



VISITA A LA SIERRA DE LÍBAR
PRESA DE MONTEJAQUE, SISTEMA KÁRSTICO HUNDIDERO-GATO Y
CUEVA DE LA PILETA

22 de abril 2023



Dra. Mercedes Vélez Nicolás
Dr. Santiago García López

*Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
Universidad de Cádiz*

PARADA 1: La presa de Montejaque y el sumidero kárstico de la Cueva de Huididero

La presa de Montejaque (o de los Caballeros) está situada 6 km al W de la ciudad de Ronda, dentro del Parque Natural de la Sierra de Grazalema (provincias de Cádiz y Málaga) (Figura 1a). Fue construida para aprovechamiento hidroeléctrico en el río Guadares, afluente del río Guadiaro. Su capacidad de embalse de proyecto es de 36 hm³, con una aportación media estimada de 25 hm³/año, procedente de la escorrentía generada en su cuenca vertiente que es de 44 km². La presa fue terminada en 1924 y por su tamaño (84 m de altura sobre cimientos) y técnica constructiva (bóveda de doble curvatura en hormigón) fue pionera en su tiempo (Figuras 2c y d). Sin embargo, nunca llegó a entrar en funcionamiento por las elevadas filtraciones que afectan al vaso del embalse. Éste inunda en el sector de Cerro Tavizna una formación de rocas carbonáticas jurásicas, afectada por severos procesos de karstificación (Figura 1b).

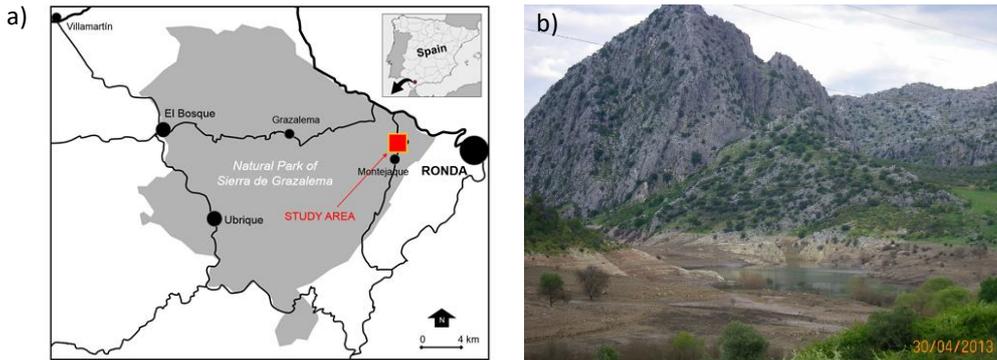


Figura 1. (a) Localización de la presa de Montejaque y la Cueva de Huididero. (b) Vista del Cerro Tavizna y del embalse de Montejaque al final de la crecida de 2013 (tomado de García-López et al., 2018).

La cerrada de la presa de Montejaque se sitúa al inicio del cañón que forma el río Guadares al internarse en el macizo rocoso formado por las calizas que en términos hidrogeológicos se atribuyen al acuífero de la Sierra de Líbar (Figura 2a). Desde el punto de vista constructivo la cerrada es idónea para una presa de este tipo, por su geometría estrecha y por las propiedades mecánicas de la roca. Sin embargo, la formación rocosa, que también se extiende por parte del vaso, presenta una permeabilidad muy alta, como consecuencia de los procesos de karstificación.

