

# Reducción de los aportes difusos de Drenaje Ácido de Mina de la Mina de Riotinto a las cuencas de los ríos Odiel y Tinto (Huelva)

*Reduction of the diffuse contributions of Acid Mine Drainage from the Riotinto Mine to the Odiel and Tinto river basins (Huelva)*

Rafael León<sup>1</sup>, Jonatan Romero-Matos<sup>1</sup>, Francisco Macías<sup>1</sup>, Emilio Sanjuan<sup>2</sup> y José Miguel Nieto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Centro de Investigación en Recursos Naturales, Salud y Medio Ambiente. Universidad de Huelva, 21071, Huelva, España. [rafael.leon@dct.uhu.es](mailto:rafael.leon@dct.uhu.es), [jonatan.romero@dct.uhu.es](mailto:jonatan.romero@dct.uhu.es), [francisco.macias@dgeo.uhu.es](mailto:francisco.macias@dgeo.uhu.es), [jmnieto@uhu.es](mailto:jmnieto@uhu.es).

<sup>2</sup> Atalaya Mining-Proyecto Riotinto, La Dehesa s/n, 21660 Minas de Riotinto, Huelva. [emilio.sanjuan@atalayamining.com](mailto:emilio.sanjuan@atalayamining.com).

## ABSTRACT

Water pollution by acid mine drainage is a great concern worldwide, especially in historical mining areas where little or no waste management was done. The Riotinto Project is an example of a historical mining area where environmental liabilities greatly pollute the Tinto and Odiel rivers basins. European water regulations and the environmental permit (Autorización Ambiental Unificada) granted to the new operator (Atalaya Mining) enforce action to face this inherited problem. In this regard, the new company has implemented preliminary measures focused on the closure of galleries and has established an integral management system for drainage waters with the aim of reducing the flows generated as much as possible. After monitoring different discharge points in both basins and evaluating the chemical and hydrological results, it can be concluded that since the reopening of the mine in 2015, the previous hydrological trend and behaviour has been broken, reducing the flows and metallic load contributed to the rivers. This is considered as a fundamental first step to mitigate the environmental liabilities pollution-derived in the area.

**Key-words:** Environmental liabilities, Iberian Pyrite Belt, Comprehensive water management.

*Geogaceta*, 73 (2023), 63-66  
<https://doi.org/10.55407/geogaceta95136>  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## Introducción

Los drenajes ácidos de mina (por sus siglas en inglés, AMD) son uno de los grandes problemas a nivel mundial asociados a la minería de depósitos de sulfuros, provocando la contaminación de aguas superficiales y subterráneas como resultado de una mala o nula gestión de los residuos generados, lo que ocurre especialmente en áreas mineras históricas (Akcil y Koldas, 2006). Estos lixiviados se generan durante la disolución oxidativa de la pirita, junto con otros sulfuros menos abundantes, al ser expuestos a la acción de la atmósfera (agua y oxígeno) y microorganismos.

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) es una de las mayores provincias metalogénicas del

mundo (>1700 Mt de reservas; Sáez et al., 1999), donde su explotación a lo largo de la historia, especialmente intensa a partir de la segunda mitad del siglo XIX (Olías y Nieto, 2015), ha dejado un vasto legado de galerías, escombreras, o cortas inundadas, entre otros, que favorecen la generación de AMD en la región. En este sentido, los ríos Tinto y Odiel, que discurren por materiales de la FPI, son un caso único a escala mundial de AMD debido a sus condiciones extremas de pH y concentración en metal(oid)es.

