

Caracterización isotópica de las lagunas de Cañada del Hoyo (Cuenca)

Isotopic characterization of the Cañada del Hoyo Lakes (Cuenca)

Marcel-Saïd Galofré Penacho^{1*}, Inés de la Parra Muñoz², Antonio Delgado Huertas¹, Paz Errea², Miguel Ángel Marazuela Calvo³ y Blas Lorenzo Valero Garcés²

¹ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT-CSIC). Av. de las Palmeras 4, 18100 Armilla. (*)

marcel.galofre@csic.es, antonio.delgado@csic.es

² Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Av. de Montañana 1005, 50059 Zaragoza.

ines@ipe.csic.es, paz@ipe.csic.es, blas@ipe.csic.es

³ Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC). C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.

ma.marazuela@igme.es

*Corresponding author

ABSTRACT

We evaluate aquifer connectivity and lake dynamics using the chemical and isotopic signatures of the waters from lakes, springs, wells, and the Guadazaón River from the Cañada del Hoyo Lake Complex (Cuenca). The lakes are associated with Cretaceous aquifers that are hydrogeologically disconnected from Jurassic and Cenozoic materials. Besides, differences in the chemical and isotopic composition of spring waters suggest that the recharge of the Jurassic aquifer does not affect the Cañada del Hoyo Lakes. Evaporation and calcite precipitation are key processes in the hydrochemical evolution of the lakes. Isotopic values from the springs indicate a rapid recharge without significant evaporation processes. Springs with high nitrate concentrations are associated with minor aquifers influenced by local agricultural activity. This study confirms the main recharge of the Cañada del Hoyo Lake Complex are the Cretaceous aquifers and that the hydrological differences among the lakes depend on localized aquifers individualized by marly lithologies.

Key-words: Limnology, Hydrochemistry, Stable Isotopes.

RESUMEN

El análisis químico e isotópico de las aguas de las lagunas, fuentes, pozos y el río Guadazaón en Cañada del Hoyo (Cuenca) permite evaluar la conectividad de los acuíferos y la dinámica hidrológica de las lagunas. Las lagunas están asociadas a acuíferos cretácicos que están desconectados hidrogeológicamente de los materiales jurásicos y cenozoicos. Las diferencias en la composición química e isotópica de las aguas de fuentes sugieren que la recarga del acuífero jurásico no afecta a las Lagunas de la Cañada del Hoyo. La evaporación y la precipitación de calcita son procesos claves en la evolución hidroquímica de las lagunas. Los valores isotópicos de los manantiales indican una recarga rápida sin procesos importantes de evaporación. Algunos manantiales con elevada concentración de nitratos se asocian a acuíferos menores, influenciados por la actividad agrícola local. Este estudio confirma que la recarga principal del sistema está asociada a los acuíferos cretácicos. Las lagunas están más influenciadas por acuíferos locales, que llegan a estar individualizados debido a la presencia de litologías impermeables (margas), de la recarga principal en los acuíferos cretácicos.

Palabras clave: Limnología, Hidroquímica, Isótopos Estables.

Geogaceta, 78 (2025), 15-18

<https://doi.org/10.55407/geogaceta113675>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 10/02/2025

Fecha de revisión: 24/04/2025

Fecha de aceptación: 30/05/2025

Introducción

Las Torcas de Cañada del Hoyo (Figura 1) se sitúan al este de la provincia de Cuenca, dentro del dominio occidental de la Serranía de Cuenca (Rama Castellana de la Cordillera Ibérica). Este complejo lagunar se desarrolla en un polje abierto que ha capturado algunas depresiones y que finalmente fue disectado por el río Guadazaón (Gutiérrez-Elorza y Valverde, 1994). Las depresiones aparecen en las formaciones carbonatadas del Cretácico Superior - que alcanza un espesor regional de 300 a 370 metros (del Olmo y Álvaro, 1989; Martínez-Parra, 2014) - y su desarrollo ha sido favorecido por las alineaciones tectónicas de dirección NO-SE.

