

HIDROGEÓLOGÍA

2025 ZARAGOZA



Asociación Internacional de Hidrogeólogos
Grupo Español



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
CSIC



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
IGME

EXCURSIÓN GRATUITA Y GUIADA

Sábado 22 de marzo de 2025

Ejea de los Caballeros
(Salida desde Zaragoza)

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

Ven a visitar el **humedal experimental** construido para la depuración de las aguas de retorno de riego de la cuenca de Lerma



PLAZAS LIMITADAS

Reserva en: zaragoza@igme.es



PUNTO DE ENCUENTRO:

Parking de Macanaz
Aparcamiento de Autobuses
C/ García Arista-Avda. Pirineos (Zaragoza)



Salida: 8:30 h.

Regreso (estimado): 14:30 h.

MÁS
INFORMACIÓN:



APADRINA
UNA ROCA



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 CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC). En esta edición se ha contado con la colaboración del Grupo de Investigación MAiMA isótopos estables, mineralogía y geoquímica, de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Barcelona; el máster de Hidrogeología y Modelización MHM (UB-IDAEA); el proyecto NPP-SOL, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU) y por la Unión Europea con el programa PRIMA; el proyecto AgroSOS (MICIU); el Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GeoAp) del Gobierno de Aragón; y con la Delegación en Aragón del CSIC.

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 2025** se celebra el 22 de marzo en la localidad de Ejea de los Caballeros y tiene como temática “Soluciones basadas en la naturaleza. El humedal experimental construido para la depuración de las aguas de retorno de riego de la cuenca de Lerma”.

Se llevará a cabo una visita guiada en el entorno de la pequeña cuenca de Lerma situada a pocos kilómetros de Ejea de los Caballeros, en la que se han previsto tres actividades destacadas:

- 1) Visita del museo Acuagraria.
- 2) Presentación de los proyectos AgroSOS y NPP-SOL.
- 3) Recorrido por la cuenca del barranco de Lerma (Ejea de los Caballeros).
- 4) El humedal experimental de la cuenca de Lerma.

ITINERARIO

El punto de encuentro será en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses (C/ García Arista-Avda. Pirineos) (Figura 1).



Figura 1. Vista del punto de encuentro en el Parking de Macanaz; Aparcamiento de Autobuses en C/ García Arista-Avda. Pirineos.

INTRODUCCIÓN

Recepción. 8:30 h. 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 Ejea de los Caballeros (Salida 8:45 h.).

Parada 1. Sobre las 9:45 horas iniciaremos una breve visita guiada al museo Agraria en Ejea de los Caballeros. La visita permitirá tomar conciencia del papel que ha tenido el agua y el Canal de Bardenas en el desarrollo social y económico de la zona y se verá la exposición de maquinaria agrícola.

Proyectos AgroSOS y NPP-SOL. En una sala del museo se proyectarán audiovisuales con referencia a estos proyectos de investigación del MICIU, que sintetizan el objetivo y la actividad realizada en el barranco de Lerma, enfocada al control y seguimiento de la contaminación por nitratos.

A continuación, alrededor de las 11:15 h., cogeremos de nuevo el autobús que nos llevará hasta el barraco de Lerma, situado a unos 9 km de Ejea de los Caballeros.

Recorrido por la cuenca del barranco de Lerma. Se realizará un recorrido en autocar por el área regable de la cuenca de Lerma, visitando los puntos de extracción y bombeo de agua, balsas, Acequia de Sora y piezómetros de control de agua subterránea.

Parada 2. El humedal experimental de la cuenca de Lerma. En este punto del barranco se explicará el funcionamiento de este humedal artificial, la actividad de investigación y las experiencias que se realizan para la depuración y el control de la contaminación por nitratos a las aguas subterráneas procedente del retorno de riegos.

