

EL HIDROGEODÍA

El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología y de la profesión del hidrogeólogo que se celebra anualmente con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua** (22 de marzo). La actividad está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consiste en una visita guiada por expertos en aguas subterráneas, gratuita y abierta a todo tipo de público, independientemente de su nivel de conocimiento en dicha materia.

En Málaga, el **Hidrogeodía 2018** se celebra en las estribaciones orientales de la **Serranía de Ronda**, un enclave estratégico desde el punto de vista hidrogeológico y medioambiental situado al NO de la provincia. Estos relieves montañosos, que ocupan una superficie aproximada de 43 km², se localizan 15 km al este de la ciudad de

Ronda, entre las poblaciones de Serrato (Foto 1), Cuevas del Becerro y Arriate.

Este entorno natural forma parte de la cuenca alta del Río Guadalteba (afluente del Río Guadalhorce), donde existen acuíferos que drenan caudales importantes de aguas subterráneas a ríos, arroyos y ecosistemas fluviales dependientes de las mismas.

CÓMO LLEGAR

El punto de encuentro (Foto 2) es la Iglesia de Serrato. Desde Málaga, el acceso a esta localidad se realiza por las carreteras autonómicas **A-367** (Málaga-Campillos) y **A-357** (Ronda-A-367). A aproximadamente 17 kms desde el desvío hacia Ronda, aparece otro desvío que lleva directamente al pueblo Serrato por la carretera comarcal **MA-477**. El aparcamiento en el municipio es limitado, por lo que se aconseja optimizar el transporte en coche hasta el punto de encuentro.



Foto 1: Población de Serrato (lugar de encuentro), vista desde el este -carretera El Burgo-Serrato-.

QUÉ VEREMOS...

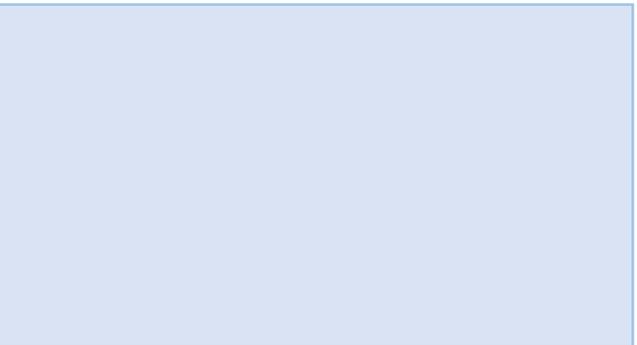
Los aspectos más relevantes que se tratarán a lo largo de la excursión guiada son:

1. El **contexto geológico** de los relieves serranos.
2. Los diferentes **tipos de rocas y acuíferos** existentes.
3. El **paisaje kárstico**.
4. ¿Cómo **funcionan** los acuíferos carbonáticos?
5. Los distintos **tipos de manantiales**.
6. Los depósitos de **travertinos**.
7. El **papel de los acuíferos carbonáticos de cabecera de cuenca** en la Metasequía de 1995.
8. El **aprovechamiento de las aguas subterráneas** en la Serranía de Ronda.



Foto 2: Punto de encuentro del Hidrogeodía 2018. Iglesia Parroquial de Nuestra Señora del Rosario, ubicada en la calle Fuente de Serrato.

¿QUÉ ES LA HIDROGEOLOGÍA?



Las **aguas subterráneas** representan el volumen de **agua dulce** en estado líquido más importante del Planeta (~30%). Se aprovechan para abastecimiento a la población, riego de cultivos, industria, usos recreativos y ambientales, etc.

Se denomina **acuífero** al material geológico, sedimento o roca, que es poroso (tiene capacidad de almacenamiento de agua subterránea) y permeable (permite el flujo de agua a su través). En ocasiones, hemos oído hablar de un acuífero como si se tratara de un embalse subterráneo o volumen de agua que se encuentra inmóvil, almacenado en profundidad. Esto no se corresponde con la realidad, pues el agua subterránea de los acuíferos se almacena y se mueve a través de **poros, fisuras o grietas** de la roca (Figura 1).