El complejo incluye siete lagunas con agua en la margen derecha del Guadazaón. La hidrología regional fue estudiada por el IGME y la CHJ en las décadas de los 80-90 del siglo pasado (IGME, 1980; 1982; IGME-CHJ, 1992) y ha sido actualizada recientemente (Martínez-Parra, 2014, 2020). El principal acuífero está compuesto por las formaciones del Cretácico Superior (Campaniense y Turoniense, con una potencia máxima de 255 m) y acuíferos secundarios se localizan en las facies tabreadas del Cenomaniense (aproximadamente 100 m de potencia) (Del Olmo y Álvaro, 1989; Martínez-Parra, 2020). De acuerdo con este modelo hidrogeológico (Martínez-Parra, 2014, 2020) el acuífero cretácico que alimenta las Torcas de Ca-

ñada del Hoyo es de tipo multicapa con una limitada conexión vertical y separado por umbrales hidrogeológicos que limitan la conexión hidrológica con los materiales jurásicos y terciarios. Las intercalaciones de margas verdes en la base del Cenomaniense y de las materiales detríticos de las Fm. Utrillas y facies Weald en el Cretácico Inferior funcionan como niveles impermeables basales. Las Lagunas de La Cruz, El Tejo, Lagunillo del Tejo y La Parra se emplazan en carbonatos del Cenomaniense, con el nivel impermeable basal de las margas del Cenomaniense (Barreiro-Lostres et al., 2013; Barreiro-Lostres et al., 2017; Martínez-Parra, 2020). En las lagunas de Cardenillas, Tortugas y La Llana, las areniscas, arcillas y margas de la base

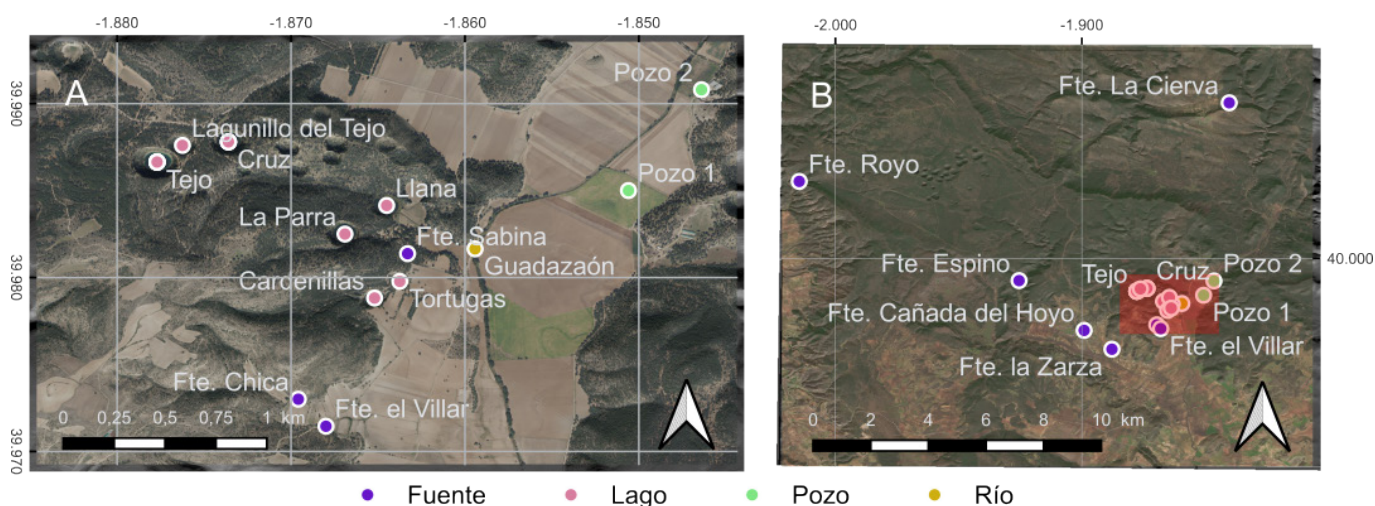


Fig. 1.- Mapa de la zona de estudio mostrando la ubicación de los puntos de muestreo. A) Detalle del complejo lagunar de Cañada del Hoyo. B) Vista general con todos los puntos muestreados. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Map of the study area showing the location of sampling points. A) Detail of the Cañada del Hoyo lagoon complex. B) General view with all sampled points. See color figure in the web.