La contaminación por nitrato (NO_3^-) es un problema medioambiental y de salud pública que afecta principalmente a las aguas subterráneas y superficiales de todo el mundo, derivado principalmente de la agricultura intensiva. El nitrato proviene, sobre todo, de los fertilizantes químicos y de los estiércoles de la ganadería utilizados para mejorar el rendimiento de los cultivos. Éste compuesto es fácilmente soluble en agua y, cuando se aplican fertilizantes en exceso, se filtran hacia los acuíferos, afectando tanto a fuentes de agua potable como a ríos y lagos.

El principal impacto de esta contaminación es la alteración de la calidad del agua, que puede causar la aparición de enfermedades como la metahemoglobinemia (o síndrome del bebé azul), una afección que impide el transporte adecuado de oxígeno en la sangre de los lactantes, provocada por la ingesta de agua contaminada con nitrato. Además, el exceso de nitrato puede generar un fenómeno de eutrofización en los ecosistemas acuáticos, favoreciendo el crecimiento descontrolado de algas que reduce la cantidad de oxígeno en el agua, afectando la biodiversidad y alterando los ciclos biológicos de los ecosistemas.

A nivel de políticas, España se ha comprometido a cumplir con la normativa europea existente desde los años 90 en cuanto a la calidad del agua. Por este motivo, se han declarado varias zonas vulnerables a la contaminación por nitrato, donde se regulan las prácticas agrícolas para limitar el uso de fertilizantes. A pesar de esto, debido a que el nitrógeno de los fertilizantes puede quedar retenido durante décadas (Sebilo *et al.*, 2003), y a la falta de control efectivo para el cumplimiento de las normativas, mantener los niveles de nitrato por debajo del límite para el

consumo (50 mg/L) sigue siendo un reto. La situación exige un enfoque integral que incluya una mejor gestión de los recursos hídricos y una agricultura más sostenible para mitigar el impacto del nitrato, así como la implementación de estrategias de mitigación.

LA CUENCA DE LERMA

El río Arba, situado en el margen izquierdo del valle medio del río Ebro, fue el primer cuerpo de agua superficial en la cuenca del Ebro en ser declarado afectado por contaminación por nitrato según la Directiva 91/676/CEE. En la cuenca del río Arba, durante la década de los 2000, aproximadamente 20.000 ha de tierras de cultivo de secano fueron transformadas a regadío mediante una red de canales y acequias que transportan agua desde el embalse de Yesa (Figura 2). Este cambio llevó a un aumento progresivo en el uso de fertilizantes en la zona y la consecuente

intensificación de la contaminación por nitrato.

Dentro de la cuenca del Arba, la contaminación por nitrato en la pequeña cuenca de Lerma situada en Ejea de los Caballeros (Figura 2), ha sido estudiada desde el año 2004. La superficie de la cuenca de Lerma es de 7,38 km², con una longitud de aproximadamente 4,5 km (de Este-Sureste a Oeste-Noroeste) y un ancho de alrededor de 2 km. Las altitudes varían entre 335 y 495 m sobre el nivel del mar. Esta pequeña cuenca ha sido monitorizada desde el año 2004 para evaluar los efectos de la transformación de agricultura de secano a regadío en el balance hídrico y en la exportación de sales y nitrato (Merchán, 2015). En general, la implementación del riego supuso un aumento de unos tres órdenes de magnitud en la exportación de nitrógeno hacia el río Arba.