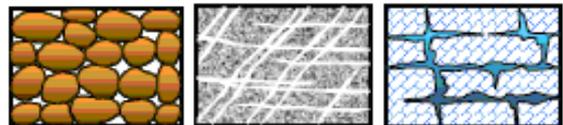
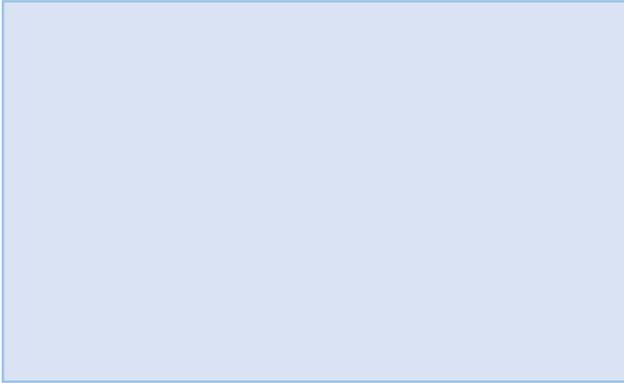


Figura 1: Tipos de porosidad en materiales acuíferos: intergranular (izquierda), por fisuras (centro) y por grietas o fracturas ensanchadas (derecha).

La **porosidad**, es decir, la proporción de poros que hay en una roca, condiciona la cantidad de agua que puede **almacenar**. El agua subterránea sólo puede moverse a través de los poros que están conectados

entre sí, es decir, de los que constituyen la **porosidad eficaz**.

Cuando se trata de materiales sueltos, el agua ocupa los huecos que hay entre los granos, tal y como se muestra en la figura 1 (izquierda). Estos sedimentos constituyen acuíferos llamados detríticos.



Por otro lado, existen otro tipo de rocas, de baja permeabilidad (arcillas, pizarras, esquistos, peridotitas, granitos, etc.), con escaso interés acuífero, ligado a la zona de alteración superficial o a la fracturación.

La estrecha relación existente entre el ser humano y el agua, desde tiempos ancestrales, ha hecho que sea de vital importancia el estudio de las aguas subterráneas y, por tanto, el desarrollo de una ciencia que permita mejorar el conocimiento de este tipo de recursos hídricos. Por ello se considera imprescindible la profesión del **hidrogeólogo**.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La **Serranía oriental de Ronda**, donde tiene lugar el Hidrogeodía 2018, está constituida por una serie de alineaciones montañosas (SO-NE) de naturaleza carbonática (Figura 2), cuyo origen se remonta a la Era Mesozoica (secundaria), hace aproximadamente 200 millones de años. En esta época, los relieves que hoy día alcanzan altitudes superiores a los 1000 m sobre el nivel del mar, se originaron en las