del Cenomaniense y la Fm. Utrillas actúan como niveles de base. La zona de recarga de las lagunas se ha situado en las formaciones jurásicas situadas unos 20 km al norte en las Torcas, en la zona denominada Tierra Muerta (Carmona y Bitzer, 2001). Sin embargo, el modelo hidrogeológico de Martínez-Parra (2014, 2020) considera que no hay conexión entre ambas zonas y la recarga de las Torcas se produce en el acuífero cretácico cercano a las mismas.

En esta contribución se resumen los resultados de un muestreo estacional realizado en 2022 - 2023 que incluye caracterización química e isotópica de las aguas de las lagunas, surgencias y pozos. Las características de la composición isotópica de las aguas apoya el modelo hidrogeológico multicapa y la recarga directa en materiales cretácicos.

Metodología

Se realizó una monitorización anual en cuatro campañas en diciembre de 2022, y en marzo, junio y septiembre de 2023. En todas ellas se muestrearon las siete lagunas del complejo, nueve manantiales, dos pozos, una zona encharcada cercana a la surgencia de la Cierva (Tragaderos) y el río Guadazaón. En todos los puntos se tomó una muestra de un litro de agua para determinar la composición de aniones y cationes disueltos. En las lagunas, las muestras se tomaron con una botella Niskin a varias profundidades. También se tomaron muestras en viales plásticos para analizar el $\delta^{18}\text{O}$ y el δD del agua. Para analizar el $\delta^{13}\text{C}$ del carbono inorgánico disuelto y el $\delta^{15}\text{N}$ de los nitratos disueltos, se to-

maron cinco viales de 12 mL tratados con HgCl_2 para prevenir la actividad biológica y se filtraron in situ.

La concentración de aniones (F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) y cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NH_4^+) se obtuvo mediante cromatografía iónica (930 Compact IC Flex Metrohm) en el Servicio de Análisis de Agua del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC).

Las razones isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y D/H se determinaron mediante un analizador de relaciones isotópicas PICARRO L2140-i en el laboratorio del grupo de Biogeoquímica de Isótopos Estables del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT-CSIC).

Para el análisis de $\delta^{13}\text{C}$ del Carbono Inorgánico Disuelto (CID) de las muestras de agua, el carbono se liberó en forma de CO_2 mediante reacción durante 48 horas a 25°C con ácido fosfórico. Los valores $\delta^{13}\text{C}$ se obtuvieron tras purificar el CO_2 en un GasBench acoplado a un espectrómetro de masas DeltaPlus XP.

La determinación del $\delta^{15}\text{N}$ del nitrato se llevó a cabo siguiendo un protocolo basado en el descrito por McIlvin y Altabet (2005).

Resultados

Hidroquímica

Todas las aguas son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y, debido a la naturaleza carbonatada del emplazamiento, el ion dominante es el HCO_3^- . La laguna de las Tortugas así como las aguas de los pozos y del río Guadazaón

se distinguen por la alta concentración de SO_4^{2-} (entre 1132 - 477, 124 - 98 y 127 - 69 mg/L, respectivamente).

Los cationes de las surgencias analizadas muestran una gran variabilidad, asociada a la geología de su emplazamiento. En todas las lagunas, el magnesio es el catión dominante, con valores que oscilan entre 50-55 mg/L en las lagunas de la Parra y Ljana, 80 mg/L en la laguna del Tejo, 90 - 100 mg/L en las lagunas de la Cruz y de Cardenillas, y valores máximos de 140 mg/L y 660 mg/L en el lagunillo del Tejo y la laguna de las Tortugas, respectivamente.

