

## La hidrodiversidad como condicionante del patrimonio natural y cultural. El ejemplo de Los Hoyos (provincias de Málaga y Granada).

### *Hydrodiversity as a determining factor of natural and cultural heritage. The example of Los Hoyos (provinces of Malaga and Granada).*

J.M. Gil-Márquez<sup>1</sup>, B. Andreo<sup>1</sup>, M. Mudarra<sup>1</sup>, L. Linares<sup>2</sup>, F. Carrasco<sup>1,2</sup>, C. Jiménez de Cisneros<sup>3</sup> y J.J. Durán<sup>4</sup>

1 Departamento de Ecología y Geología y Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias s/n, 29071 Málaga.

[josemgil@uma.es](mailto:josemgil@uma.es), [andreo@uma.es](mailto:andreo@uma.es), [mmudarra@uma.es](mailto:mmudarra@uma.es), [fcarrasco@uma.es](mailto:fcarrasco@uma.es)

2 Academia Malagueña de Ciencias. Moratín 4, 29015 Málaga. [luislinares@telefonica.net](mailto:luislinares@telefonica.net)

3 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada. Palmeras 4, 18100 Armilla. [concepcion.cisneros@iact.ugr-csic.es](mailto:concepcion.cisneros@iact.ugr-csic.es)

4 Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. [jjdurán@uma.es](mailto:jjdurán@uma.es)

**Resumen:** El paraje de Los Hoyos es un pequeño enclave kárstico-evaporítico situado entre las provincias de Málaga y Granada. Cuenta con humedales y manantiales, ambos relacionados con las aguas subterráneas, que presentan un amplio rango de mineralizaciones (dulce, salobre, hipersalina) y de facies hidroquímicas (bicarbonatada-cálcica, sulfatada-cálcica, clorura-sódica), fruto de la geología del medio y de distintos procesos hidrogeoquímicos (disolución y precipitación mineral, evapoconcentración). Más allá del valor ecológico de este entorno, en este trabajo se analizan otros valores ligados al agua: intrínsecos, culturales, estéticos, económicos, funcionales y científicos. Todo ello, en su conjunto, hace de este paraje un lugar digno de protección y ejemplifica la importancia de la hidrodiversidad sobre el patrimonio natural y cultural. Los datos aquí presentados y discutidos permiten realizar una propuesta de definición de la hidrodiversidad, que puede servir de base para avanzar en su descripción.

**Palabras clave:** hidrodiversidad, humedal, manantial hipersalino, karst evaporítico, Los Hoyos.

**Abstract:** *Los Hoyos is a small evaporitic karst area located between the provinces of Malaga and Granada. It has wetlands and springs, both related to groundwater, which present a wide range of mineralization values (fresh, brackish and brine water) and hydrochemical facies (calcium-bicarbonated, calcium-sulphated, sodium-chlorate), as a result of the local geology and different hydrogeochemical processes (mineral solution and precipitation, evapoconcentration). Beyond the ecological value of this environment, other values linked to water are analyzed: intrinsic, cultural, aesthetic, economic, functional, and scientific. All of these together make this site worthy of protection and exemplify the importance of hydrodiversity on natural and cultural heritage. The data presented and discussed here permit to propose a definition of the term hydrodiversity, which can help to advance in its formal description.*

**Key words:** *hydrodiversity, wetland, brine spring, evaporitic karst, Los Hoyos area.*

## INTRODUCCIÓN

El término “geodiversidad” comenzó a extenderse durante de la década de 1990. Las primeras definiciones no consideraban los aspectos hidrológicos, pero con el tiempo se ha ido destacando el valor del agua, de diferentes formas, como elemento de la diversidad natural. Actualmente, una de las definiciones más aceptadas de geodiversidad es la propuesta por Gray (2013): la variedad natural (diversidad) de características geológicas (rocas, minerales, fósiles), geomorfológicas (formas del terreno, topografía, procesos físicos), edáficas e hidrológicas. Incluye sus agrupaciones, estructuras, sistemas y contribución a los paisajes.

Por otro lado, el término “hidrodiversidad” ha comenzado a aparecer en la literatura científica para distintos fines: explicar la variedad de humedales, definir la naturalidad de los cauces de los ríos, o incorporar las aguas superficiales y subterráneas al

estudio de la geodiversidad regional. Andreo (2010) consideró este término para referirse a “las diferentes manifestaciones del agua (superficial y subterránea, por ejemplo) y a la diversidad de sus propiedades fisicoquímicas”.