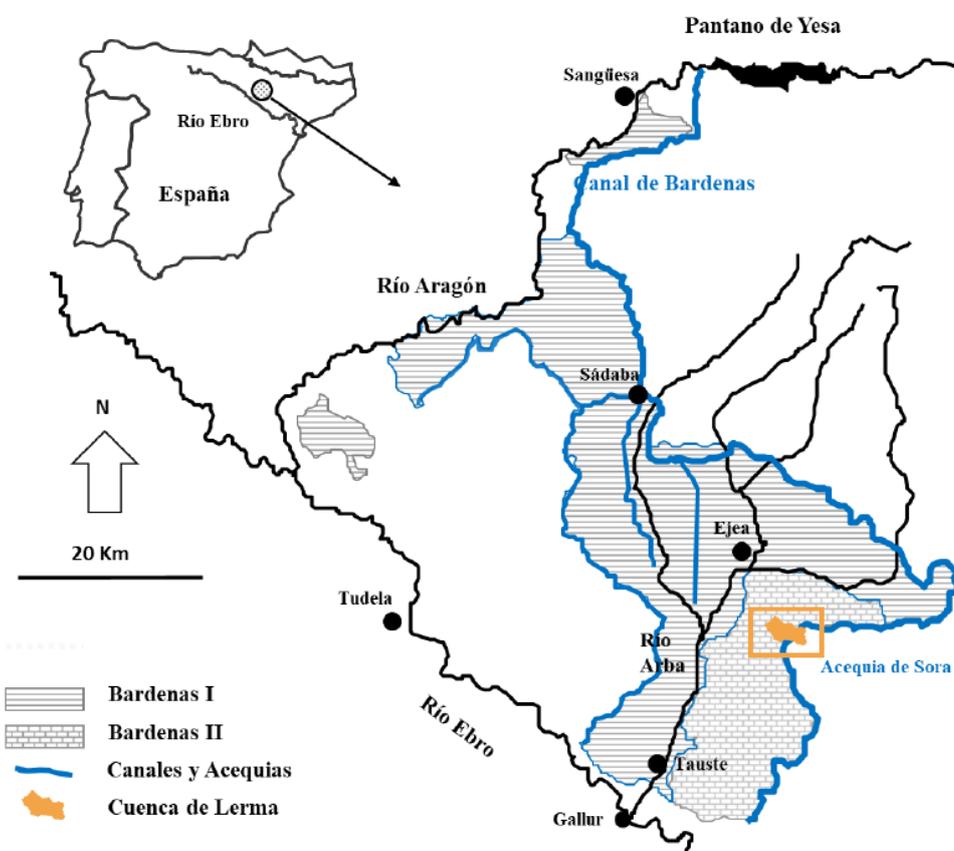


Figura 2. Situación de la cuenca de Lerma y canales de regadío desde el embalse de Yesa.

PARADA 1. VISITA DEL MUSEO AQUAGRARIA

El agua ha sido fundamental en el progreso económico y social de Ejea de los Caballeros. Las características geográficas y climáticas del territorio propiciaron la búsqueda de fórmulas eficientes para la gestión y aprovechamiento del agua, destacando entre ellas la extensión del regadío del Canal de las Bardenas cuyo resultado fue un aumento de la productividad agraria y el surgimiento de industrias relacionadas con el sector. El Museo agrario AQUAGRARIA (<https://aquagraria.com/>) (Figura 3), con su magnífica colección de maquinaria agrícola antigua, permite el análisis de su evolución, desde la invención del arado hasta la tecnología digital actual. Más de 80 piezas que suponen un recorrido por la historia del hombre a través de la agricultura, desde diferentes arados romanos de finales del siglo XVIII, pasando por un tractor emblemático de 1914, hasta la más revolucionaria maquinaria contemporánea.



Figura 3. Museo agrario de AQUAGRARIA.

PRESENTACIÓN DE LOS PROYECTOS AGROSOS Y NPP-SOL

El Proyecto AgroSOS: “Agrosistemas Sostenibles” (2024-2028) financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PID2023-147588OB-I00) tiene

como objetivo proponer y evaluar alternativas de gestión de los sistemas agrarios que contribuyan a la sostenibilidad agroambiental. Es una continuidad de una serie de proyectos llevados a cabo durante los últimos 20 años en la cuenca del barranco de Lerma en los que se ha podido estudiar la evolución agroambiental del antes, durante y después de la transformación de un regadío y evaluar diferentes estrategias de gestión del riego (automatización) y fertilización nitrogenada (ajuste de dosis aplicadas y uso de abonos de liberación controlada). Video promocional del proyecto: <https://youtu.be/mBhy1o0i3UQ>.