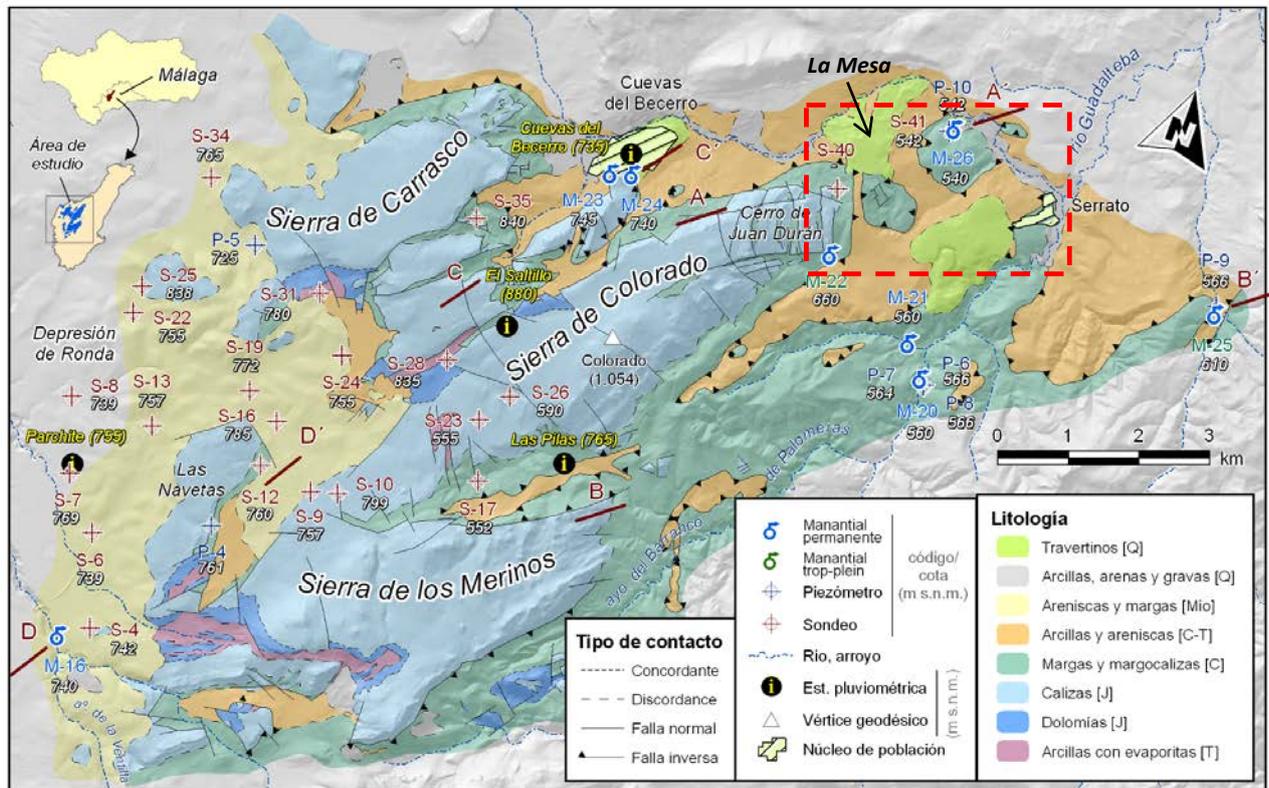


Figura 2: Mapa geológico e hidrogeológico de los acuíferos carbonáticos del sector nororiental de la Serranía de Ronda (Barberá, 2014). El cuadro rojo encierra el itinerario del Hidrogeodía 2018.

profundidades del mar del Tethys.

Las sierras calizas de los Merinos, Colorado y Carrasco se encuentran limitadas al norte por la cuenca del Guadalteba y al sur por otras formaciones geológicas carbonatadas jurásicas (sierras Blanquilla e Hidalga) y por la Sierra de las Nieves. Al oeste, lo hace con los materiales detríticos de la Depresión de Ronda, mientras que, al este, están en contacto con la Sierra de Alcaparaín.

TIPOS DE ROCAS Y ACUÍFEROS

Los **materiales geológicos** que afloran en la Serranía oriental de Ronda son de diferente naturaleza, edad y espesor (Cruz San Julián, 1981). En el itinerario que ocupa la excursión guiada, las rocas que se observan, de más antiguas a más modernas, son (Figura 2):

- Calizas y dolomías jurásicas (> 500 m de espesor conjunto).
- Margas y margocalizas (50-200 m) de edad Cretácico.
- Arcillas y areniscas (formación denominada Flysch), pertenecientes al período comprendido entre el Cretácico (final) y el Mioceno. Su potencia es de decenas a centenares de metros.
- Travertinos (25-60 m de espesor) de edad Cuaternario.

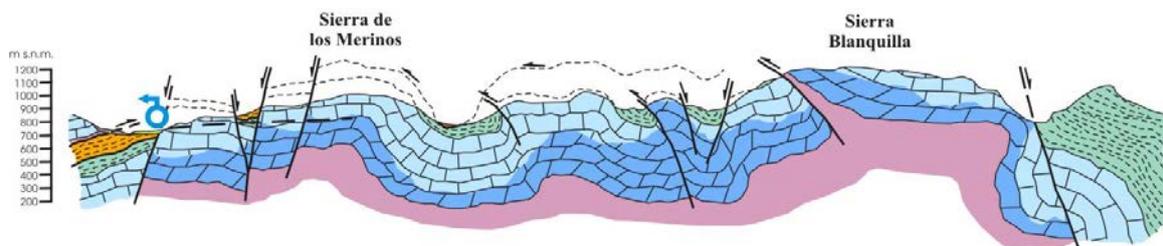


Figura 3: Estructura geológica de pliegues anticlinales y sinclinales en cofre de los acuíferos carbonáticos de la Serranía oriental de Ronda (tomado de DPM-IGME-GHUMA, 2007).

Los relieves en crestas y valles reconocibles en el paisaje responden a la estructura geológica (Figura 3): pliegues anticlinales con forma de cofre, separados por pliegues sinclinales. Así, las calizas y dolomías jurásicas coronan las crestas de los anticlinales, mientras que margas y margocalizas cretácicas ocupan los valles sinclinales. Los materiales del Flysch cabalgan sobre las formaciones mesozoicas. Encima de todas estas formaciones geológicas se disponen los depósitos travertínicos más recientes.