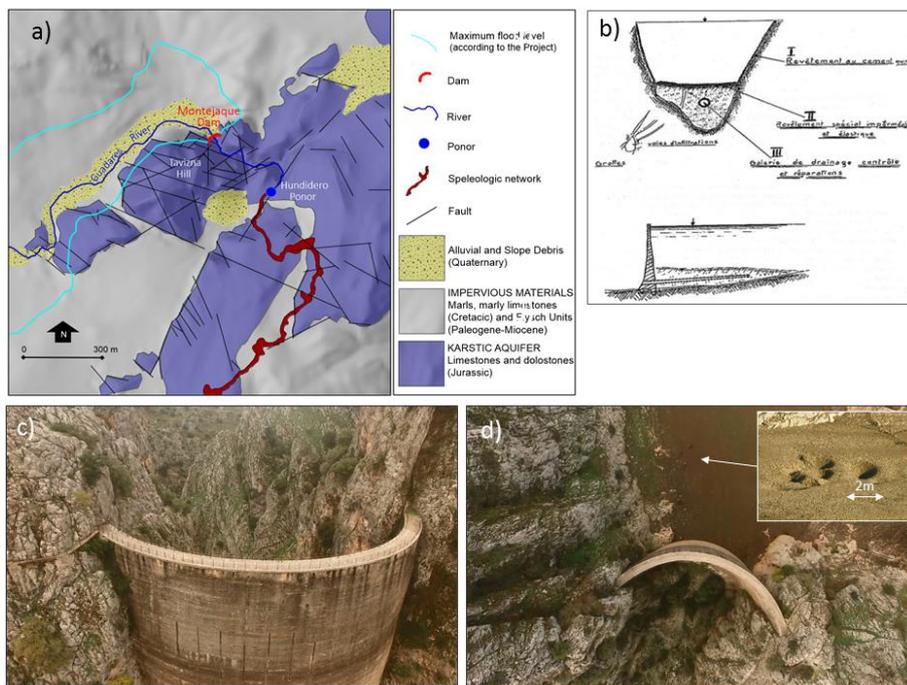


Figura 2. Mapa hidrogeológico del entorno del embalse de Montejaque, b) Solución propuesta en 1930 por el ingeniero Giovanni Rodio para reducir las filtraciones, c) Vista aérea oblicua de la presa, d) Vista aérea vertical de la presa y detalle de algunas formas de absorción en el fondo del embalse (tomado de Ruiz-Ortiz et al., 2021).

En su conjunto, estos materiales presentan un intenso grado de karstificación por varios factores entre los que destacan la relativamente elevada solubilidad de la roca, la disposición estructural del macizo y su pronunciada fracturación tectónica y la alta precipitación (1.500 mm/año) en la región. De hecho, en el área es posible observar abundantes formas exokársticas (campos de lapiazes, dolinas y poljes, valles ciegos, sumideros o ponors) y endokársticas (cuevas, simas, conductos y un amplio abanico de espeleotemas).

Antes de la construcción de la presa, el río Guadares, al alcanzar las calizas, se infiltraba en su totalidad por un sumidero kárstico de grandes proporciones conocido como Hundidero (Figura 3a) y aparentemente resurgía en el manantial de la Cueva del Gato (Figura 3b), evidenciando un importante sistema endokárstico. En realidad, el modelo conceptual es un tanto más complejo porque los caudales infiltrados a través del sumidero circulaban solo en parte de forma concentrada a manera de río subterráneo, otra parte de esos caudales, especialmente en crecida, se infiltraban y repartían en el volumen tridimensional del acuífero circulando por una red muy extendida de conductos y fisuras de diversa magnitud, alimentando un acuífero que experimenta un almacenamiento temporal de agua y cuya descarga, que en este sector se produce a través del manantial de la Cueva de Gato, integra tanto el flujo concentrado a través de la red endokárstica principal como el flujo repartido o difuso procedente de otras áreas del acuífero.