Isotopía del agua

Las aguas del río Guadazaón, las surgencias y los pozos presentan una firma isotópica homogénea ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ entre -8.45 y -7.16 ‰), mientras que las lagunas muestran valores notablemente más enriquecidos, con un rango entre -2.09 y +8.02 ‰ (Figura 2). Entre estas últimas, las muestras de La Cruz, el Lagunillo del Tejo y la laguna de Cardenillas registran valores menos negativos que las de la Ljana y la Parra, destacando el Lagunillo de las Tortugas por su amplia variabilidad (abarcando todo el espectro observado en las lagunas).

En el caso de las lagunas, los valores de exceso de deuterio ($d = \delta\text{D} - 8 * \delta^{18}\text{O}$) permiten identificar cuatro grupos (Figuras 2 y 3): 1) La Ljana y La Parra con los valores menos negativos, entre -14 y -22 ‰ y con poca dispersión; 2) Cardenillas, la Cruz y el Tejo con valores ligeramente más negativos (-28 a -39 ‰); 3) Lagunillo del Tejo (entre -28 y -44 ‰) y Lagunillo de las Tor-

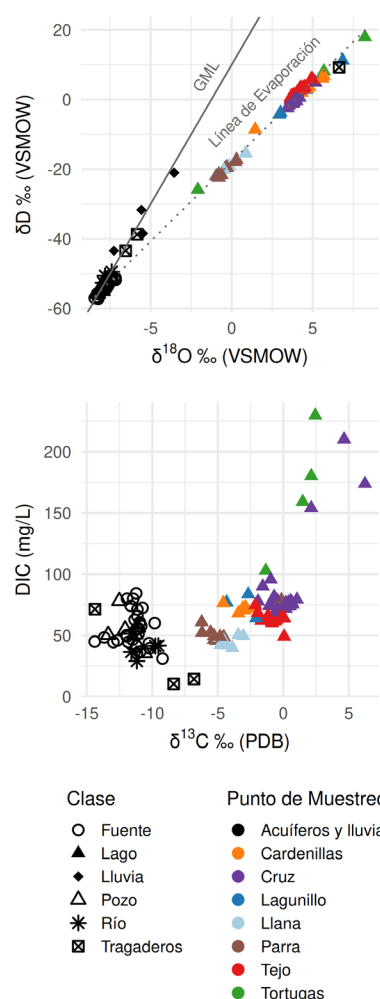


Fig. 2.- Distribución isotópica de A) $\delta^{18}\text{O}$ vs δD de las diferentes muestras y B) $\delta^{13}\text{C}$ vs concentración de Carbono Inorgánico Disuelto de las muestras. Las lagunas se representan mediante triángulos de distintos colores. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Isotopic distribution of A) $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD of the different samples, and B) $\delta^{13}\text{C}$ vs Dissolved Inorganic Carbon concentration of the samples. The lakes are represented by triangles of different colors. See color figure in the web.

tugas (entre -9 y -48 ‰) con un rango de dispersión mayor, 4) Tragaderos con una elevada dispersión entre valores cercanos a los de la precipitación (+8.9 ‰) hasta los más evolucionados (-44 ‰).

Isotopía del Carbono Inorgánico Disuelto

Considerando la concentración de carbono inorgánico disuelto (CID) y los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se pueden diferenciar tres grupos (Figura 3): i) las surgencias, pozos y el río Guadazaón presentan una concentración de CID similar a la de las lagunas (40 - 100 mg/L) - excepto la de Tortugas y las aguas profundas de La Cruz (> 150 mg/L) - pero con una señal isotópica