La influencia de la geodiversidad en la biodiversidad es innegable. Uno de los ejemplos más claros es que los aspectos geomorfológicos e hidrológicos son la base de muchas clasificaciones ecológicas de humedales. Es más, cualquier forma de vida depende del agua y diferentes tipos de manifestaciones hidrológicas pueden albergar o promover una biota particular. Además de la provisión de hábitat, la geodiversidad (y la hidrodiversidad) ofrece otros beneficios a la sociedad, incluido servicios de suministro, regulación, apoyo y culturales (Gray, 2013).

Durante las últimas décadas, numerosos países han avanzado notablemente en la protección de su patrimonio geológico, en muchos casos impulsados por

la iniciativa de geoparques de la UNESCO. Mientras que la singularidad y representatividad litológica, mineral, geomorfológica o paleontológica suelen ser

elementos prioritarios de protección, la hidrología y la hidrogeología suelen ser aspectos secundarios.

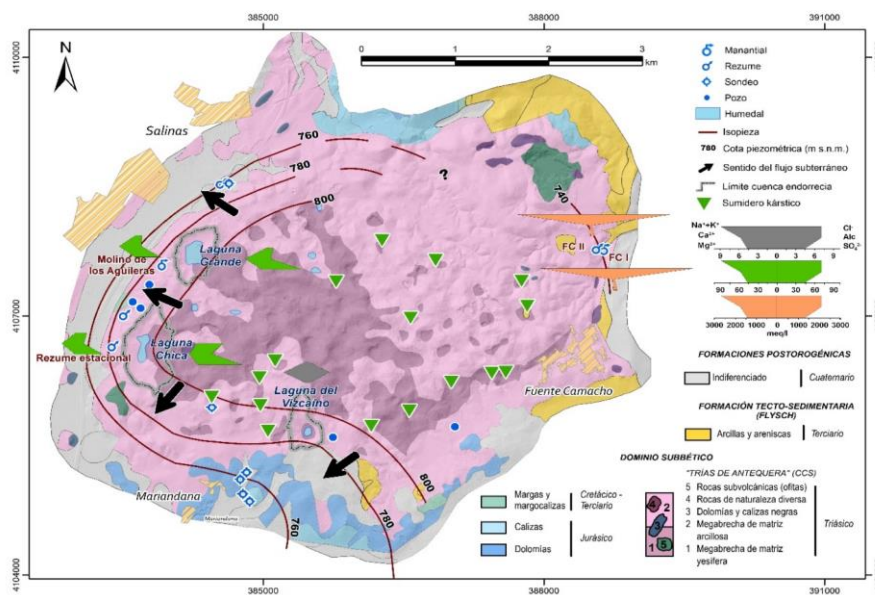


FIGURA 1. Mapa geológico-hidrogeológico del área de Los Hoyos. Modificado de Gil-Márquez (2018) y de referencias en ella.

En este trabajo se describe la hidrodiversidad de Los Hoyos, un afloramiento kárstico evaporítico del sur de España de alto valor geomorfológico y paisajístico. El objetivo es analizar la variedad hidrológica (manantiales, humedales, filtraciones) que existen en la zona, la variabilidad de la mineralización de sus aguas (desde dulces a salobres) y los servicios ecosistémicos y sociales que prestan. Estos aspectos se presentan como ejemplo del valor de la hidrodiversidad y la necesidad de considerarla en las estrategias de conservación.

### MARCO GEOLÓGICO-HIDROGEOLOGICO

El karst evaporítico de "Los Hoyos" (Fig. 1) forma parte del denominado Trías de Antequera (Peyre, 1974), en el N de la provincia de Málaga. A grandes rasgos, está constituido por una matriz arcilloso-evaporítica del Triásico Superior (Keuper) que contiene bloques de diversas litologías y edades, incluido carbonatos y rocas subvolcánicas. Los Hoyos (20 km<sup>2</sup>) posee una forma subcircular que, junto a otras observaciones geomorfológicas, sugieren un origen relacionado con movimientos halocinéticos (Calaforra y Pulido-Bosch, 1999). La parte central de la estructura diapírica está ocupada por yeso, ya sea en forma masiva o como brecha poligénica, cubierta y rodeada hacia los bordes por una megabrecha olistostrómica con matriz arcilloso-evaporítica. La halita no está presente en superficie, debido a su alta solubilidad, pero se conoce su existencia en profundidad (Carrasco, 1986). El levantamiento del terreno provocado por procesos halocinéticos recientes ha generado una mayor elevación de Los Hoyos (~50 m) respecto a los materiales pliocuaternarios circundantes (situados entre 700 -borde E- y 750 m s.n.m. -borde O-).

