

Uranio y torio en el drenaje ácido de mina: origen y movilidad en el río Odiel (Huelva, España)

Jonatan Romero-Matos (1*), Laura Sánchez-López (1), Carlos R. Cánovas (1), Francisco Macías (1), Rafael Pérez-López (1)

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra y Centro investigación en Recursos Naturales, Salud y Medio Ambientes. Campus "El Carmen", 21071, Huelva (España)

* corresponding author: jonatan.romero@dct.uhu.es

Palabras Clave: Actínidos, Carga contaminante, Aguas ácidas. **Key Words:** Actinides, Pollutant load, Mine waters.

INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (AMD) es una fuente extrema de acidez y metal(oid)es hacia el medio acuoso, suponiendo un riesgo para el medioambiente que puede causar problemas de salud y toxicidad en áreas circundantes. De la larga lista de elementos potencialmente tóxicos que se movilizan durante la generación del AMD, U y Th, elementos radiactivos naturales, están presentes en órdenes de magnitud por encima de aguas naturales. Estos actínidos se han identificado en la Ría de Huelva (Hierro et al., 2013), trazando una de sus principales fuentes en los ríos Tinto y Odiel. Ambos, afectados gravemente por AMD, son capaces de movilizar U-Th por disolución ácida de las rocas encajantes de la Faja Pirítica Ibérica. La mayor parte de estudios se han centrado en el comportamiento de estos elementos en el estuario, por lo que en este trabajo se propone caracterizar las principales fuentes de U-Th así como evaluar el transporte de sus cargas disueltas a lo largo del río Odiel. Además, se discuten los posibles procesos geoquímicos que afectarían a la movilidad de ambos elementos en el ambiente fluvial.

METODOLOGÍA

Se realizaron muestreos hidrogeoquímicos en la cuenca del Odiel en enero de 2022 y febrero de 2023, bajo diferentes condiciones hidrológicas (323 y 1313L/s, respectivamente, en la estación de aforo de Sotiel Coronada). Se tomaron muestras de agua para determinar la fracción disuelta y la fracción total recuperable (disuelta + asociada al material particulado). Los parámetros fisicoquímicos se midieron empleando una sonda multiparamétrica y se realizaron aforos con molinete. Las muestras se filtraron (0,45 μ m) y acidularon con HNO₃ suprapuro, para posteriormente ser analizadas con ICP-OES e ICP-MS. Los resultados se expresan como carga disuelta (CD) de U-Th (g/día), en los distintos puntos de muestreo de la cuenca del Odiel, que incluyen fuentes de AMD, arroyos limpios y cursos principales. $CD = [U-Th] \text{ (mg/L)} * \text{Caudal (L/s)}$.

TRANSPORTE DE U-Th EN LA CUENCA DEL RÍO ODIEL

Durante enero-2022, se registró un incremento drástico de la carga de U-Th transportada por el río Odiel desde 10,3 a 848 g/día tras el aporte de minas de Riotinto (Fig. 1A). Se estima que sólo esta fuente aportaría el 90,0% de U y 95,5% de Th del total de fuentes de la subcuenca del río Odiel. La retención de U-Th a lo largo del curso principal es significativamente menor al aporte de Riotinto, no obstante, la CD se ve reducida hasta 616 g/día antes de la confluencia con el río Oraque (Fig. 1A). Vertidos menores aportan en torno al 1,00% de la CD cada uno (e.g. mina La Zarza). Por otro lado, la subcuenca del río Oraque se ve afectada gravemente por los aportes de mina San Telmo en su cabecera, generando una CD de 56,7 g/día (Fig. 1B), y aportando aproximadamente un 30,0% de U-Th al Oraque. A diferencia del Odiel, este río sufre importantes procesos de retención de U-Th en su curso principal. Sin embargo, la CD vuelve a aumentar en su tramo bajo hasta 49,0 g/día debido a los aportes de minas de Tharsis (Fig. 1B). Se estima que minas de Tharsis aportaría 69,8% de U y 56,3% de Th. El río Oraque confluye con el río Odiel aumentando la carga de este último de 616 a 771 g/día (Fig. 1A), estimándose que el río Oraque aportaría un 7,43% sólo de U, puesto que la carga de Th es prácticamente nula, lo que sugiere que este elemento ha sido retenido antes de la confluencia. Durante febrero-2023, se observó un mayor transporte de CD de U-Th en la cuenca. El aporte de Riotinto aumentó la CD del Odiel hasta 2153 g/día (Fig. 1C), aportando un 76,3% de U y un 97,7% de Th. Aguas abajo ocurrió una importante disminución de la carga hasta 709 g/día, e incluso hasta 367 g/día teniendo