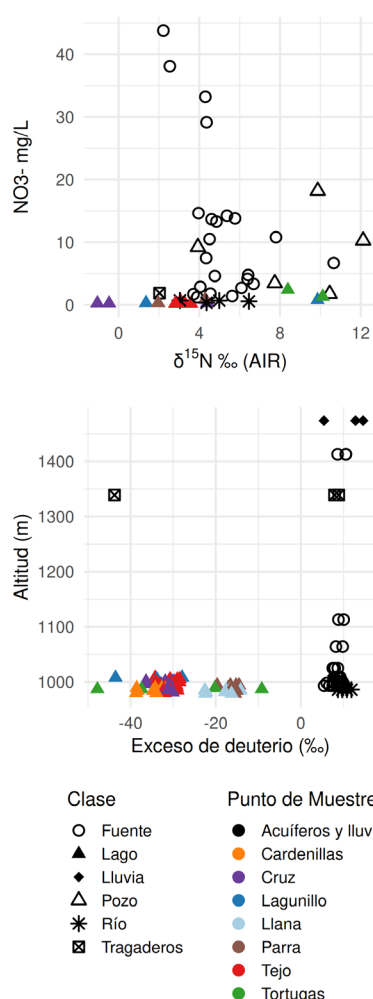


Fig. 3.- Distribución isotópica de A) $\delta^{15}\text{N}$ del NO_3^- en función de su concentración y B) distribución del valor de exceso de deuterio en función de la altitud. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Isotopic distribution of A) $\delta^{15}\text{N}$ of NO_3^- as a function of its concentration and B) distribution of deuterium excess value as a function of altitude. See color figure in the web.

marcadamente más ligera (entre -14.40 y -9.22 ‰ vs V-PDB), ii) En el otro extremo, encontramos las aguas profundas de la laguna de la Cruz y las aguas de la laguna de las Tortugas en los muestreos de 2023. Estas presentan mayores concentraciones de CID (> 150 mg/L) y una señal isotópica más positiva que el resto de los puntos analizados (+1.5 y +6.2 ‰ vs V-PDB) iii) Por último, la mayoría de las aguas analizadas en las lagunas se agrupan en dos sub-grupos próximos entre sí: Uno compuesto por las lagunas de La Parra y La Llana, con concentraciones de CID ligeramente inferiores (40 - 60 mg/L) y señales isotópicas más ligeras (entre -3.06 y -6.23 ‰). El otro lo conforman las aguas de las lagunas del Tejo, La Cruz, el Lagunillo del Tejo, Cardenillas y la Laguna de las Tortugas (diciembre 2022) con va-

lores de CID entre 49 y 103 mg/L y de $\delta^{13}\text{C}$ entre +6.23 y -4.59 ‰).

Isotopía de los Nitratos

Las concentraciones de NO_3^- en las lagunas, a excepción de la Laguna de las Tortugas, son inferiores a 1 mg/L, mientras que en varias surgencias (Zarza y Cañada del Hoyo) y en los pozos se registran valores considerablemente más elevados (> 30 mg/L). Estos resultados coinciden con los documentados en estudios previos (Martínez-Parra, 2020; JCCM-UV, 2019). Las surgencias con mayores concentraciones de NO_3^- se localizan aguas abajo del complejo lagunar y son las más próximas al núcleo poblacional de Cañada del Hoyo. El nitrógeno de estas fuentes presenta una señal isotópica característica entre +2 ‰ y +4 ‰ (Figura 3).

Discusión

Los valores isotópicos confirman que los procesos de evaporación y precipitación de calcita sugeridos por estudios previos (Carmona y Bitzer, 2001; Martínez-Parra, 2020) son los principales mecanismos que controlan la evolución hidroquímica de las lagunas de Cañada del Hoyo. Durante los periodos de menor recarga, especialmente en verano, el descenso del flujo subterráneo favorece la concentración isotópica por evaporación. Las lagunas del Tejo y la laguna de Cardenillas, con los valores de exceso de deuterio más negativos ($d = -28$ a -44 ‰) indican una mayor evolución de sus aguas (Cui et al., 2016). Por el contrario, las lagunas de La Parra y La Llana, con valores de "d" menos negativos (-14 a -22 ‰), indican una menor influencia de la evaporación, probablemente asociada a tiempos de residencia más cortos o a una recarga más activa.