A raíz del establecimiento de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), se define un marco de actuación en la Unión Europea en política de aguas. Mediante esta normativa se exige a los estados miembros la consecución del buen estado ecológico de todas las ma-

## RESUMEN

La contaminación del agua por drenaje ácido de mina supone una gran preocupación a nivel mundial, especialmente en áreas de minería histórica donde la gestión de los residuos fue poca o nula. La Mina de Riotinto es un ejemplo de área minera histórica donde una gran cantidad de pasivos ambientales deterioran las cuencas de los ríos Tinto y Odiel. La normativa europea en materia de aguas y la Autorización Ambiental Unificada otorgada al nuevo operador (Atalaya Mining) hacen necesario atajar este problema heredado. Para ello, la empresa Atalaya Mining ha realizado medidas preliminares enfocadas al cierre de túneles vertientes y una gestión integral de las aguas de drenaje para reducir al máximo los caudales generados. Tras la monitorización de diferentes puntos de control en ambas cuencas y la evaluación de los resultados químicos e hidrológicos, se puede concluir que desde la reapertura de la mina en 2015 se ha roto la tendencia y comportamiento hidrológico previos, reduciéndose los caudales y carga metálica aportada a los ríos, como un primer paso fundamental en la mitigación de la contaminación derivada de los pasivos ambientales en la zona.

**Palabras clave:** Pasivos ambientales, Faja Pirítica Ibérica, Gestión integral del agua.

Fecha de recepción: 24/06/2022  
Fecha de revisión: 28/10/2022  
Fecha de aceptación: 02/12/2022

sas de agua antes de 2015 (con prórrogas en casos especiales hasta 2027, como máximo). Esto, unido a los requerimientos ambientales de la Autorización Ambiental Unificada (AAU, marzo de 2014) otorgada por la Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía a la empresa Atalaya Mining, para el «Proyecto de Explotación de Riotinto», que inició la explotación de la mina en 2015, hacen necesaria la mitigación de la contaminación generada por los pasivos mineros históricos de Riotinto.

Para reducir o suprimir el vertido de estos contaminantes, se ha focalizado en la aplicación del tratamiento pasivo Substrato Alcalino Disperso (por sus si-

glas en inglés, DAS; Ayora et al., 2013) a las aguas difusas originadas en áreas no operativas de la mina de Riotinto, principalmente vertientes a la cuenca del río Odiel, que suponen un aporte continuo de contaminantes. Previamente a la aplicación de esta tecnología, ampliamente testada (Orden et al., 2021), la empresa ha llevado a cabo medidas de actuación preliminares con el objeto de reducir significativamente los caudales y, por tanto, la carga disuelta de metal(oides). Entre estas medidas destacan:

a) Cierre de túneles históricos que aportaban cierto caudal tanto a la cuenca del Tinto (Túneles 11 y 16), como a la del Odiel (Túnel 5).

b) Desvío de pluviales y mejora en los canales de gestión de escorrentías.

c) Mantenimiento de los niveles en las cortas (evitando que se llegue a la cota de vertido) utilizando el agua de estas para el proceso de beneficio del mineral.

d) Gestión integral del agua de drenaje de residuos mineros de las instalaciones.

Ante esta situación, el objetivo de este trabajo se centra en el análisis de la eficacia de dichas actuaciones en la mitigación

