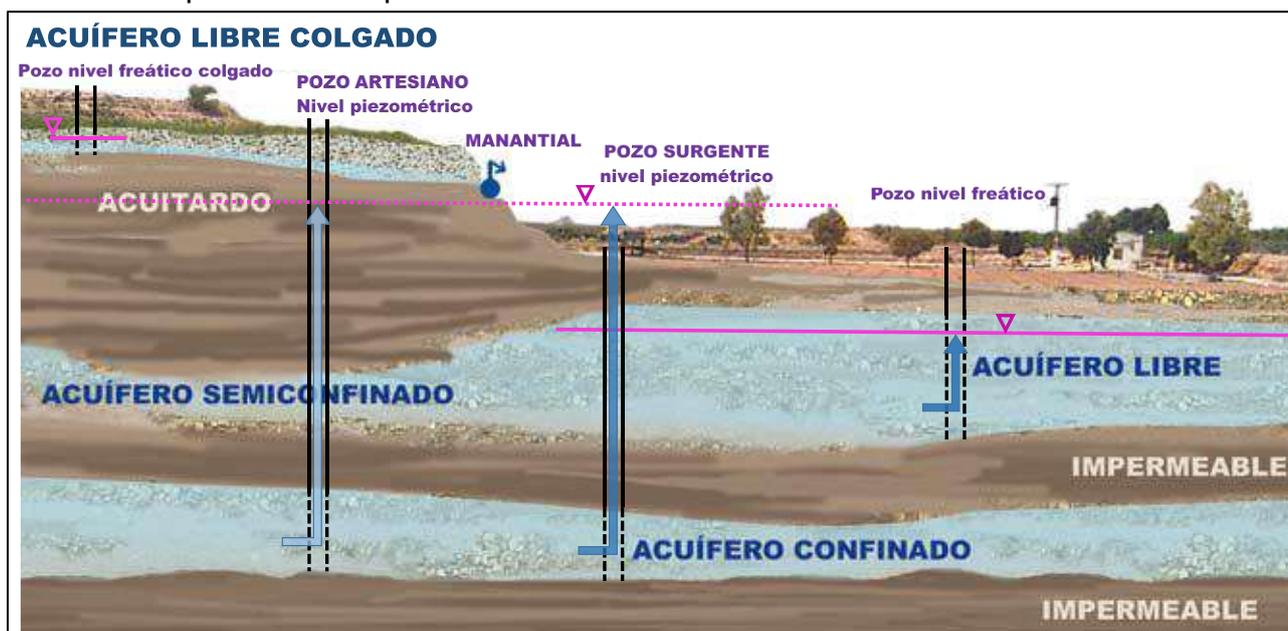


Figura 12. Tipos de acuíferos en función de la presión hidrostática del agua subterránea dentro de la formación permeable (modificado de IGME, 2009).

Posteriormente el sondeo profundizó en materiales permeables calizos de edad jurásica, probablemente del Lías, que en

realidad constituyen un importante acuífero regional. La perforación, al atravesar estos materiales libera la presión que mantiene al agua en el acuífero y produce su elevación inmediata por el hueco del sondeo sobrepasando incluso la superficie del terreno. En sus orígenes, la surgencia podría contar con un caudal de 30 l/s y alcanzar una altura de más de 10 m sobre la superficie del terreno, pero con el transcurso de los años, bien por la merma de la infiltración de recursos hídricos debido al cambio climático, por la explotación de recursos del acuífero o por la descompresión del acuífero, el caudal y la cota piezométrica han ido decreciendo hasta alcanzar los niveles actuales.

En cuanto a la caracterización fisicoquímica, es un agua de elevada mineralización, con residuo seco de unos 3.400 mg/l y conductividad eléctrica de entre 2.700-3.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH está próximo a las 8 unidades y su facies es sulfatada cálcica, con alto contenido en magnesio y muy baja concentración o casi inexistente de nitratos. Con el transcurso de los años se está observando alrededor de la boca del sondeo un proceso de colmatación y precipitado de carbonatos y óxidos de hierro, que proceden en este último caso de la disolución por corrosión de la propia tubería de hierro que conforma el sondeo y su rápida aireación en el punto de surgencia.