La marcada variabilidad isotópica en el Lagunillo de las Tortugas ($d = -9$ a -48 ‰) sugiere una compleja interacción entre aguas sometidas a una intensa evaporación y posibles contribuciones de subacuíferos locales con composiciones isotópicas más ligeras. Esta hipótesis se ve reforzada por la posición topográfica más baja de la laguna y su conexión con materiales detríticos de la Formación Utrillas, que podrían actuar como niveles semi confinantes. Por su parte, la zona de Tragaderos muestra una firma isotópica heterogénea, con valores que oscilan entre composiciones meteoríticas y evolucionadas, lo que indica un

comportamiento transitorio como área de acumulación de aguas de escorrentía sometidas a evaporación antes de infiltrarse.

La composición isotópica de los manantiales se sitúa en el entorno de la línea meteórica mundial, lo que indica que se tratan de aguas que mantienen los valores de la precipitación, con una recarga rápida y sin interacción con la atmósfera (evaporación). Los valores de exceso de deuterio ($d = \delta^2H - 8 \cdot \delta^{18}O$, Dansgaard, 1964) en las surgencias y pozos oscilan en torno a 10 ‰ y son similares a la línea meteórica mundial (y el río Guadazaón) mostrando poca evolución de las aguas antes de infiltrarse o en su movimiento en el acuífero.

Aunque Carmona y Bitzer (2001) propusieron que los materiales jurásicos de Tierra Muerta constituirían la principal zona de recarga para los acuíferos cretácicos que alimentan las lagunas, los datos de este estudio muestran limitaciones para confirmar esta conexión. La ausencia de muestreo directo en surgencias jurásicas en el área de Tierra Muerta impide realizar una comparación isotópica directa. Sin embargo, las diferencias observadas entre la composición de las aguas de las lagunas (enriquecidas isotópicamente, con $\delta^{18}O$ hasta +8.02 ‰) y las surgencias analizadas en el área de estudio (con valores cercanos a la línea meteórica global, $\delta^{18}O = -8.45$ a -7.16 ‰) sugieren una dinámica hidrológica dominada por procesos locales en los acuíferos cretácicos, más que por un flujo regional procedente del Jurásico (Figura 3). La delimitación del área principal de recarga de las lagunas, teniendo en cuenta la caracterización hidrogeoquímica e isotópica parece apuntar a la superficie del acuífero cretácico, coherente con los estudios de la estructura de los acuíferos y su conectividad (Martínez-Parra, 2020). Las diferencias isotópicas entre las lagunas sugieren una influencia de acuíferos locales, independizados por las diferentes litologías intermedias en la serie cretácica.

Las elevadas concentraciones de NO_3^- (>30 mg/L) detectadas en algunas surgencias cercanas a núcleos urbanos con valores elevados de ($\delta^{15}N$ entre +2 y +4 ‰) revelan un claro impacto antrópico, probablemente asociado a actividades agrícolas y vertidos. Sin embargo, la baja concentración de nitratos en la mayoría de las lagunas (<1 mg/L) sugiere que estos contaminantes no alcanzan el sistema lagunar, posiblemente debido a la existencia de barreras geológicas naturales y procesos de atenuación.