El proyecto NPP-SOL “Modelling and Technological tools to prevent surface and ground-water bodies from agricultural non-point source pollution under Mediterranean conditions” (2023-2026, PCI2023-143359 financiado por: MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y cofinanciado por la Unión Europea) tiene como objetivo prevenir la contaminación agrícola por fuentes difusas de las masas de agua superficiales y subterráneas en condiciones mediterráneas, como por ejemplo la contaminación por nitrato debido a fertilización. NPP-SOL integra el diseño de prácticas de gestión optimizada y específicas para cada lugar orientadas a la mejora de la gestión del suelo, el agua, los fertilizantes y los cultivos, junto con tecnologías adaptadas para prevenir la contaminación de las masas de agua naturales. El proyecto se desarrolla en 4 casos de estudio, uno de los cuales es la cuenca de Lerma. Más concretamente, la tecnología adoptada en la cuenca de Lerma es un humedal artificial, una metodología sostenible, de bajo coste y con enfoque en la economía circular que permite atenuar la contaminación por nitrato. Toda la información del proyecto está disponible en <https://npp-sol.iamm.ciheam.org/>.

RECORRIDO POR LA CUENCA DEL BARRANCO DE LERMA

Geológicamente la cuenca del barranco consiste en una serie de glacia cuaternarios, donde principalmente se ha desarrollado la agricultura de regadío, que constituyen unidades acuíferas con funcionamiento hidrogeológico inducido en gran parte por la transformación en regadío. La red de barrancos de Lerma incide en estos glacia aflorando materiales terciarios de muy baja permeabilidad en sus laderas, que recogen de manantiales y rezumes difusos los retornos de riego hasta el propio barranco.

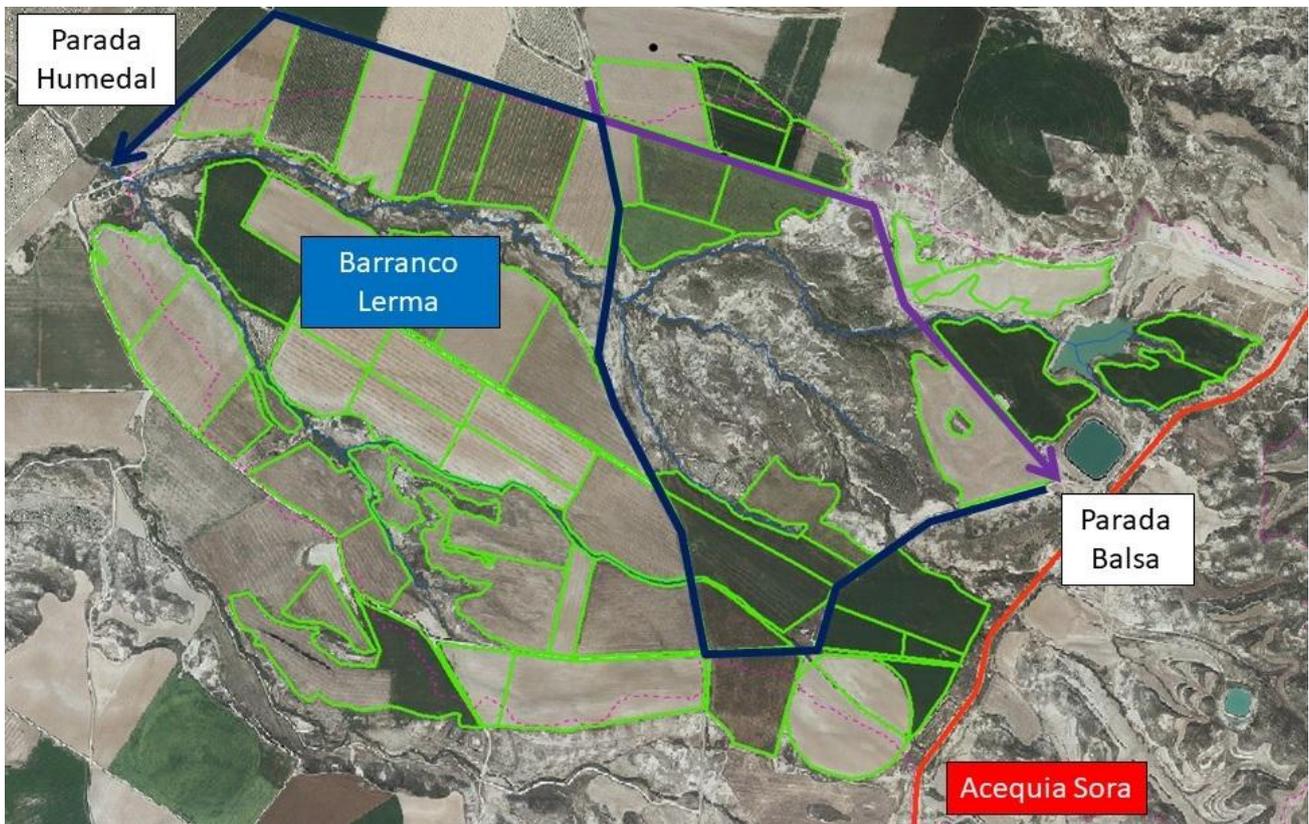
El recorrido por la cuenca (Figura 4) nos permitirá identificar las dos unidades geológicas y la agricultura de regadío desarrollada sobre ellas. Se efectuará una primera parada al pie de la balsa de bombeo (Figura 5) donde se explicará la infraestructura del regadío y se proseguirá el recorrido por la