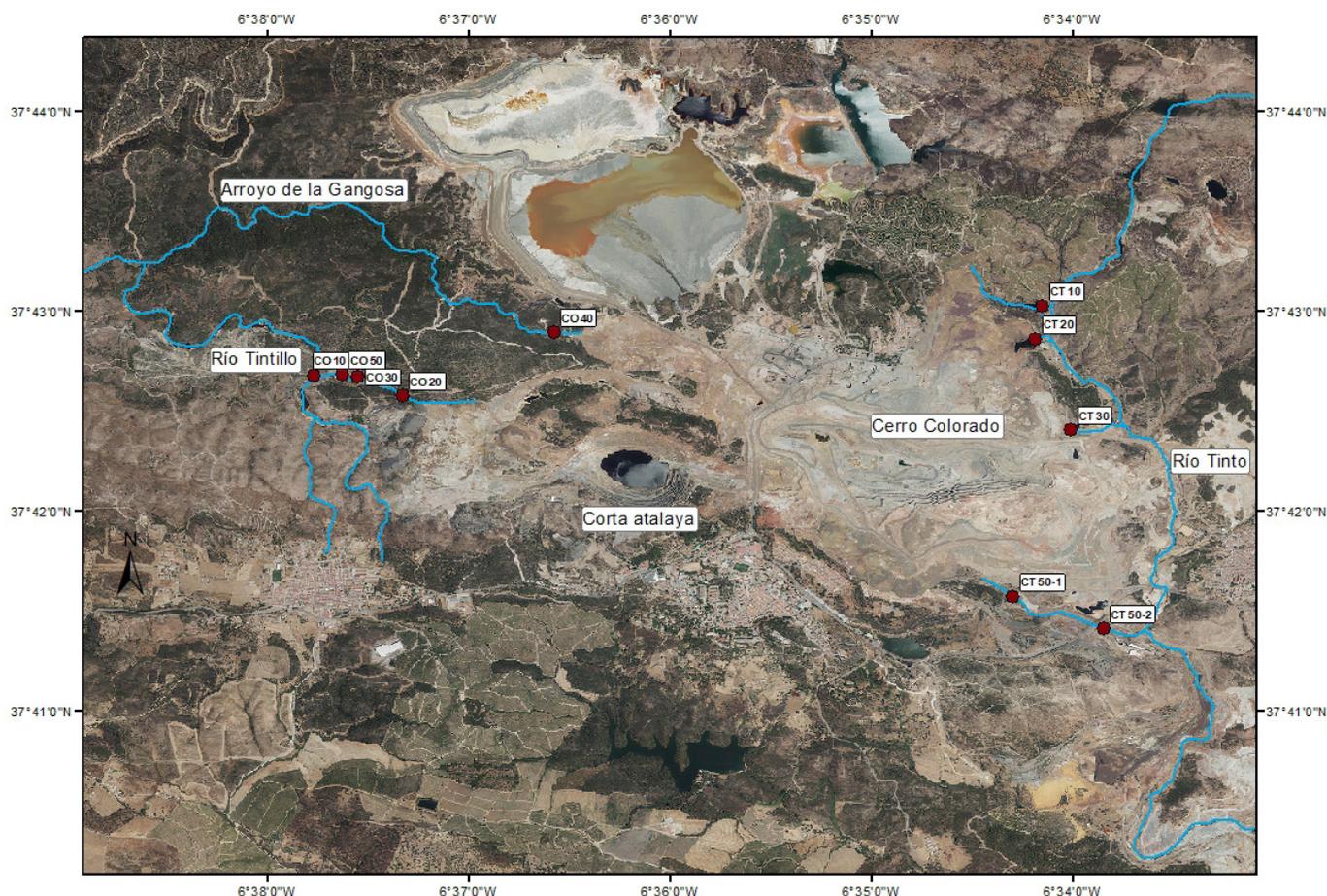
de la carga contaminante de las aguas difusas, como primer paso en la monitorización de la cuenca vertiente y el estudio de los posibles emplazamientos de futuras plantas de tratamiento DAS.