EL PAISAJE KÁRSTICO

Los terrenos constituidos por rocas solubles carbonáticas (calizas, dolomías y mármoles) y evaporíticas (yeso y otras sales altamente solubles) están expuestos a procesos de meteorización superficial que esculpen la roca con formas muy peculiares. El principal responsable de este tipo de modelado es el proceso de **karstificación**, por el cual la lluvia, ligeramente ácida, ataca químicamente a los minerales más solubles y produce la disolución de la roca.

El resultado de la acción intensa de este proceso de disolución es el modelado kárstico. Así, se pueden distinguir **formas** de disolución **exokársticas** y **endokársticas**.

Las primeras son las que se generan en superficie, mientras las segundas resultan de procesos de disolución en el interior del acuífero. Como formas exokársticas más características se observan campos de lapiaz, dolinas, uvalas, sumideros o ponors y poljes (Figura 4). Las formas endokársticas corresponden fundamentalmente al desarrollo, en mayor o menor medida, de simas y sistemas de cavidades.

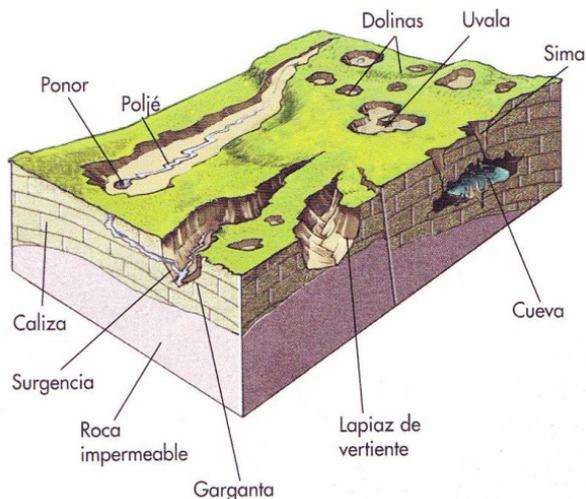


Figura 4: Bloque diagrama de un acuífero kárstico con las formas de disolución exokársticas y endokársticas más características.

En un acuífero kárstico no sólo se producen formas de disolución, también se originan **formas de depósito**, como consecuencia de la precipitación de los minerales previamente disueltos (proceso inverso al de la karstificación), fundamentalmente carbonato cálcico o calcita (CaCO_3). Entre las formas de depósito exokársticas más comunes se encuentran los **travertinos**, cuyo equivalente endokárstico serían los espeleotemas formados en las cuevas, como las **estalactitas y estalagmitas**.

la Vega de Antequera), los medios kársticos presentan una gran complejidad en su funcionamiento debido al enrevesado sistema de fisuras y fracturas interconectadas que forman la red de flujo por la que se mueve el agua subterránea, desde las zonas de recarga hasta las de descarga.

Generalmente, el agua de lluvia es la principal fuente de alimentación de este tipo de acuíferos. La lluvia se filtra a través de la zona más superficial del acuífero de dos maneras diferentes: a) de forma difusa, a través de toda la superficie del suelo y los afloramientos calizos y/o b) de forma concentrada, aprovechando orificios u oquedades (sumideros kársticos o ponors; Figura 4) por los que el agua de lluvia entra directa y rápidamente en el acuífero.

Una vez que la lluvia se filtra en los primeros metros de roca, continúa fluyendo verticalmente a través de la zona más superficial y permeable del acuífero (deja pasar el flujo de agua con mayor facilidad), la cual se denomina **zona no saturada** (Figura 5). En esta parte del acuífero, el agua subterránea discurre por grietas y fracturas que están parcialmente rellenas de agua y aire.

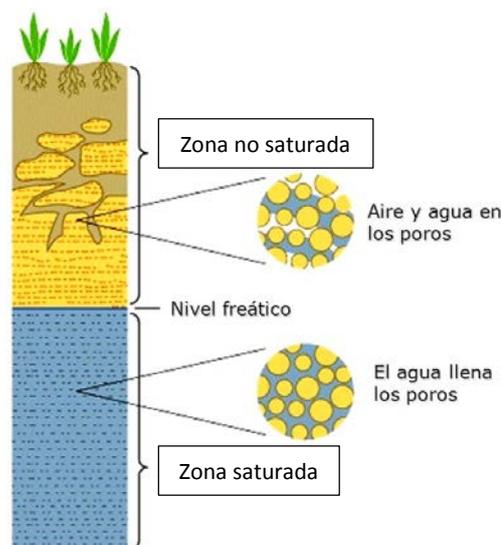


Figura 5: Zonificación vertical en un acuífero.