cuenca mostrando equipamiento para observación y muestro de drenaje agrícola (lisímetros), de las aguas subterráneas (red de piezómetros) y automatización del riego en base a sondas de humedad del suelo. Finalmente se llegará a la estación de control del caudal y calidad del agua del barranco de Lerma y el humedal artificial construido para la depuración de los retornos de riego.



Figura 5. Balsa de bombeo junto a la acequia de Sora.

Figura 4. Recorrido a realizar por la cuenca del barranco de Lerma.



PARADA 2. EL HUMEDAL EXPERIMENTAL DE LA CUENCA DE LERMA

HUMEDALES ARTIFICIALES: SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

Los humedales artificiales son soluciones basadas en la naturaleza y de bajo coste. Están diseñados específicamente para eliminar diversos contaminantes del agua mediante procesos que ocurren en humedales naturales, pero en un entorno más controlado. Además de la atenuación de nitrato, los humedales artificiales también pueden ser útiles para la eliminación de otros contaminantes, como pesticidas, productos farmacéuticos, etc.

Los humedales artificiales de flujo superficial consisten en agua libre que fluye horizontalmente a través de un estanque artificial que contiene vegetación flotante y/o enraizada, junto con una alta diversidad de microorganismos. Los principales procesos que pueden contribuir a la mitigación de la contaminación por nitrato en humedales artificiales de flujo superficial incluyen:

- la asimilación por las plantas (el nitrato pasa a formar parte de la biomasa),
- la asimilación por microorganismos (el nitrato pasa a formar parte de la biomasa),
- la desnitrificación (el nitrato se reduce a N_2 inocuo).

Las plantas influyen en la diversidad de especies microbianas y en sus actividades enzimáticas mediante la liberación de exudados y oxígeno a la rizosfera (Kong *et al.*, 2009). En consecuencia, no solo consumen nitrato, sino que también favorecen la eficiencia de la desnitrificación. La desnitrificación es la reducción de nitrato por microorganismos a través de una serie de reacciones enzimáticas hasta su reducción final

a nitrógeno gas (Knowles, 1982), que es inocuo. El material vegetal en descomposición en los humedales puede ser aprovechado por los microorganismos como fuente de carbono orgánico, lo cual permite la desnitrificación. Por esta razón, la eliminación de nitrato suele ser mayor en humedales artificiales con vegetación en comparación con sistemas sin vegetación (Jacobs and Harrison, 2014).