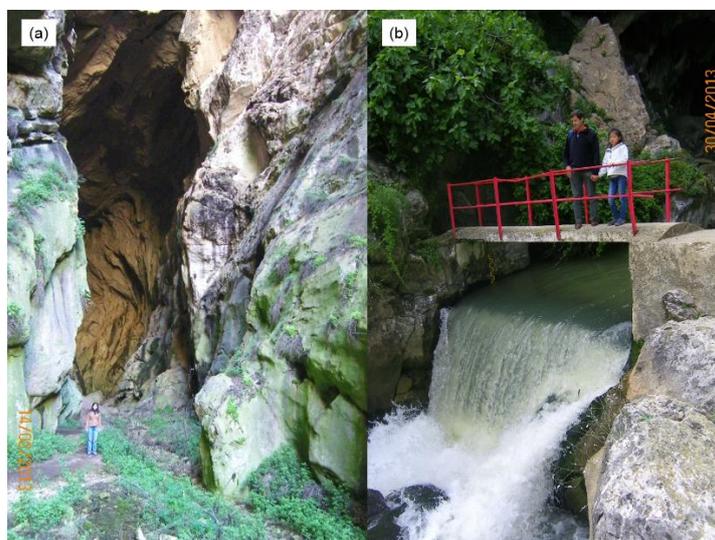


Figura 3. Izquierda: sumidero kárstico Hundidero. Derecha: manantial de la Cueva del Gato en la crecida de abril de 2013 (tomado de García-López et al., 2018).

Estudios previos a la construcción de la presa ya evidenciaron una elevada permeabilidad en el medio geológico, de forma que hubo opiniones contradictorias entre los técnicos, en el sentido de si los tratamientos de terreno podrían o no subsanar las deficiencias en cuanto a estanqueidad del vaso, una vez construida la presa. No había muchas experiencias previas sobre casos semejantes y el conocimiento del karst estaba poco desarrollado. Finalmente, la empresa promotora (Compañía Sevillana de Electricidad) asumió el riesgo y se iniciaron las obras, finalizando en un tiempo record de 9 meses (Figura 4a). Se confiaba en que un tratamiento adecuado del terreno subsanaría sus defectos, por lo que con anterioridad a la fase de construcción del dique comenzaron los tratamientos de impermeabilización consistentes en la inyección de cemento a través de perforaciones en la roca y consolidación y relleno de grietas y fracturas.

Una vez terminada la presa, se realizaron pruebas de embalse que dieron resultados muy negativos. Se afrontaron entonces complejas labores de impermeabilización que se extendieron por más de una década. Se realizaron ensayos de trazado para definir vías preferentes de circulación y fueron efectuados trabajos complementarios de impermeabilización tanto desde la superficie como desde el interior del macizo kárstico aprovechando la red espeleológica Hundidero-Gato. Para esto último, se acometió la construcción de un camino interior de unos 5 km, cuya finalización no estuvo exenta de riesgos y dificultades (Figura 4b). Para el sellado de conductos y cavidades se llegaron a utilizar materiales diversos:

hormigón, asfalto y arcilla con resultados negativos parecidos. Al entrar en carga el embalse, el agua fluía por otras vías de circulación en un medio muy permeable con una red de fracturas y conductos muy repartidos en el seno de la roca. También hubo propuestas de revestir el suelo del pantano con una capa elástica e impermeable, con gunita e incluso con una cubierta de chapa de hierro, proyectos no realizados por su elevado coste (Figura 2b).

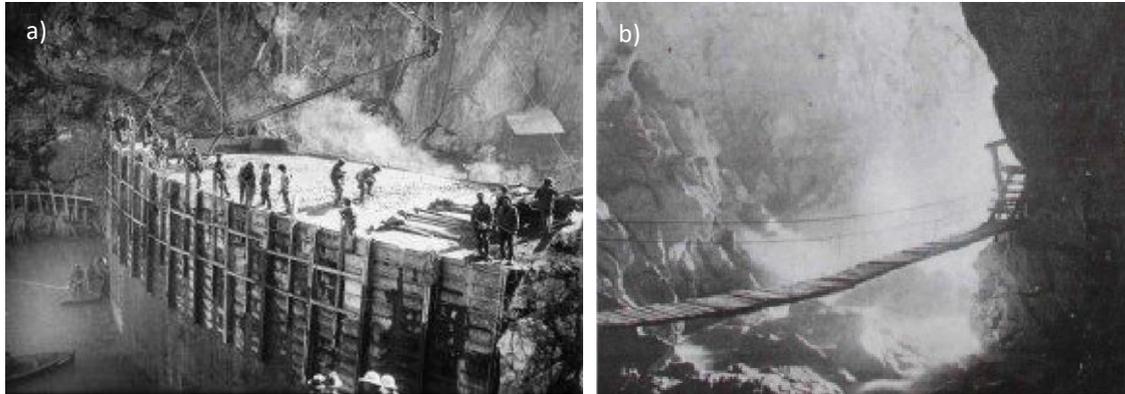


Figura 4. (a) Fase inicial de construcción de la presa. (b) Camino construido en el interior de la red espeleológica para acceder al interior del macizo y posibilitar el tratamiento del mismo (tomado de www.diariosur.es).