Conclusiones

El estudio isotópico realizado en las lagunas de Cañada del Hoyo durante el periodo 2022-2023 confirma que estas dependen de acuíferos locales dentro de la serie cretácica, compartimentados por las diferentes litologías intermedias. Los resultados apuntan a que la zona principal de recarga se encuentra en los propios materiales cretácicos, descartando una conexión significativa con los acuíferos jurásicos. Se han identificado tres grupos diferenciados de lagunas en función de su altitud y el subacuífero asociado, mostrando distintos grados de evolución hidroquímica: (1) las lagunas superiores (El Tejo, La Cruz) y Cardenillas, caracterizadas por valores de exceso de deuterio más negativos ($d = -28$ a -44 ‰) que indican una mayor evolución por evaporación; (2) las lagunas intermedias (La Parra y La Llana), con valores menos negativos ($d = -14$ a -22 ‰) que sugieren menor influencia evaporativa; y (3) el Lagunillo de las Tortugas, que muestra la mayor variabilidad isotópica ($d = -9$ a -48 ‰) debido a su posición topográfica baja y conexión con materiales detríticos de la Formación Utrillas. De igual manera, los mismos grupos quedan definidos en función de la composición isotópica del DIC, con el añadido de las aguas profundas de la laguna de La Cruz, que debido a la meromixis presentan valores isotópicos muy pesados (> 5 ‰). La evolución del agua en las lagunas está controlada por la precipitación de carbonatos y la evaporación. Por otro lado, las surgencias con mayores concentraciones de nitratos se localizan cerca de los núcleos poblacionales de Cañada del Hoyo y La Zarza, al sur del complejo lagunar, indicando un origen antrópico relacionado con la actividad agrícola local.

Contribución de los autores

De la Parra, Valero y Galofré organizaron y realizaron las campañas de campo. Delgado y Galofré realizaron los análisis isotópicos. Valero y De la Parra realizaron los análisis hidroquímicos. La redacción ha sido llevada a cabo por los seis autores.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la Junta de Comunidades de Castilla -

La Mancha mediante el contrato "Estudio del funcionamiento hidrogeológico de las lagunas de Cañada del Hoyo", ref SSCC. EN/171/22 y CU-17/22). Agradecemos a los responsables del "Monumento Natural Lagunas de Cañada del Hoyo", así como a Miguel Madrid y Javier Cañada, por su apoyo durante la realización del trabajo de campo. Asimismo, queremos expresar nuestra gratitud a Lucía y Simón por su buena disposición, la cual nos permitió trabajar en gran parte de las lagunas.

Referencias

- Barreiro-Lostres, F., Moreno, A., Giralt, S. y Valero-Garcés, B.L. (2013). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 179-19. <https://doi.org/10.18172/cig.2005>
- Barreiro-Lostres, F., Moreno, A., González-Sampériz, P., Giralt, S., Nadal-Romero, E. y Valero-Garcés, B. (2017). *CATENA* 149, 782-798. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.024>
- Carmona, J.M. y Bitzer, K. (2001). Las caras del agua subterránea: *congreso, en memoria de Germán Alfonso Galarza López* 1, 451-460.
- Cui J, Tian L, Biggs TW, Wen R. (2016). *Hydrological Processes* 31, 1034-1046. <https://doi.org/10.1002/hyp.11085>
- Dasí y Miracle (1991). *Limnetica* 7, 37-59.
- Del Olmo, P. y Álvaro, M. (1989). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 610 (Cuenca) y memoria*. IGME, Madrid, 56 p.
- Gutiérrez Elorza, M. y Valverde, M. (1994). *Cuaternario y geomorfología* 8, 87-95.
- IGME. (1982). *Proyecto de investigación de infraestructura hidrogeológica en el sistema 18 y zonas adyacentes en la provincia de Cuenca*. Informe inédito.
- IGME. (1980). *Estudio hidrogeológico preliminar de la cabecera del Júcar*. Sistema 18. Informe inédito.
- IGME - Confederación Hidrográfica del Júcar. (1992). *Propuesta de normas de explotación de Unidades Hidrogeológicas en el Sistema Hidráulico Alarcón-Contreras*. 1991-1992. Informe inédito.
- Martínez-Parra, M. (2020). *Boletín Geológico y Minero* 131, 709-729. <https://doi.org/10.21701/bolgeo-min.131.4.011>
- Martínez-Parra, M. (2014). *Hidrogeología de la serranía de Cuenca*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 528 p.
- McIlvin, M. y Altabet, M. (2005). *Analytical Chemistry* 77, 5589-95. <https://doi.org/10.1021/ac050528s>