Cuando en los humedales artificiales no hay suficiente carbono orgánico para sostener una desnitrificación completa, la adición de una fuente externa podría mejorar la eficiencia del proceso. Esta metodología es conocida como bioestimulación. Numerosos estudios científicos han demostrado que algunos residuos sólidos tanto animales como vegetales (Grau-Martínez *et al.*, 2017; Margalef-Martí *et al.*, 2019a), así como subproductos líquidos industriales (Carrey *et al.*, 2018; Margalef-Martí *et al.*, 2019b), son útiles para promover la desnitrificación. Los subproductos líquidos suelen ser ventajosos debido a su fácil aplicación.

EL HUMEDAL ARTIFICIAL DE LA CUENCA DE LERMA: CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

El humedal artificial de la cuenca del Lerma fue construido en octubre de 2013 como una solución basada en la naturaleza para tratar las aguas de escorrentía agrícola contaminadas por nitrato. El agua superficial del barranco de Lerma presenta un caudal variable entre 15 y 60 L/s y puede ser desviada total o parcialmente hacia el humedal artificial a través de una barrera instalada en su entrada, lo que permite controlar el caudal dentro del humedal. Posteriormente, el agua es devuelta al barranco de Lerma tras el tratamiento. Desde su construcción en 2013 el humedal ha estado en operación intermitentemente. Su funcionamiento se regula únicamente mediante el grado de apertura de la tajadera de entrada.

Desde su construcción en 2013 y hasta la actualidad se han realizado una serie de modificaciones, trabajos de mantenimiento e investigaciones en el marco de diferentes proyectos y fuentes de financiación: REMEDIATION (CGL2014-57215-C4), AGRO-SOS (CGL2015-66016-R), PACE-ISOTEC (CGL2017-87216-C4-I-R), AgroSOSIII (PID2023-147588OB-I00), Advance4Water-ISOTRACE (PID2022-139911OB-C41) y NPP-SOL (PCI2023-143359) financiados por el Gobierno de España y la AEI/FEDER de la Unión Europea, así como por MAG (2017 SGR 1733) y MAGH (2021SGR00308), financiado por el Gobierno de Cataluña.

El sistema, que inicialmente cubría un área de aproximadamente 1.500 m², fue ampliado en junio de 2017 hasta alcanzar una superficie final de aproximadamente 2.500 m², con una profundidad de ~40 cm. Los macrófitos emergentes (*Typha* y *Phragmites*) comenzaron a crecer desde su construcción y reflejan las partes antigua y nueva del humedal (Figura 6). Más adelante, en 2024, se cubrió el último 20% de la superficie del humedal con gravas (Figura 4) para reducir la difusión de oxígeno que dificulta el proceso de desnitrificación.

Durante el llenado del lecho de grava, se han instalado cuatro piezómetros cortos con el objetivo de tomar muestras del agua subterránea que circula a través de él (Figura 7). Por lo tanto, el sistema actual se basa en un humedal de flujo superficial en un 80% aproximadamente y de flujo subsuperficial en el 20% restante.

A pesar de tratarse de una tecnología prometedora, el humedal artificial de la cuenca de Lerma presenta una baja eficiencia de desnitrificación cuando opera a un caudal alto (> 5 L/s) en condiciones naturales (Margalef-Martí *et al.*, 2019a). En este contexto, es necesario aplicar una estrategia de bioestimulación para aumentar la eficiencia de la desnitrificación para tratar el caudal completo del barranco (15-60 L/s). Dado que el uso de reactivos puros como glucosa, acetato o etanol puede resultar costoso en tratamientos a largo plazo, el uso de residuos industriales o agrícolas ricos en C orgánico podría representar una solución más sostenible y acorde a los conceptos de economía circular.



Figura 6. Imagen del humedal de Lerma en 2017, justo después de su ampliación. Las zonas vegetadas corresponden a la parte del humedal más antiguas.



Figura 7. Imagen de la zona del humedal cubierta con gravas (2024). Corresponde a un 20% aproximadamente de la superficie total y se encuentra justo antes de la salida de agua del humedal tratada hacia el barranco.