El agua alcanza en superficie una temperatura constante de 27,5 °C. Es un valor muy superior a la temperatura del agua subterránea de otros acuíferos someros en este entorno, en los que la temperatura del agua adquiere un valor más o menos equivalente a la temperatura media atmosférica de la zona (14 °C), demostrando en este caso el paso del agua por formaciones acuíferas que se localizan a gran profundidad, como se observa en el corte hidrogeológico de la Figura 14.

El calor cedido al agua en este punto procede del propio gradiente geotérmico, que como es bien conocido supone la elevación de unos 33 °C cada kilómetro que se profundiza en el terreno. La energía térmica es cedida a los flujos subterráneos durante su lenta circulación por las estructuras profundas del acuífero, elevando progresivamente a su paso la temperatura del agua subterránea. La ruptura de las condiciones subterráneas que implica la perforación del sondeo y el elevado potencial hidráulico en profundidad someten al agua a un rápido ascenso por el interior del pozo, evitando la mezcla con otras aguas superficiales más frías y un significativo enfriamiento de la surgencia.

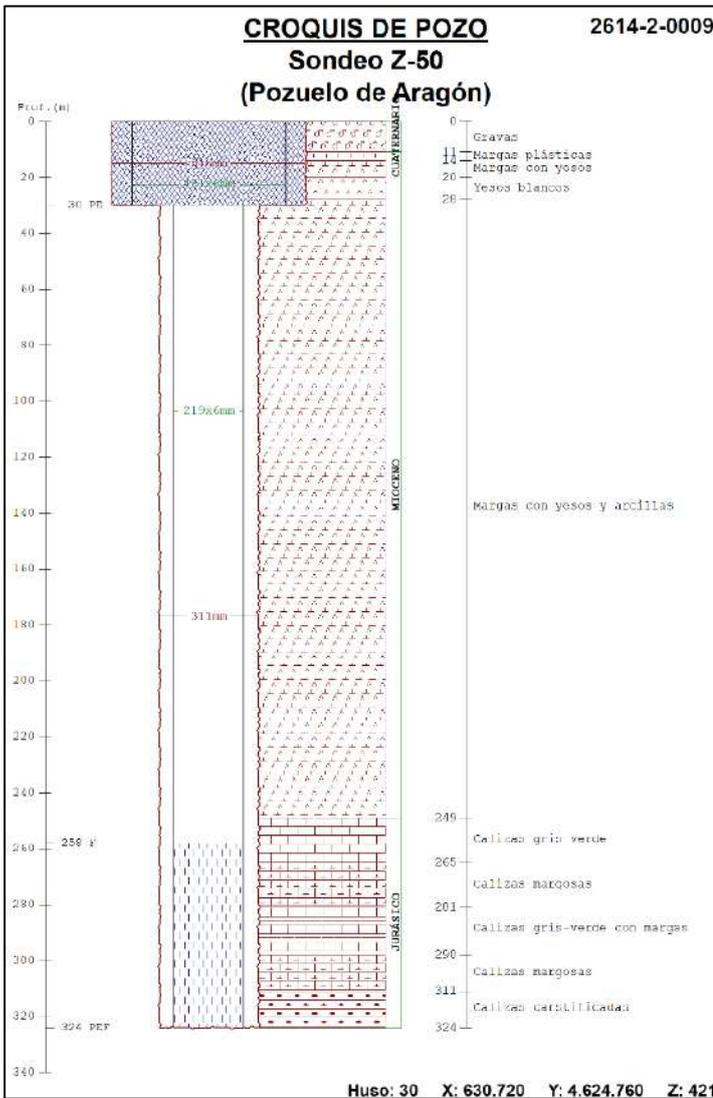


Figura 13. Croquis de pozo del sondeo surgente Z-50.