¿CÓMO FUNCIONA UN ACUÍFERO KÁRSTICO?

A diferencia de los acuíferos detríticos, que tienen una porosidad intergranular (por ejemplo, acuíferos del Río Guadalhorce o de

Por debajo de la zona no saturada se ubica la **zona saturada** del acuífero, en la que las grietas y fracturas están completamente llenas de agua. En esta zona el fluido sigue moviéndose por el acuífero, esta vez algo más lento (Figura 5). La superficie que separa la zona no saturada de la zona saturada del acuífero se denomina **nivel piezométrico (freático)**.

La lluvia que se infiltra en la zona de recarga del acuífero circula a través de éste y después sale de nuevo a la superficie por fuentes, surgencias o manantiales, pero también mediante bombeo en sondeos y pozos. Experimentos realizados por hidrogeólogos en acuíferos kársticos de la provincia de Málaga han comprobado que, en ocasiones, el agua subterránea es capaz de recorrer el subsuelo a través de este tipo de rocas permeables en tan sólo algunas horas.

formaciones geológicas (una permeable, que forma el acuífero, y otra impermeable, que constituye el límite o sello del acuífero). También llamado **manantial permanente**.



Foto 3: Manantial Cañamero o de Serrato después de un período de lluvias abundantes (Marzo de 2018).

TIPOS DE MANANTIALES

Un surgencia de agua se define como el punto de la superficie topográfica que intersecta con el nivel piezométrico del acuífero. A lo largo de la excursión guiada se observan dos tipos de manantiales (Figura 6):

- **Manantial de contacto** (manantial Cañamero o de Serrato; Foto 3), o fuente de agua que emana como consecuencia del contraste de permeabilidad entre dos tipos de

- **Manantial de rebose** (manantial de Prado Medina; Foto 4), también denominado de tipo *trop-plein*, galicismo que significa “demasiado lleno”. Tiene lugar cuando el sistema de drenaje del acuífero (red de fisuras y fracturas interconectadas), representado por el/los manantial/es principal/es, no puede desaguar todo el volumen de agua que se ha infiltrado en períodos de lluvias excepcionales (muy abundantes e intensas), por lo que aparecen nuevas surgencias de este tipo que facilitan la descarga a cota más elevada.

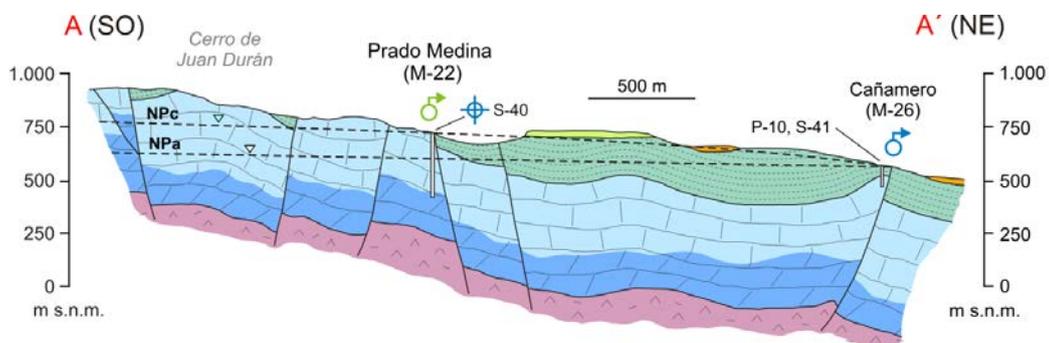


Figura 6: Corte hidrogeológico en el que se muestran los dos tipos de manantiales que drenan el acuífero de la Sierra de Colorado (Barberá, 2014). La orientación de la sección A-A' y la leyenda se indican en el mapa de la Figura 2. **Npc** y **Npa** se corresponden con los niveles piezométricos en condiciones de crecida y agotamiento, respectivamente.