BIOESTIMULACIÓN PARA INDUCIR LA DESNITRIFICACIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES

La primera estrategia de bioestimulación aplicada en el humedal artificial de Lerma consistió en aplicar rastrojo de maíz en toda la superficie del humedal (Figura 8). Concretamente se aplicaron 8 toneladas de rastrojo de maíz procedente de la zona y eso permitió eliminar por completo el nitrato del agua del barranco durante unas 3 semanas gracias a su circulación a través del humedal. Luego la eficiencia disminuyó, y pasados 3 meses desde su aplicación pasó a ser prácticamente nula (Margalef-Martí et al., 2019a).



Figura 8. Imagen de la bioestimulación con rastrojo de maíz (2018). El rastrojo de maíz fue distribuido por toda la superficie no vegetada del humedal mediante una retroexcavadora.

La estrategia de bioestimulación que se está implementando actualmente en el humedal

consiste en la inyección periódica de suero lácteo, que es un subproducto de la fabricación de quesos (Figura 9). El suero lácteo se dispersa a lo largo del humedal con el propio flujo del agua. Los resultados preliminares muestran que una baja cantidad de suero lácteo permite reducir aproximadamente un 10% del nitrato del agua de escorrentía agrícola durante los meses de verano. Debido a la bajada de temperaturas en invierno, desfavorable para los microorganismos que realizan la desnitrificación, la eficiencia de remediación disminuye. Por lo tanto, se puede plantear la inyección de mayores cantidades de suero durante los meses más fríos comparado con los más cálidos.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO

El funcionamiento del humedal artificial de la cuenca de Lerma es controlado mediante 2 herramientas distintas:

- Equipamiento con sondas de monitoreo y control remoto que permiten la telemetría del flujo de agua, concentración de nitrato, temperatura y conductividad del agua tanto en la entrada como en la salida del humedal.
- Realización de muestreos de agua en 7 puntos a lo largo del humedal (entrada, puntos intermedios dentro del humedal y salida) para la caracterización química e isotópica de las muestras obtenidas.

La disminución del nivel de nitrato en humedales artificiales puede estimarse mediante la comparación de la concentración del contaminante en la entrada y salida del sistema. Sin embargo, este método no revela los procesos específicos involucrados en la atenuación, lo que dificulta la optimización del diseño y la operación del humedal. Los análisis de isótopos estables pueden proporcionar

información sobre las vías de transformación del nitrato. Durante la desnitrificación, el nitrato residual no reaccionado se enriquece en los isótopos pesados (^{15}N y ^{18}O), lo que permite diferenciar entre la atenuación biológica y otros procesos, como la dilución, que también pueden provocar una disminución en la concentración sin afectar la firma isotópica (Aravena and Robertson, 1998; Böttcher *et al.*, 1990; Mariotti *et al.*, 1981). Por lo tanto, la caracterización isotópica del nitrato en muestras de agua obtenidas en el humedal artificial mejora la comprensión y respalda la evaluación de la eficacia de la estrategia de remediación.



Figura 9. Imagen del sistema para la bioestimulación con suero lácteo (2025). El suero lácteo (donador de electrones para inducir la desnitrificación) derivado de la producción de quesos se acumula en un depósito. Mediante una electroválvula programable se inyecta la cantidad deseada y con la periodicidad deseada. La tajadera de entrada de agua al humedal permite regular el caudal. Los sensores de monitoreo permiten registrar datos en continuo de la calidad del agua (telemida).