A consecuencia de los tratamientos efectuados, el nivel de embalse llegó en una crecida (año 1930) a quedar a unos 30 m del máximo (nivel de embalse a 44 metros del fondo), pero el vaciado a través de la roca caliza fue rápido. En sucesivas crecidas se observó una progresión del problema que contrarrestaba los tratamientos realizados. Finalmente, coincidiendo con la Guerra Civil, las labores fueron paralizadas y la obra fue abandonada, sin que llegase a realizar nunca la función a la que estaba destinada.



Figura 5. (a) Vista del embalse con la presa al fondo en la crecida en 1926 (tomado de www.elespanol.com) y (b) en la crecida de abril de 2013 (tomado de García-López et al., 2018).

Más recientemente, en una crecida extraordinaria monitorizada en la primavera de 2013 el nivel de embalse llegó a ascender más de 20 metros, pero en 5 semanas el embalse se vació completamente. Durante ese periodo, aplicando métodos de balance, fueron estimados los caudales instantáneos de infiltración entre 4.000 l/s y 350 l/s, evidenciándose una doble relación lineal de los caudales infiltrados con el nivel del embalse y el tiempo.

PARADA 2: El manantial de la Cueva del Gato

El manantial de la Cueva del Gato (Figura 3b) se encuentra conectado con el sumidero de Hundidero a través de una red endokárstica funcional de casi 8 km de longitud que puede ser recorrida en su totalidad por expertos espeleólogos en periodos de baja pluviometría. Se trata de una red de conductos cuya geometría se halla muy condicionada por grandes fracturas que afectan al macizo según las direcciones tectónicas regionales y en cuyo recorrido se pueden observar cámaras, sifones, lagos a diferentes alturas, espeleotemas de diversa tipología y formas erosivas producidas por abrasión mecánica.

Este manantial dispone de una estación de aforos de vertedero rectangular y pared gruesa, con registrador en continuo, a partir de cuyas lecturas se ha estimado el caudal medio de descarga en 1.450 l/s, con valores mínimos en torno a 40 l/s en estiajes prolongados y puntas que superan los 17.000 l/s (Figura 6). Se trata de un manantial de comportamiento típicamente kárstico que manifiesta un escaso poder regulador del acuífero y un comportamiento muy poco inercial, con pronunciados e inmediatos incrementos de caudal como respuesta a periodos de fuertes lluvias. Así, solo transcurre 1 día entre unas lluvias importantes y el consiguiente incremento de caudal, mientras que el tiempo de crecida (periodo entre el comienzo de la crecida y el caudal punta) suele ser inferior a 10 días y el tiempo base (entre el comienzo de la crecida y el inicio del agotamiento) es generalmente inferior a 30 días. El análisis de la curva de recesión aporta valores de coeficientes de agotamiento del orden de 10^{-2} días⁻¹.