en cuenta el aporte de vertidos menores (destacando mina La Zarza) previo a la confluencia con el río Oraque (Fig. 1C), registrándose CD menores que en enero de 2022 (Fig. 1A). Esto se puede deber a importantes procesos de neutralización que ocurren a lo largo del curso principal como respuesta a la mezcla con arroyos de aguas limpias con mayores caudales que en enero-2022. Por otro lado, el río Oraque tiene un comportamiento similar a enero-2022, pero se estimó un mayor transporte de U-Th, observándose 96,3 g/día previo a la confluencia con el Odiel (Fig. 1D). En estas condiciones, la mina de San Telmo aportaba 31,6% de U y 37,2% de Th, y las minas de Tharsis 66,4% de U y 47,4% de Th. El río Oraque aportó un 22,9% de U (sin Th observado) al río Odiel, aumentando la CD de este hasta 466 g/día (Fig. 1C), aunque este valor está comprendido casi en su totalidad por U. Hacia la desembocadura del río Odiel, se observa un aumento en la CD, que puede deberse al registro de la pluma de contaminación en su paso por el punto de muestreo o a un comportamiento estacionario del U-Th previo a la desembocadura en la Ría de Huelva.

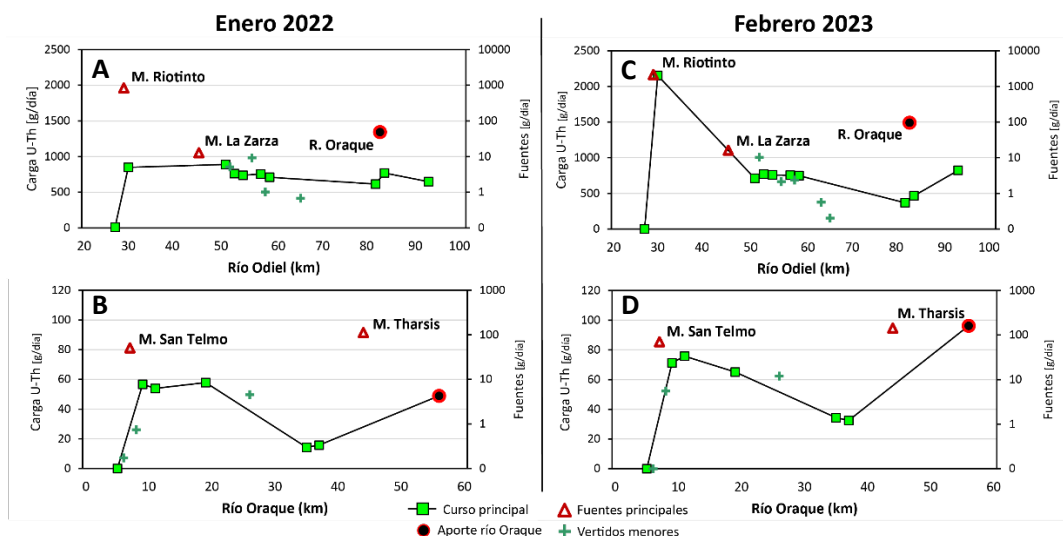


Fig 1. Evolución de la carga de U-Th a través de los cursos principales de los ríos Odiel y Oraque, y aporte de fuentes AMD.

En general, hay diferencias considerables entre ambas subcuencas y en diferentes condiciones hidrológicas. Los resultados denotan que el U tiene un comportamiento quasi-conservativo frente al Th, que sufre procesos de retención a $\text{pH} < 3.50$, de ahí su escasa carga hacia los tramos finales de la cuenca. Por el contrario, cuando se alcanzan mayores valores de $\text{pH} (> 3.50)$ estos procesos de retención son más eficaces y el U comienza a ser más reactivo. Los caudales más altos registrados en febrero-2023 resultaron en la precipitación de fases minerales de Fe-Al, donde U y Th podrían experimentar procesos de sorción/coprecipitación. Estos procesos de retención han sido observados en algunos estudios sobre movilidad de U-Th en aguas ácidas (e.g. Santofimia et al., 2022), como además evidencia su presencia en el material particulado en febrero-2023. Las diferencias en los aportes de U-Th desde las distintas fuentes se pueden deber a la geología (minerales portadores de ambos actínidos y sus concentraciones) y a procesos de transporte reactivo. Se concluye que las principales fuentes son los lixiviados procedentes de minas de Riotinto, seguido de minas de Tharsis, minas de San Telmo y mina La Zarza.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos TRAMPA (PID2020-119196RB-C21), DYNAMICO (PID2023-151504OB-I00) y CuSlag2RM (PCI2024-153497) a través de MICIU/AEI/10.13039/501100011033. Jonatan Romero-Matos es beneficiario de un contrato FPU (Ministerio de Universidades, ref. FPU20/04441).

REFERENCIAS

- Hierro, A., Martín, J. E., Olías, M., García, C., Bolívar, J. P. (2013): Uranium behavior during a tidal cycle in an estuarine system affected by acid mine drainage (AMD). *Chemical Geology*, **342**, 110-118. DOI: [10.1016/j.chemgeo.2013.01.021](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.01.021)
- Santofimia, E., González, F. J., Rincón-Tomás, B., López-Pamo, E., Marino, E., Reyes, J., Bellido, E. (2022): The mobility of thorium, uranium and rare earth elements from Mid Ordovician black shales to acid waters and its removal by goethite and schwertmannite. *Chemosphere*, **307**, 135907. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2022.135907](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135907)