REFERENCIAS

- Aravena, R., Robertson, W.D., 1998. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in ground water: study of nitrate from a large-flux septic system plume. *Ground Water* 36, 975–982.
- Böttcher, J., Strelbel, O., Voerkelius, S., Schmidt, H.L., 1990. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. *Journal of Hydrology* 114, 413–424. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90068-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(90)90068-9)
- Carrey, R., Rodríguez-Escales, P., Soler, A., Otero, N., 2018. Tracing the role of endogenous carbon in denitrification using wine industry by-product as an external electron donor: Coupling isotopic tools with mathematical modeling. *Journal of Environmental Management* 207, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.063>
- Grau-Martínez, A., Torrentó, C., Carrey, R., Rodríguez-Escales, P., Domènech, C., Ghiglieri, G., Soler, A., Otero, N., 2017. Feasibility of two low-cost organic substrates for inducing denitrification in artificial recharge ponds: Batch and flow-through experiments. *Journal of Contaminant Hydrology* 198, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.01.001>
- Jacobs, A.E., Harrison, J.A., 2014. Effects of floating vegetation on denitrification, nitrogen retention, and greenhouse gas production in wetland microcosms. *Biogeochemistry* 119, 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9947-9>
- Knowles, R., 1982. Denitrification. *Microbiological reviews* 46, 43–70.
- Kong, L., Wang, Y.B., Zhao, L.N., Chen, Z.H., 2009. Enzyme and root activities in surface-flow constructed wetlands. *Chemosphere* 76, 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.056>
- Margalef-Martí, R., Carrey, R., Merchán, D., Soler, A., Causapé, J., Otero, N., 2019a. Feasibility of using rural waste products to increase the denitrification efficiency in a surface flow constructed wetland. *Journal of Hydrology* 578, 124035. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124035>
- Margalef-Martí, R., Carrey, R., Soler, A., Otero, N., 2019b. Evaluating the potential use of a dairy industry residue to induce denitrification in polluted water bodies: A flow-through experiment. *Journal of Environmental Management* 245, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.086>
- Mariotti, A., Germon, J.C., Hubert, P., Kaiser, P., Letolle, R., Tardieux, A., Tardieux, P., 1981. Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: Some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant and Soil* 62, 413–430. <https://doi.org/10.1007/BF02374138>
- Merchán D., 2015. Hydrological Assessment of a newly implemented irrigated area in Spain: Salinization and nitrate pollution from irrigation return flow. Tesis Doctoral del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. 183 pp.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a las entidades que han colaborado en la preparación y organización del Hidrogeodía 2025-Zaragoza: Centro Nacional del Instituto Geológico y Minero de España en Zaragoza (IGME-CSIC), al Grupo de Investigación MAiMA UB de la Universidad de Barcelona; el master Hidrogeología y Modelización de la UB y IDAEA-CSIC (MHM); el Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GeoAp) del Gobierno de Aragón y a la Delegación en Aragón del CSIC. Especialmente al proyecto NPP-SOL de la Universidad de Barcelona por sufragar los gastos de autocar.

Por otro lado, agradecemos la colaboración de la Fundación y Museo Aquagraria por la cesión de espacios, así como a todos aquellos que nos han ayudado a la difusión de esta edición del Hidrogeodía.

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...

La hora de llegada es aproximada (14:30h).

Apadrina una roca. Más información en la web:

COLABORA

CON LA AIH-GE Y EL PROGRAMA 'APADRINA UNA ROCA'

PARA MEJORAR LA PROTECCION DEL PATRIMONIO HIDROGEOLÓGICO

<https://www.aih-ge.org/apadrina-un-lig-hidrogeologico/>

¿QUIERES COLABORAR?



ENCUESTAS DE SATISFACCIÓN HIDROGEODÍA ZARAGOZA

Os animamos a que rellenéis las encuestas de satisfacción para tener una idea de los aspectos a mejorar en futuras ediciones.

<https://www.aih-ge.org/hidrogeodia-2025>

ORGANIZADORES DEL HIDROGEODÍA ZARAGOZA 2025

Jesús Causapé Valenzuela (CN IGME-CSIC)

Eduardo A. Garrido Schneider (CN IGME-CSIC)

Rosanna Margalef Martí (MAiMA UB y MHM)

Helena Escalona Orellana (MAiMA UB)

Manuela Barbieri (MAiMA UB)

Neus Otero Pérez (MAiMA UB y MHM)

Albert Soler i Gil (MAiMA UB y MHM)

COLABORADORES

Cristina Pérez Bielsa (CN IGME-CSIC)

Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GA).

Grupo MAiMA y el Máster Hidrogeología y Modelización MHM (UB-IDAEA) de la UB.

Proyecto AgroSOS (MICIU)

Proyecto NPP-SOL (programa PRIMA UE)

NOTAS