## Metodología

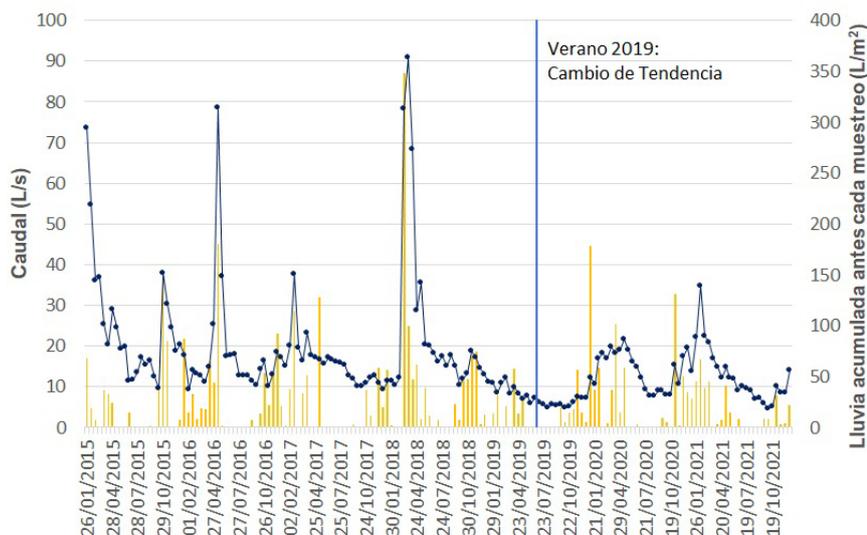
Existe una amplia base de datos analíticos de las cuencas de los ríos Odiel y Tinto generada en los últimos 20 años (Cánovas et al., 2007; Nieto et al., 2007; Olías et al., 2004, 2016; Sarmiento et al., 2009), sin embargo, estos estudios de calidad de aguas se han realizado a escala de toda la cuenca vertiente. Desde su apertura en 2015, Atalaya Mining inició una monitorización de los vertidos de aguas difusas generadas dentro de la concesión hacia las cuencas de los ríos Odiel y Tinto. Este seguimiento incluye por tanto una red más amplia de puntos de muestreo, así como una gran resolución temporal (enero de 2015 – diciembre de 2021, muestreo quincenal), permitiendo analizar con detalle la evolución en la calidad de estas aguas vertientes desde el inicio de las operaciones hasta la actualidad.

En cuanto a los puntos que han sido monitorizados, existen unos de especial relevancia debido a su impacto sobre la calidad de las aguas vertientes, tanto en la cuenca del río Odiel como del río Tinto. En la primera destaca el nacimiento del río Tintillo (CO20) que, junto con otros drenajes menores, procedentes de las antiguas escombreras al oeste de Corta Atalaya (CO10 y CO30), son recogidos en el punto de muestreo CO50. Además, también se ha muestreado el arroyo de la Gangosa (CO40), afectado por el AMD procedente de la escombrera norte de Corta Atalaya. En la cuenca del río Tinto, destacan los drenajes originados en las escombreras no operativas al Sur y Este de la corta de Cerro Colorado (CT50-1 y CT50-2), además de otros menores procedentes de las escombreras al norte de esta (CT10, CT20 y CT30).

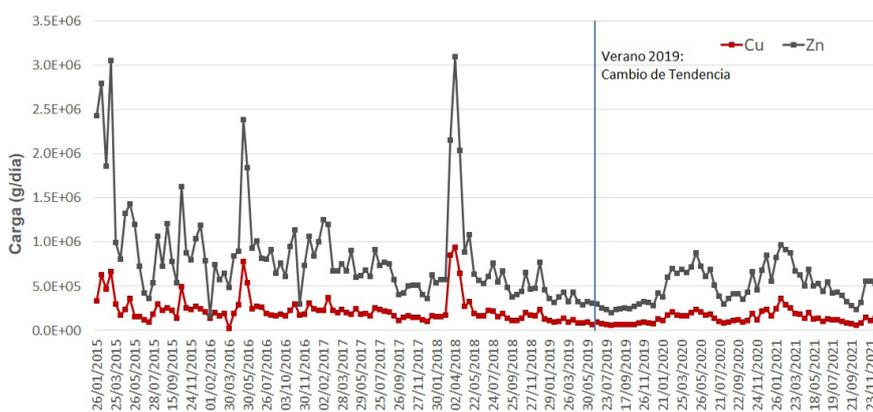
En los diferentes puntos de muestreo se ha calculado la carga contaminante mediante el parámetro CCt, que resulta de multiplicar el Índice de Contaminación metálica (ICM), o concentración media de 8 metales (As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Hg y Zn), seleccionados por ser los que apa-