El desarrollo exokárstico en Los Hoyos es notable, con numerosas depresiones de diferente tipología (colapsos, dolinas, uvalas) y sumideros. Las depresiones situadas en la parte central del área (>800 m s.n.m.) suelen ser pequeñas y presentan inundaciones de corta duración, ya que su fondo se encuentra por encima del nivel freático. Ejemplo de ello es la laguna del Vizcaíno (Fig. 1). Las dolinas situadas hacia los bordes de la estructura diapírica son más extensas y tienen hidroperiodos más largos, debido a que sus cubetas intersectan el nivel freático (Linares, 2008). Es el caso de las lagunas Grande y Chica (Fig. 1). La laguna Grande (Fig. 2) es un humedal permanente, mientras que la laguna Chica se seca en caso de sequías extremas (Rodríguez-Rodríguez et al., 2001).

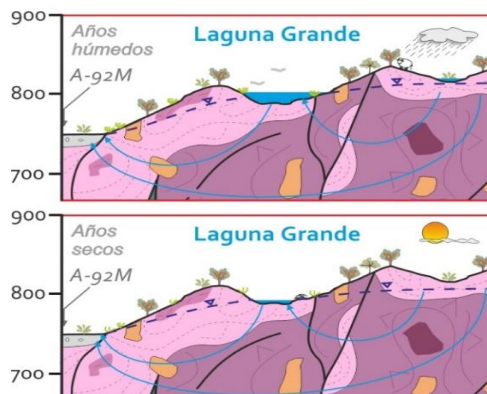


FIGURA 2. Esquema hidrogeológico conceptual de la laguna Grande.

Según el esquema piezométrico de la Figura 1, el agua subterránea fluye desde la parte central del diapiroide hacia su borde occidental. Uno de los principales puntos de descarga es el manantial Molino de los Aguileras (787 m s.n.m.), con un caudal medio de 15 l/s. A pesar de estar situado a 365 m al SO del centro

de la laguna Grande y por debajo del nivel de agua del humedal, los valores isotópicos demostraron que el agua drenada por dicho manantial no proviene, al menos de forma predominante, de este último (Gil-Márquez, 2018). Existe también un pequeño rezume estacional asociado a un antiguo túnel de drenaje de la laguna Chica. En el borde oriental de Los Hoyos, junto a la aldea de Fuente Camacho (Fig. 1), se produce descarga por una polisurgencia hipersalina. En este trabajo, se presentan los datos hidroquímicos de un punto situado a 725 m s.n.m. (FC I) y otro a 748 m s.n.m. (FC II).

La composición química de los puntos de agua se refleja en los diagramas de Stiff de la Figura 1. El agua de la laguna del Vizcaíno, equiparable a la de reciente infiltración, interacciona poco tiempo con la roca, por lo que presenta baja mineralización y facies bicarbonatada-cálcicas. El agua aumenta de mineralización en el sentido del flujo subterráneo, a medida que prolonga su tiempo de permanencia en el medio, debido a los procesos de disolución de los minerales. Ello da lugar a aguas de facies sulfatadas, que emergen en el borde occidental de Los Hoyos. En las lagunas Grande y Chica, hay mayor contenido en solutos, debido a la evapoconcentración del agua. En los flujos de agua subterránea cuyo recorrido se dirige hacia el nivel de base del sistema (Fuente Camacho) la interacción agua-roca es mayor y se originan aguas hipersalinas (Gil-Márquez, 2018).

Así, de acuerdo con Gil-Márquez (2018), los principales procesos que explican la hidrodiversidad del área son: (1) la disponibilidad de distintos minerales en el entorno –yeso, calcita, dolomita, halita, entre otros-; (2) el tiempo de residencia de las aguas subterráneas, de acuerdo con distintas técnicas de datación utilizadas; (3) la evaporación del agua en los humedales; (4) la disolución de calcita y yeso, que favorece la precipitación de la primera por efecto de ion común (5); y la elevada fuerza iónica de las aguas subterráneas, que permite alcanzar tasas de disolución mineral muy elevadas.