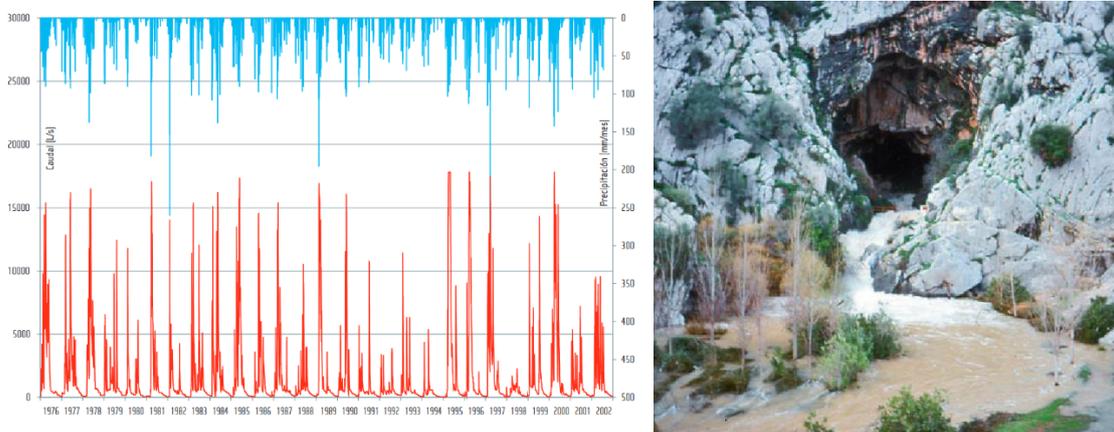


Figura 6. (a) Hidrograma del manantial Cueva del Gato (en azul la precipitación) y (b) una vista del manantial en crecida (tomado de Durán-Valsero (coord.) 2007).

El manantial de la Cueva del Gato es el principal punto de descarga del acuífero kárstico de la Sierra de Lívar, que con una extensión de 84 km², se dispone según una alineación montañosa NE-SW flanqueada en su borde oriental por el río Guadiaro (Figura 7). Otros puntos de descarga importantes del acuífero son el manantial de Benaoján también conocido como del Molino del Santo (1200 l/s), Charco del Moro (500 l/s) y Jimena de Lívar (120 l/s). Todos ellos descargan hacia el río Guadiaro y se encuentran a una cota de entre 462 y 223 m.s.n.m. De ello se deduce que la dirección general de flujo subterráneo en el acuífero de la Sierra de Lívar es principalmente hacia el noreste, en donde se produce aproximadamente el 80 % de la descarga y en menor medida (en un 20%) hacia el este y hacia el sur. Conjuntamente descargan un volumen anual de unos 100 hm³, lo que se aproximaría al total de recursos subterráneos del sistema dada la escasa explotación a la que está sometido (< 1 hm³/año). La mayor parte de estos recursos (65 hm³/año) proceden de la infiltración de una parte de la lluvia caída sobre los afloramientos permeables del acuífero (cifrada en el 55%) y el resto de la infiltración de los cursos superficiales en las cuencas endorreicas con sumideros en el acuífero, en concreto las del río Guadares y del arroyo del Álamo (35 hm³/año).

Las aguas del manantial de la Cueva del Gato presentan una facies hidroquímica bicarbonatada cálcica y una mineralización baja (conductividad eléctrica < 300 μS/cm) con variaciones significativas tanto de mineralización como de temperatura y otros parámetros físico-químicos asociadas a eventos importantes de recarga. En periodos de fuertes lluvias se observa un enfriamiento y dilución del agua del manantial, junto con un notable aumento de la turbidez, consecuencia de la entrada de agua de reciente infiltración de origen superficial.