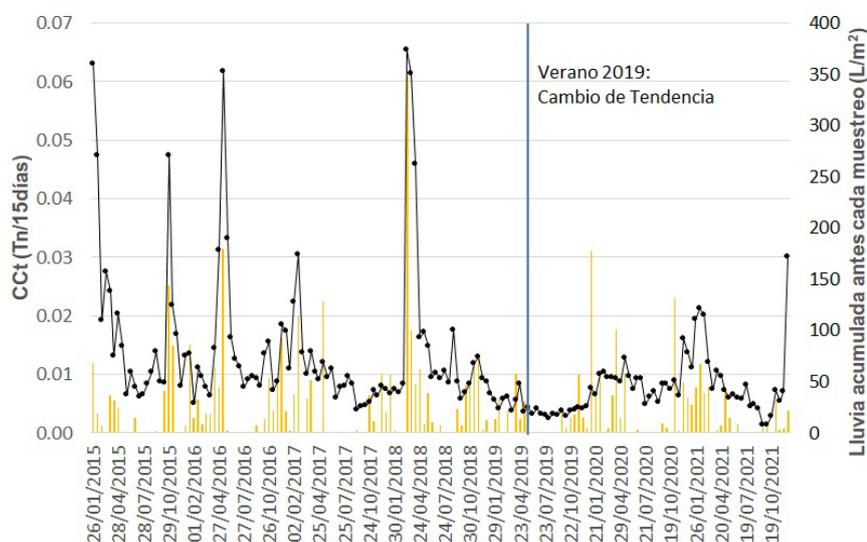
**Fig. 1.- Localización de los puntos de muestreo en el entorno del Proyecto de Explotación de Riotinto. Ver figura en color en la web.**  
 Fig. 1.- Location of the sampling points in the surroundings of the Riotinto Mining Project. See color figure in the web.



**Fig. 2.- Evolución temporal del caudal y la lluvia acumulada (15 días previos) en punto de muestreo de la cuenca del río Odiel (CO20). Ver figura en color en la web.**  
 Fig. 2.- Temporal evolution of the flow and accumulated rainfall (previous 15 days) at sampling point in the Odiel (CO20) river basin. See color figure in the web.



**Fig. 3.- Evolución de la carga de Zn y Cu en el punto CO20 durante el periodo de estudio. Ver figura en color en la web.**  
 Fig. 3.- Evolution of the Zn and Cu load at the CO20 point during the study period. See color figure in the web.



**Fig. 4.- Evolución temporal de CCT y la lluvia acumulada (15 días previos) en punto de muestreo de la cuenca del río Odiel (CO20). Ver figura en color en la web.**  
 Fig. 4.- Temporal evolution of CCT and accumulated rainfall (previous 15 days) at sampling point in the Odiel (CO20) river basin. See color figure in the web.

recen incluidos en la AAU, por el caudal aportado al medio durante un período "t" (15 días, coincidiendo con el periodo entre muestreos).

## Resultados

### Comportamiento Hidrológico

Si se comparan los caudales medidos en cada punto con la precipitación acumulada durante los 15 días previos al muestreo se puede observar una clara correlación. La figura 2 muestra tal evolución temporal para la cuenca del Odiel. Existe una buena correlación entre las precipitaciones y los picos de caudal, incrementándose rápidamente tras los eventos pluviométricos. Sin embargo, a partir del verano de 2019, esa tendencia se rompe, observándose un desfase de 2-3 meses entre los picos máximos de precipitaciones y de caudal, que no llegan a niveles tan altos como en los eventos anteriores.

Esta misma tendencia es también reflejada tanto para la carga de los metales mayoritarios (e.g. Cu y Zn en el punto CO20; Fig 3) como para la CCT de los diferentes puntos de muestreo (Fig. 4). Ambas figuras muestran como el comportamiento de las concentraciones de Zn y Cu sigue la misma evolución que la CCT, coincidiendo picos de concentración con eventos pluviométricos. De nuevo, a partir de 2019 se observa un desfase temporal entre dichas lluvias y los aumentos de caudal y de CCT (Fig. 3 y 4). Además, la magnitud del incremento de la carga es muy inferior a los eventos anteriores, donde aumentaba de manera proporcional al incremento de precipitaciones.