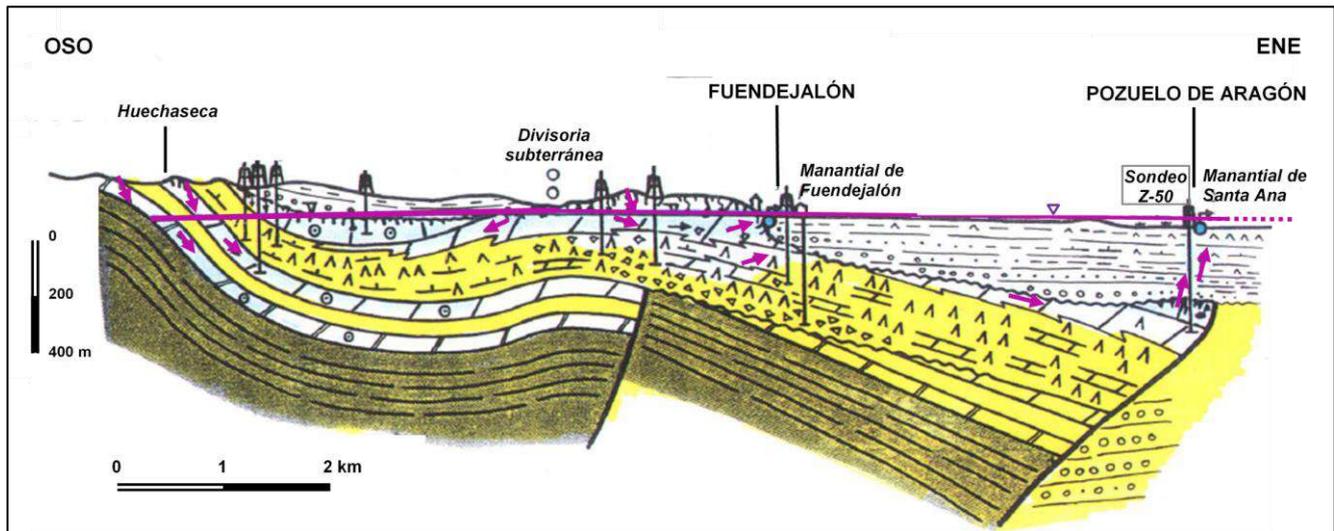


Figura 14. Corte hidrogeológico en el entorno del sondeo Z-50 (modificado de San Román, J., 1994).

REFERENCIAS

CHE. Masa de agua subterránea del Somontano del Moncayo (072). https://www.chebro.es/documents/20121/417147/ES_091072+Somontano+del+Moncayo.pdf

Coloma et al. (1997). El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión Terciaria del Ebro. Rev. Soc. Geol. España, 10 (3-4).

IGME (2009). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. 90 pp.

San Román, J. (1994). Estudio hidrogeológico del interfluvio Queiles-Jalón (Zaragoza). Tesis. Doctoral. Universidad de Zaragoza (inérita).

Ley Cambó. Gaceta de Madrid núm. 208, del 27 de julio de 1918.

“Los Ojos de Pontil: Un valioso humedal recuperado en Rueda de Jalón” (2013). Ed: Roberto del Val Tabernas y Eduardo Viñuales Cobos. Institución “Fernando el Católico” (CSIC), Colección Estudios Geografía-Ayuntamiento de Rueda de Jalón.

Coloma P. y Cuchí J.A. (2014). VIII Simposio de Hidrogeología. El agua; Esencia Ambiental.

Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección.

Decreto 274/2015, del 29 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el catálogo de Lugares de Interés Geológico de Aragón y se establece su régimen de protección

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2022-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza-CSIC, Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (UNIZAR).

Así mismo, agradecemos las facilidades prestadas por el Excmo. Ayuntamiento de Rueda de Jalón para la visita del manantial de Ojos de Pontil.

Por otro lado, agradecemos la colaboración a todos aquellos que nos han ayudado a su difusión.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Se ruega puntualidad

Llevar bebida y algo para almorzar

Llevar calzado cómodo

Es recomendable informarse de las condiciones meteorológicas para llevar: gorra, crema solar, paraguas, chubasquero, ropa de abrigo...

El lugar de finalización de la excursión será el mismo que el de salida (C/ Violante de Hungría 7, junto al Auditorio de Zaragoza)

La hora de llegada es aproximada (14:30h).

CONCURSO DE FOTOGRAFÍA SOBRE EL HIDROGEODÍA

Desde la AIH-GE se propone un CONCURSO DE FOTOGRAFÍA en el que cada participante puede participar subiendo una foto a Twitter.