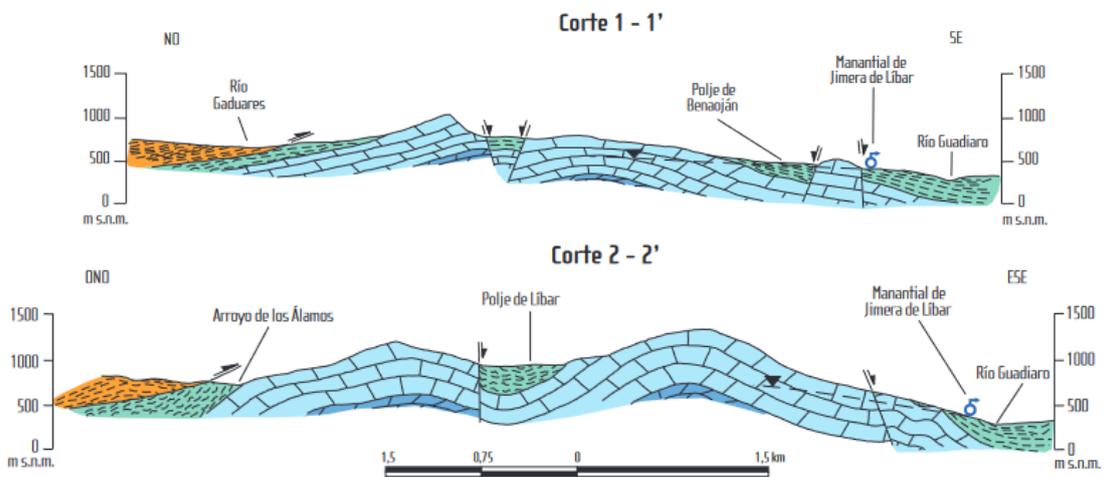
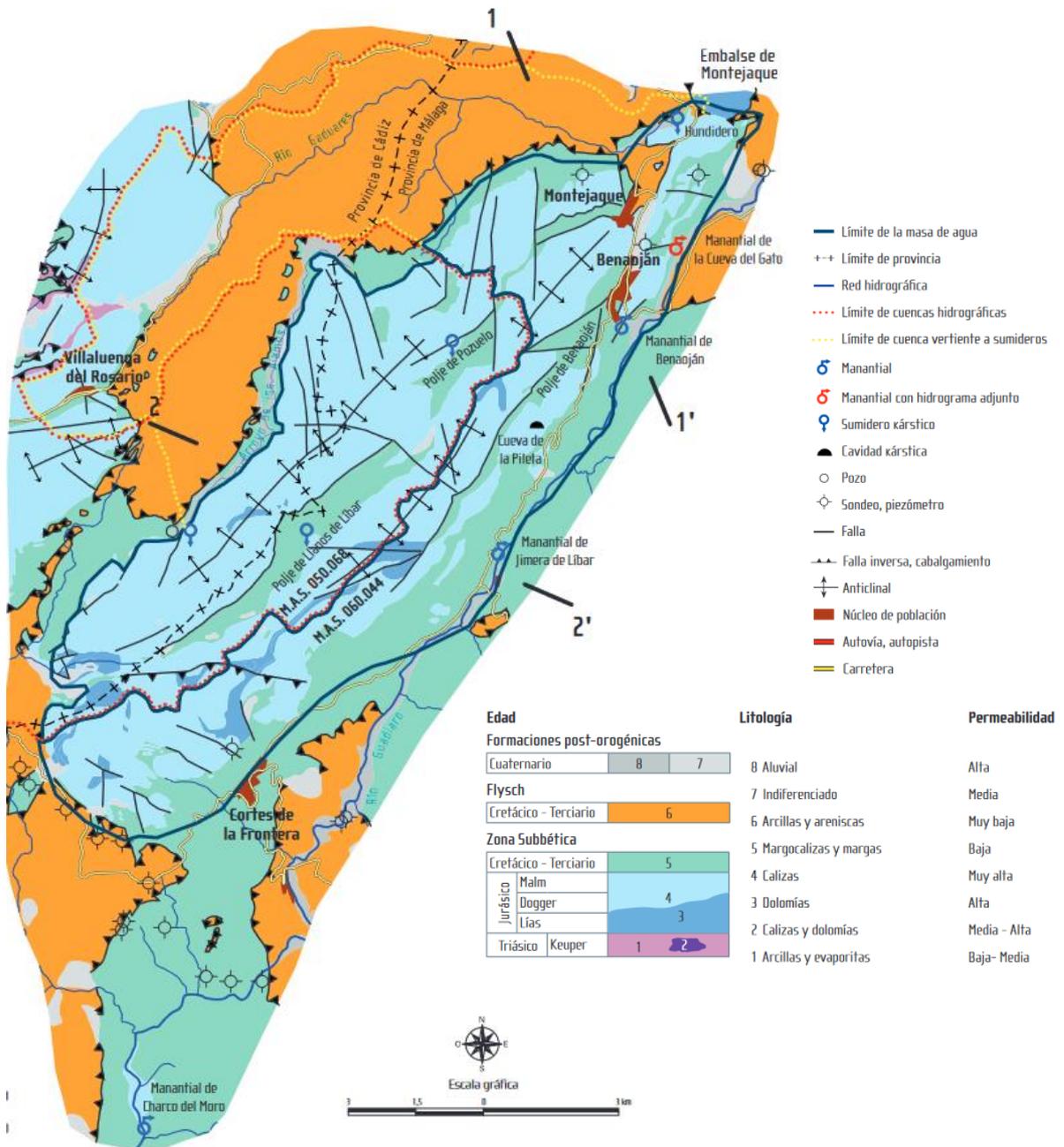