## ANÁLISIS DE LA HIDRODIVERSIDAD

La geodiversidad y la hidrodiversidad en el área de Los Hoyos tienen implicaciones sobre la biodiversidad de los ecosistemas. Las lagunas Grande y Chica son las lagunas más profundas de Andalucía, y tienen importancia ecológica regional al ser las únicas lagunas que presentan dinámica de mezcla (Rodríguez-Rodríguez et al., 2001). Estos dos humedales albergan diversas especies de flora y fauna, algunas vulnerables o en peligro de extinción (Morales, 2009). Por estos motivos, entre otros, ambas lagunas están protegidas como Reservas Naturales, tienen la consideración de Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y están incluidas en la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional. Sin embargo, el valor ecosistémico de Los Hoyos va más allá, pues la mayoría de las dolinas pueden almacenar agua superficial durante diferentes intervalos de tiempo y con menor mineralización (p. ej.: laguna de Vizcaíno). Así, las

comunidades vegetales que se desarrollan en ellos, además de en el entorno de los manantiales, poseen rasgos característicos y dan lugar a distintos tipos de hábitats (Morales, 2009). En definitiva, la geodiversidad y la hidrodiversidad condicionan la biodiversidad del lugar y forman parte de su patrimonio natural (Morales, 2009).

No obstante, la hidrodiversidad de Los Hoyos no solo aporta valor ecológico al medio. Según Gray (2013), la humanidad debe proteger la geodiversidad debido a sus valores intrínsecos, culturales, estéticos, económicos, funcionales y científicos. El valor intrínseco implica las dimensiones éticas y filosóficas de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad; es decir, algo es valioso solo por ser lo que es y no por su utilidad. Aunque ello es a veces difícil de justificar o entender, en este caso la relación entre la sociedad y el medio es muy clara, pues ha habido asentamientos humanos en el entorno de Los Hoyos desde el Paleolítico hasta la actualidad. Precisamente, existen evidencias de aprovechamiento de la sal en Fuente Camacho, al menos desde la Edad del Cobre (Terán y Morgado, 2011). Todo ello forma parte del valor cultural de Los Hoyos, que está directamente relacionado con la geoquímica de las aguas subterráneas, lo que a su vez contribuye a la hidrodiversidad.

El valor estético de la naturaleza abiótica en Los Hoyos es innegable. El paisaje kárstico desarrollado sobre el afloramiento está lleno de dolinas y sumideros, conocidos localmente como "hoyos", de los que toma su nombre. De hecho, la riqueza geomorfológica de este enclave motivó su declaración como Lugar de Interés Geológico (LIG) del Inventario Andaluz de Georrecursos. Las características hidrológicas también se consideraron en dicha definición. Uno de los ítems valorados en la declaración de las lagunas Grande y Chica como sitios Ramsar fue su contribución a la heterogeneidad del paisaje, ya que representan elementos hídricos en un entorno relativamente árido (Morales, 2009). Además, los dos humedales constituyen un atractivo fundamental de las rutas de senderismo y ciclismo de la zona, que son actividades de ocio respetuosas con el medio y que pueden suponer un recurso económico indirecto para las localidades del entorno. Otros valores económicos derivados de la geodiversidad de la zona son la extracción de yeso y ofitas (rocas subvolcánicas) para la construcción, y la sal explotada tras la evaporación de la salmuera en Fuente Camacho. Mientras que el aprovechamiento de los dos primeros tipos de rocas impacta en el paisaje de manera negativa, las salinas, directamente relacionadas con la hidrodiversidad, realzan la diversidad paisajística gracias a los depósitos de sal blanca sobre la roca madre, de tonos oscuros (rojo, pardo, etc.). Por último, el uso del agua también proporciona rendimientos económicos. Así, el agua subterránea drenada por el manantial del Molino de los Aguileras es utilizada para el riego de cultivos cercanos. Antes de la protección de los humedales, el agua de las lagunas era canalizada y utilizada para la acción de molinos de agua. Algunas

infraestructuras construidas con esos fines aún se conservan y forman parte del patrimonio cultural.

Desde el punto de vista funcional, el área de Los Hoyos es un karst en evaporitas (yeso y halita) bien desarrollado, con numerosas formas exokársticas, donde los procesos de disolución son todavía activos debido a la elevación halocinética del terreno (Calaforra y Pulido-Bosch, 1999). También son abundantes las formas de infiltración preferente (sumideros) que, junto con la recarga difusa a través de afloramientos permeables y la infiltración concentrada en lechos de dolinas, contribuyen a la alimentación del flujo subterráneo de agua en el sistema (Gil- Márquez, 2018). La descarga del acuífero se produce de diversas formas (manantiales, humedales, filtraciones) y con diferente mineralización (Fig. 1), dependiendo del tiempo de residencia, de la evolución hidrogeoquímica del agua subterránea y de la evapoconcentración de solutos en el caso de las lagunas. Estos factores, además de la sobresaturación de muchas especies minerales en las aguas hipersalinas de Fuente Camacho, dan lugar a singulares depósitos de toba calcárea y precipitados de halita. En concreto, las formaciones tobáceas asociadas al desbordamiento de los humedales, como los observados en las lagunas Grande y Chica, no abundan en otros lugares o, al menos, no están bien documentados en la literatura, a excepción de casos notables (lagunas de Ruidera, Basturs o Estaña).

