

# Geoquímica de los sedimentos contaminados por prácticas agrícolas del humedal de Laguna Honda (provincia de Jaén, España)

Antonio Medina Ruiz (1), Juan Jiménez-Millán (1\*), Isabel Abad (1), Rosario Jiménez-Espinosa (1)

(1) Departamento de Geología y CEACTEMA, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071, Jaén (España)

\* corresponding author: [jmillan@ujaen.es](mailto:jmillan@ujaen.es)

**Palabras Clave:** humedales salinos, Laguna Honda, contaminación agrícola. **Key Words:** saline wetlands, Laguna Honda, agricultural pollution

## INTRODUCCIÓN

Los humedales suponen una parte esencial del patrimonio natural, al ser uno de los ambientes con mayor biodiversidad del planeta. La preservación de los mismos es transcendental dada su capacidad para regular los recursos hídricos y condicionar el ciclo hidrológico. Pueden acumular sedimentos que promueven el desarrollo de hábitats para la vida silvestre y su conservación como sistemas terrestres. Sin embargo, en el área mediterránea, los humedales se ubican con frecuencia en depresiones topográficas de áreas de cultivo, que contribuye a la acumulación de importantes cantidades de nutrientes y sustancias tóxicas residuales (como metales pesados) utilizadas en las prácticas agrícolas (Medina et al., 2024 a, b). La concentración de materia orgánica en descomposición por importantes comunidades de microorganismos y la presencia de áreas con inundación estacional promueven variaciones en las condiciones redox que controlan la fijación o movilidad de metales y hacen que los humedales sean sistemas sensibles a la acumulación de algunos elementos traza (Smieja et al., 2022).

Laguna Honda es un sistema morfogenético kárstico por disolución de evaporitas desarrollado en arcillas, margas, yesos triásicos y masas aisladas de carbonatos. La alimentación hídrica es de tipo mixto, con aguas subterráneas y superficiales. Se trata de una laguna endorreica con una superficie inundada de 8,5 ha y una cuenca hidrográfica de 96,2 ha situada entre olivares. La zona más profunda se ubica en su extremo S-SW, con 2,5 m y las zonas N y E de la laguna forman una zona deltaica que suele quedar expuesta en los periodos de estiaje. La mineralización de sus aguas puede alcanzar concentraciones hipersalinas (70 g/l en aguas bajas) y sus aguas son cloruradas sulfatadas magnésicas cálcicas. Medina et al. (2024 a, b) mostraron que la asociación mineral de los sedimentos está formada por cuarzo, carbonatos, illita y clorita y cantidades significativas de yeso, halita, sulfuros y feldespatos. Los sulfuros de Fe, Cu y Hg están homogéneamente repartidos en los sedimentos más ricos en materia orgánica, donde también es frecuente la presencia de aragonito. Estos trabajos han revelado la presencia de Cu, Au y Hg como contaminantes sedimentarios comunes que pueden producir una degradación ambiental intensa en humedales ubicados en áreas de cultivo como resultado de actividades antropogénicas. Este trabajo persigue mejorar el conocimiento del comportamiento de los metales en este ambiente de lago salino integrando la caracterización geoquímica de los sedimentos de este humedal con los procesos minerales y biogeoquímicos que ocurren en el mismo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron geoquímicamente, mediante fluorescencia de rayos X para elementos mayores e ICP MS para minoritarios y trazas, un conjunto de 130 muestras a diferentes profundidades distribuidas homogéneamente en una red de muestreo de 47 puntos. La relación entre los aportes detríticos, el contenido de materia carbonosa, la cristalización autigénica de minerales y los procesos de fijación de elementos traza en el humedal de Laguna Honda se evaluó mediante un análisis factorial utilizando el software estadístico Statgraphics 19 (Universidad de Jaén). Se obtuvieron cuatro componentes que explican el 87.28% de la varianza del sistema (Tabla 1) y pueden estar relacionados con posibles procesos que ocurren en el lago. El primer factor explica buena parte de la varianza del sistema (41,77%) y reveló dos asociaciones de elementos. K, Fe, Al, Si y Ti que presentan pesos positivos altos en