Figura 7. Mapa hidrogeológico del acuífero kárstico de la Sierra de Libar, junto con dos cortes hidrogeológicos interpretativos (tomado de Durán-Valsero (coord.) 2007).

PARADA 3. Cueva de la Pileta

Esta cueva, que tiene un recorrido visitable de casi 2.000 m, es internacionalmente conocida por contener un santuario de arte rupestre prehistórico de diferentes épocas y estilos. Pero a la vez, es una cueva importante desde el punto de vista espeleológico, en la que se pueden observar magníficas salas, galerías y pozos, evidencia de diversos procesos erosivos y en muchas ocasiones, sobre todo en los pisos inferiores, adornados con una gran variedad y cantidad de espeleotemas.

Desde el punto de vista hidrológico, la cavidad hoy en día no es funcional, habría funcionado antiguamente como un colector de los poljes superiores hacia el río Guadiaro, cuyo nivel de base, mucho más alto que el actual, determinaría un régimen freático o anegado. Más tarde, el encajamiento del valle propiciaría el descenso del nivel freático, propiciándose un activo crecimiento de espeleotemas. Existen también indicios de una posterior reactivación, con arroyadas que dejaron sus huellas en bloques y columnas en las galerías bajas. En la actualidad, la cueva no presenta más actividad hídrica que la derivada del goteo y la infiltración superficial, concentrándose las aguas en algunos charcos y pequeños lagos temporales, como el de la llamada Sala del Lago.

BIBLIOGRAFÍA

Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Vías, J.M., Neukum, C., Sinreich, M., Jiménez, P. Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hötzl, H., Perles, M.J. & Zwahlen, F. (2006). Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain). *Science of The Total Environment*, 357, 1–3: 54–73.

Benavente, J. & Mangin, A. (1984). Aplicación del análisis de series de tiempo al sistema espeleológico Hundidero-Gato (Application of time series analysis to Hundidero-Gato speleological system). *Actas del I Congreso Español de Geología*, 3, 541-553.

Compañía Sevillana de Electricidad (1928). Las pérdidas del fondo, su importancia y su arreglo conforme al proyecto que está hecho a base de una capa superficial elástica e impermeable. Informe técnico.

Delannoy, J.J. (1998). Contribución al conocimiento de los macizos kársticos de las Serranías de Grazalema y de Ronda. En *Karst en Andalucía*. Instituto Tecnológico-Geominero de España. Madrid. 93-129.

Durán Valsero, (coord.) (2007). Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Málaga. Madrid, 3 tomos, 702 pp.

García-López, S., Ruiz-Ortiz, V., Muñoz-Pérez, J.M. (2018) Time-lapse photography for monitoring reservoir leakages (Montejaque dam, Andalusia, South of Spain). *Hydrology Research* 49.1, 281-290. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.256>

Jiménez Gavilán, P. (2010). Caracterización hidrogeológica de acuíferos carbonáticos del Sur de España a partir de sus respuestas naturales. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 412 pp.

Naranjo, J. (2009). Historia del Pantano de Montejaque (History of the Montejaque Dam). *El Hacho*, 18: 24-30.

Ruiz-Ortiz, V., García-López, S., Vélez-Nicolás, M., Sánchez-Bellón, A., Contreras de Villar, A., Contreras, F. (2021). Learning from hydrological and hydrogeological problems in civil engineering. Study of reservoirs in Andalusia, Spain. *Engineering Geology*, 282, 105916. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105916>