Todos los procesos geológicos, hidrogeológicos y ecológicos de la zona de Los Hoyos justifican que, desde hace varias décadas, sea un lugar de referencia para actividades docentes de diferentes cursos realizados en las universidades cercanas de Málaga y Granada. Ello, junto a la visita al área como parte del programa de varios congresos científicos internacionales (V Simposio Internacional del Karst, 2014; 46º Congreso de la AIH, 2019) y de jornadas de divulgación (Geología, 2014) evidencian su elevado valor científico y divulgativo.

## CONCLUSIONES

La diversidad de elementos hídricos y procesos hidrogeoquímicos de los Hoyos (Hidrodiversidad) está directamente relacionada con la amplia gama de litologías existentes, la geomorfología kárstica (geodiversidad) y su estructura interna. La combinación de todo ello condiciona el funcionamiento hidrogeológico del área de Los Hoyos y, en definitiva, su gran hidrodiversidad, que podría definirse como el conjunto de manifestaciones hídricas naturales que existen en una zona, continentales o marinas, superficiales o subterráneas. Los criterios básicos para su valoración cualitativa estarían relacionados con su tipología (génesis), sus variaciones naturales (hidroquímica e hidrodinámica) y los procesos hidrológicos que las provocan. En el caso de las aguas subterráneas, la hidrodiversidad está fundamentalmente motivada por la diversidad de orígenes y su relación con las litologías dominantes, las facies hidroquímicas y el tiempo de residencia en el subsuelo.

La hidrodiversidad es clave para la rica biodiversidad de la zona, concentrada principalmente en el entorno de los humedales, y para su patrimonio cultural, estrechamente ligado al uso del agua y la extracción de sal de las aguas subterráneas salinas (desde el Paleolítico). Así, la protección de todos estos elementos no es posible sin preservar el patrimonio hidrológico; no sólo las manifestaciones hídricas en sí (manantiales, humedales) sino todos los elementos que intervienen en su dinámica natural (zonas de recarga, vías de flujo, relación agua subterránea-agua superficial, entre otros).

La protección de la hidrodiversidad no puede ser objeto de interés sólo para individuos o para la comunidad científica. Antes, al contrario, es necesario el compromiso total de las comunidades en la protección del patrimonio hidrológico. En ese sentido, es preciso avanzar en la definición y promoción de la diversidad geológica, y en particular de la hidrodiversidad, para que la sociedad llegue a valorarla como lo hace actualmente con la diversidad biológica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del Grupo de Investigación RNM-308 de la Junta de Andalucía a los proyectos P20-01118 del PAIDI de la Junta de Andalucía y LIFEWATCH-2019-04-AMA-01.

## REFERENCIAS

- Andreo, B. (2010): Geodiversidad + Hidrodiversidad = Biodiversidad. *Uciencia*, 5:40-43.
- Calaforra, J.M. y Pulido-Bosch, A. (1999): Gypsum karst features as evidence of diapiric processes in the Betic Cordillera. *Geomorphology*, 29: 251-264.
- Carrasco, F. (1986): *Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce. El medio físico. Hidrogeoquímica*. Univ. de Granada, 435 p.
- Gil-Márquez, J.M. (2018): *Caracterización hidrogeológica de humedales y manantiales salinos asociados a acuíferos kársticos evaporíticos del sector central del Subbético*. Univ. de Granada, 512 p.
- Gray, M. (2013): *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*, 2ª ed. John Wiley & Sons, 512 p.
- Linares, L. (2008): Lagunas y humedales andaluces relacionados con surgencias. En: *Manantiales de Andalucía* (A. Castillo, coord.). Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía, Sevilla, 153-167.
- Morales, I.R. (2009): Ficha Informativa Ramsar (FIR) de la Reserva Natural Lagunas de Archidona.
- Peyre, Y. (1974): *Géologie d'Antequera et de sa région (Cordillères bétiques, Espagne)*. Univ. de París, 518 p.
- Rodríguez-Rodríguez, M., Cruz-Pizarro, L., Cruz, J.J., Benavente, J. y Almécija, C. (2001): Caracterización limnológica de dos lagunas saladas del sur de la península Ibérica. *Limnetica*, 20: 233-243.
- Terán, J. y Morgado, A. (2011): El aprovechamiento prehistórico de sal en la Alta Andalucía. El caso de Fuente Camacho (Loja, Granada). *Cuad. Prehist. y Arqueol. de la Univ. Granada*, 21: 221-249.