Para dar validez a la foto en la participación del concurso se deben cumplir estos requisitos:

- Nombrar en el Tweet a la cuenta de la AIH-GE que es: @GE_AIH
- Poner la etiqueta #hidrogeodia22

Ganará la foto que reciba más likes y en el caso de empate, la que haya sido más veces retuiteada.

Las fotos publicadas para el concurso podrán utilizarse en años posteriores para dar difusión a la actividad en la web de la AIH-GE y las redes sociales.

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2022

Eduardo Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

COLABORADORES

Javier San Román Saldaña (CHE)

José Ángel Sánchez Navarro (UNIZAR)

Excmo. Ayto. de Rueda de Jalón

NOTAS



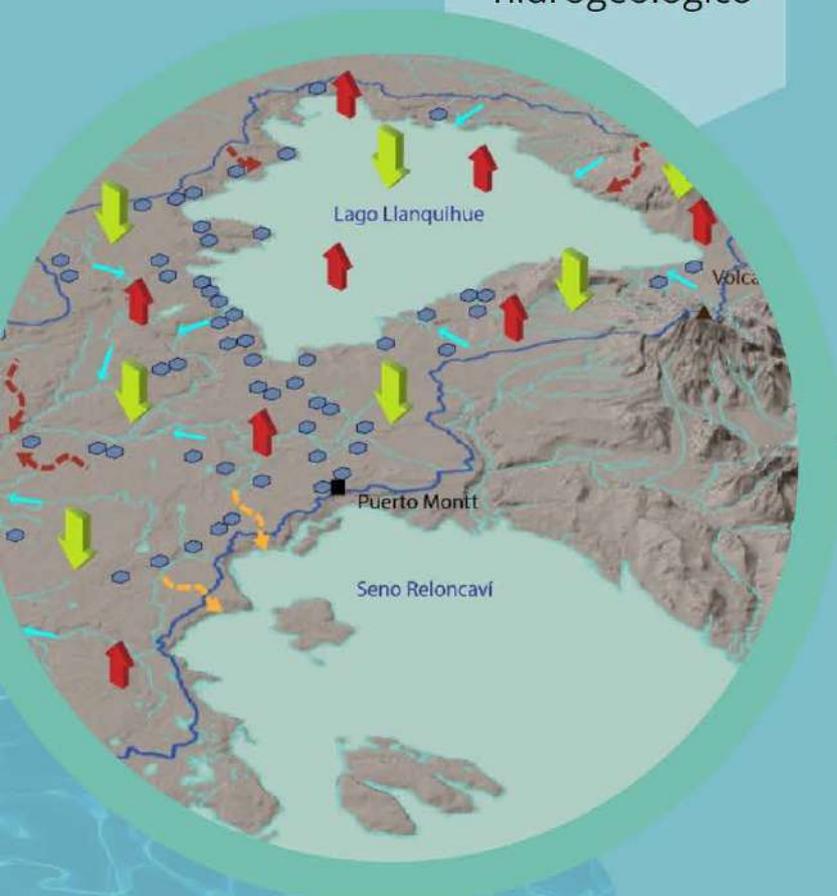
Jornada técnica

HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO MAULLÍN

Rosa Troncoso V. - Felipe Avilés M.
Oficina Técnica de Puerto Varas - Sernageomin

Presentación del mapa hidrogeológico

Visita guiada Lago Llanquihue



Lugar: Centro de Arte Molino Machmar. Puerto Varas
Aforo limitado
Hora: 10:00 am

Actividad dirigida a representantes de comités de agua potable rural de la cuenca del río Maullín

INSCRIPCIONES Y CONSULTAS:
felipe.aviles@sernageomin.cl



La Hidrogeología de Guatemala contada a través del Mapa del Relieve



ENTRADA GRATUITA
Control de aforo

IMPRESCINDIBLE RESERVA
PREVIA para las visitas guiadas
e-mail de contacto:
delmar.villatoro@gmail.com

PUNTO DE ENCUENTRO: Mapa
del Relieve de Ciudad de
Guatemala
Zona 2 Capitalina

**Hora de comienzo de la
actividad 9am : 9.00**
Hora de finalización: 15.00

Participen:



Información detallada y folleto de la excursión en:
<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2022/>

HIDROGE♂DÍA
2022



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español