el factor. Dado que estos elementos son constituyentes principales de arcillas y feldespatos y tienen carácter detrítico, se propone una fuente detrítica relacionada con los materiales circundantes para esta asociación. Ca y LOI muestran pesos negativos en el primer factor, lo cual puede asociarse a un proceso de precipitación de carbonato cálcico en los sedimentos. En el segundo factor se asocian con pesos positivos Mg, Cu, contenido en materia orgánica y S. Está agrupación se correlaciona de forma negativa en el factor con la profundidad y el contenido en Zr. Las asociaciones del segundo factor pueden asociarse a la formación de tapices de algas flotantes que proporcionan un elevado contenido en

materia orgánica de los sedimentos más superficiales, en los cuales se propicia la formación de costras de epsomita y halita. La elevada concentración de materia orgánica favorece la adsorción de Cu procedente de los tratamientos agrícolas y su transformación en sulfuros de cobre mediante la acción de bacterias sulfatoreductoras. El tercer factor pone de manifiesto la existencia de una relación entre la acumulación de Au y tierras raras que sugiere un proceso de transporte mecánico de las nanopartículas de Au procedentes de pesticidas aplicados en tratamientos agrícolas cercanos asociado al depósito de silicatos detríticos. El cuarto factor se la caracteriza por la presencia de pesos significativos de Hg y S, si bien la varianza de estas variables se encuentra repartida con el tercer factor (en el caso del Hg) y el segundo (para el S). Estas asociaciones se relacionan con la fijación del Hg a través de la precipitación de sulfuros mediada por bacterias sulfatoreductoras y la formación de amalgamas con Au.

**Tabla 1. Pesos de las variables en el análisis factorial.**

	F1	F2	F3	F4
K <sub>2</sub> O	0,94	0,31	-0,12	-0,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90	0,32	-0,12	-0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,88	0,36	-0,16	-0,12
SiO <sub>2</sub>	0,80	-0,48	0,25	-0,09
TiO <sub>2</sub>	0,78	-0,09	-0,02	-0,06
LOI	-0,80	0,38	0,20	-0,15
CaO	-0,63	-0,30	-0,38	0,41
Na <sub>2</sub> O	-0,60	0,57	0,25	-0,30
MgO	-0,01	0,85	0,01	-0,34
Cu	0,13	0,54	0,07	0,10
TOC	0,23	0,57	-0,22	0,58
S	-0,22	0,50	0,27	0,42
Profundidad	0,08	-0,50	0,00	-0,17
Zr	0,42	-0,62	0,29	-0,04
Au	0,17	-0,07	0,72	0,38
REE	0,17	0,10	0,49	-0,21
Hg	0,23	0,24	0,42	0,46
MnO	0,08	0,28	-0,02	0,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41	0,40	-0,18	0,26

LOI: pérdida por calcinación

REE: sumatoria del contenido en tierras raras.

## CONCLUSIONES

La geoquímica de los sedimentos formados en el humedal de Laguna Honda es el resultado del depósito detrítico de materiales procedentes del entorno cercano y permite identificar la influencia de procesos biogeoquímicos que dan lugar a la formación autigénica de sulfuros de Cu y Hg, los cuales juegan un papel importante en la fijación de contaminantes procedentes de tratamientos agroquímicos del entorno.

## REFERENCIAS

- Medina-Ruiz, A.; Jiménez-Millán, J.; Abad, I.; Jiménez-Espinosa, R. (2024a): Anomalous Gold Concentrations in Hypersaline Wetland Sediments (Laguna Honda, South Spain) Caused by Nanoparticles Used in Agricultural Practices: Environmental Transformation. *Toxics*, **12**, 223. DOI: 10.3390/toxics12030223
- Medina Ruiz, A.; Jiménez-Millán, J.; Abad, I.; Jiménez-Espinosa, R.; Gálvez, A.; Grande, M.J. Aragonite crystallization in a sulfate-rich hypersaline wetland under dry mediterranean climate (Laguna Honda, Eastern Guadalquivir Basin S Spain). (2024b): *Sci. Total Environ.*, **922**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171362
- Smieja, B. (2022): Industrial trace element contamination in wetlands: the effect of the precipitation of biogenic sulfides. *Seminarios SEM*, **15**, 43-49.