Foto 4: Manantial tipo trop-plein de Prado Medina en condiciones excepcionales de recarga (Marzo de 2018).

y dado que pueden datarse (determinar con cierta precisión la edad de precipitación mineral y, por tanto, del depósito rocoso), es posible deducir antiguos sistemas de drenaje de aguas subterráneas y la velocidad a la que se encaja la red de drenaje en el relieve.

En la cuenca del Río Guadalteba se observan varias terrazas travertínicas, entre las cuales destaca la de **la Mesa** (Figuras 2 y 6), situada a escasos 500 m al NE del Cerro de Juan Durán. El depósito de este afloramiento, de aproximadamente 25-35 m de espesor, ha sido datado con técnicas de carbono 14 en 27.000-29.000 años (Cruz-Sanjulián, 1981), correspondiente al período terminal del Holoceno. En cuanto a su génesis, es muy probable que esté asociado a la surgencia de Prado Medina, que hoy día funciona como manantial de rebose pero que en el pasado lo haría como punto de drenaje principal del acuífero (lo que hoy es el manantial de Cañamero).

¿QUÉ SON LOS TRAVERTINOS?

Como se ha comentado anteriormente, los travertinos son formas de depósito características del modelado kárstico. Están asociados a zonas de descarga de agua subterránea de acuíferos carbonáticos, de manera que la alta concentración de sales disueltas (principalmente CaCO_3), junto con los cambios de presión de la fase gaseosa al salir el agua a superficie (desde el interior del acuífero hasta el exterior), origina la precipitación de calcita en el entorno próximo de la surgencia.

El **interés** de estas rocas no es sólo **geomorfológico** sino también desde el punto de vista **paleohidrológico** (estudio de las características hidrogeológicas de un área en el pasado reciente). Al ser este tipo de formaciones geológicas de la era Cuaternaria (Pleistoceno superior-Holoceno)

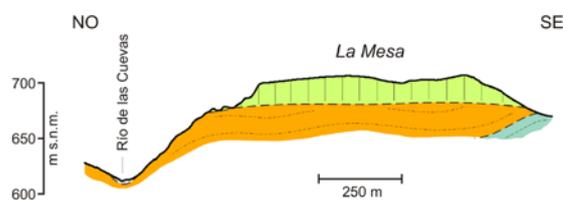


Figura 6: Corte geológico del área próxima al travertino de la Mesa (modificado de Cruz-Sanjulián, 1981). Ver leyenda en la Figura 2 y relación espacial con las calizas y dolomías del Cerro de Juan Durán en la Figura 2.

EL PAPEL DE LOS ACUÍFEROS CARBONÁTICOS DE CABECERA DE CUENCA EN LA METASEQUÍA DE 1995

El caudal de los manantiales que drenan los acuíferos de los Merinos, Colorado y Carrasco hacia el NE (Cañamero, Carrizal, etc.) se suma al de numerosos arroyos de cabecera y termina circulando por el Río Guadalteba, el cual contribuye con sus recursos superficiales a las reservas del

embalse homónimo. Estas aportaciones, junto con las de los embalses del Guadalhorce y Conde de Guadalhorce (en el Río Turón) se destinan a garantizar el suministro de agua a la ciudad de Málaga y a buena parte de los núcleos urbanos situados en la cuenca media-baja del Río Guadalhorce, pero también para cubrir la demanda de agua para regadío.

En 1995, los niveles de los embalses alcanzaron mínimos históricos, como consecuencia del **período de sequía** que venía afectando desde años atrás a la provincia de Málaga, comprometiendo así las necesidades de agua para uso urbano.

Dado el **carácter estratégico de los acuíferos carbonáticos de cabecera de cuenca**, la Dirección General de Obras Públicas Hidráulicas (DGOPH) acometió en ellos una serie de **actuaciones de emergencia** entre las que figuraba la perforación de sondeos, con la intención de bombear el agua subterránea y verterla a la red de cauces superficiales para aumentar la disponibilidad de agua en los embalses.

Las pruebas realizadas en sondeos perforados en las inmediaciones de los principales manantiales (como el de Cañamero; P-10 y S-41 en Foto 5 y Figura 2) fueron satisfactorias, aunque el caudal de agua que finalmente terminaba en el embalse fue insuficiente debido a la infiltración producida a lo largo del lecho del río y a las pérdidas por evaporación.



Foto 5: Prueba de bombeo en el sondeo S-41, perforado en el entorno del manantial de Cañamero con motivo de la Metasequía de 1995.

En otros sondeos, como el del paraje de Prado Medina (S-40; Foto 6 y Figura 2), no se detectó el nivel piezométrico durante la perforación, a pesar de atravesar 300 m de calizas jurásicas. A finales de 1995, las abundantes precipitaciones revirtieron la situación de sequía con la subida de los niveles, por lo que se abandonaron las actuaciones de emergencia en los acuíferos carbonáticos de la Serranía oriental de Ronda.



Foto 6: Sondeo S-40 situado en el paraje de Prado Medina. En primer plano se observan las calizas jurásicas del Cerro de Juan Durán (ver figura 2).

EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA SERRANÍA DE RONDA

Desde la antigüedad, numerosas civilizaciones han colonizado regiones del planeta en función de la disponibilidad del agua, uno de los recursos vitales para la subsistencia. No ha sido menos en la cuenca alta del Río Guadalteba, donde los pueblos de la Serranía están localizados en las inmediaciones de fuentes y manantiales caudalosos. En muchas ocasiones, el **agua subterránea** constituye la **única fuente de suministro de agua de buena calidad** para uso urbano en áreas montañosas.

Actualmente, pueblos como Serrato, Cuevas del Becerro, Arriate e incluso Setenil de las Bodegas (ya en la provincia de Cádiz)

aprovechan el agua subterránea que drenan los acuíferos carbonatados de las sierras de los Merinos, Colorado y Carrasco para **abastecimiento urbano y regadío de huertas y cultivos.**

No obstante, el agua subterránea también ha tenido otros usos en épocas recientes. Cuando aún no se disponía de electricidad en los pueblos, se utilizaba el caudal de descarga de manantiales caudalosos para generar **energía hidroeléctrica** mediante el accionamiento de turbinas. En el pueblo de Serrato, en la primera mitad del siglo XX se construyó la fábrica de la luz de San Francisco (Foto 7), próxima al manantial de Cañamero. Hoy día todavía se reconoce el muro de la presa realizada en el entorno de la surgencia para laminar sus crecidas y regular el caudal de agua demandado, así como una red de acequias que conducían el agua subterránea hacia la fábrica.



Foto 7: Edificio en ruinas de la antigua fábrica de la luz de San Francisco, en el pueblo de Serrato (Diputación de Málaga, 2017).

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las instituciones y empresas que han apoyado y/o patrocinado el Hidrogeodía 2018: Departamento de Ecología y Geología de la Universidad de Málaga, Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHYUMA), Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Diputación de Málaga, Academia Malagueña de las Ciencias y Ayuntamiento de Serrato.



Actividad realizada por el Grupo de investigación RNM-308 de la Junta de Andalucía.

CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDROGEODÍA MÁLAGA

La excursión del Hidrogeodía 2018 tiene lugar en un espacio natural por un itinerario definido, por tanto, se ruega no alterar el medio natural, no desviarse del camino a seguir, ni arrojar residuos al entorno.

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

jornada. Asimismo, la organización se reserva el derecho a suspender la actividad si las condiciones climáticas imposibilitan el normal desarrollo de la misma.

LOS MONITORES DEL HIDROGEODÍA 2018

Bartolomé Andreo Navarro
Juan Antonio Barberá Fornell
Beatriz de la Torre Martínez
José Manuel Gil Márquez
Luis Linares Girela
Cristina Liñán Baena
Javier Martín Arias
José Francisco Martín Rodríguez
Matías Mudarra Martínez
José Manuel Nieto López
Jorge Prieto Mera

MÁS INFORMACIÓN EN...

- Barberá, J.A. (2014). Investigaciones hidrogeológicas en los acuíferos carbonáticos de la Serranía oriental de Ronda.
- Cruz Sanjulián, J.J. (1981). Evolución geomorfológica e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas. Boletín Geológico y Minero 92 (4), 297-308.
- Diputación de Málaga (2017). Plan General de Ordenación Urbanística de Serrato (PGOU). Memoria informativa. 292 páginas.
- DPH-IGME-GHUMA (2007). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Diputación Provincial de Málaga; Instituto Geológico y Minero de España; Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, 3 tomos. 704 pp.

NOTAS

RECORRIDO DEL HIDROGEODÍA MÁLAGA 2018