El cambio en la respuesta hidrológica es claro, parece indicar que hasta el verano de 2019 el sistema está controlado fundamentalmente por la escorrentía superficial de las precipitaciones, provocando aumentos fuertes de caudal y carga metálica. A partir de esa fecha, motivado especialmente por las medidas destinadas a eliminar/disminuir dicha escorrentía superficial, la respuesta es mucho más lenta y apunta a la existencia de acuíferos antrópicos. Estos acumulan el agua de las precipitaciones a modo de reservorios liberándola paulatinamente, con tiempos de residencia de varios meses. Estos acuíferos ya estarían activos previamente, pero su respuesta hidrológica estaría enmascarada por los eventos de avenida, y estarían formados por todo

el sistema de escombreras que existen tanto al norte como fundamentalmente al oeste de Corta Atalaya, en el caso de la cuenca del Odiel, y al este de la corta de Cerro Colorado, en la cuenca del Tinto.

### Evolución de la Carga Contaminante

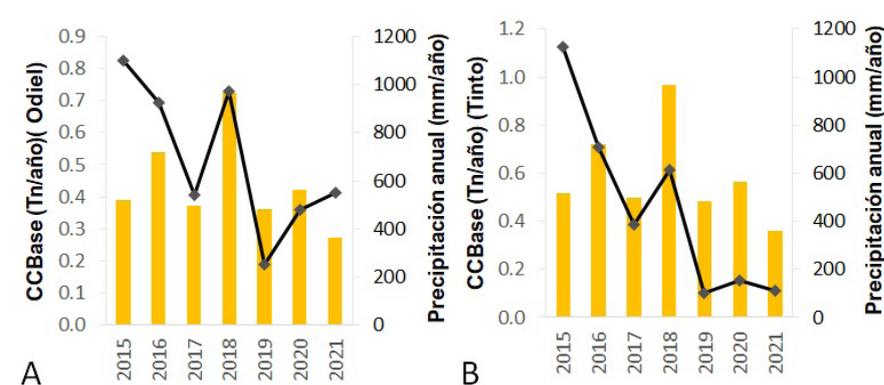
Para analizar en detalle la evolución interanual de la carga contaminante aportada a las cuencas de los ríos Tinto y Odiel se ha utilizado el parámetro CCBa-se, que es la suma de las cargas contaminantes de cada periodo durante un año natural (teniendo en cuenta los CCt de los 8 parámetros recogidos en la AAU). En la Figura 5 se representa la CCBa-se, normalizando esos valores mediante la división entre la precipitación anual de cada año con objeto de eliminar la influencia de la variabilidad pluviométrica, tanto para la cuenca del Tinto como la del Odiel, desde la reapertura de la mina en 2015 hasta 2021. La evolución de este parámetro muestra como independientemente de las oscilaciones de las precipitaciones anuales, existe una clara tendencia descendente de la CCBa-se en ambas cuencas, siguiendo el mismo patrón que la CCt.

### Conclusiones

El análisis e interpretación de los datos históricos de aguas difusas de la zona de estudio y su evolución temporal arrojan como principal conclusión que las actuaciones realizadas por Atalaya Mining en las cuencas de drenaje de los ríos Odiel y Tinto, dentro de las instalaciones de la mina de Riotinto, han supuesto un cambio radical en el comportamiento hidrológico de la zona, especialmente en su respuesta a los eventos de precipitación intensa.

Con anterioridad al desarrollo de estas actuaciones, las cuencas vertientes de los ríos Odiel y Tinto presentaban una respuesta hidrológica casi inmediata a los eventos de precipitación intensa (cada vez más comunes y relevantes en climas mediterráneos), traduciéndose esta respuesta en el aumento de caudal y carga metálica de los vertidos de aguas difusas.

Como consecuencia fundamentalmente del sellado de Túnel 5 y la construcción de canales perimetrales para el desvío de pluviales, evitando que estos entren en contacto con las escombreras, se produce un cambio en la respuesta hidrológica del sistema. A partir de este



**Fig. 5.- Evolución de CCBa-se de los vertidos a la cuenca del río Odiel (A) y al río Tinto (B), desde la reapertura de la mina a la actualidad. Ver figura en color en la web.**

*Fig. 5.- Evolution of CCBa-se of discharges to the Odiel river basin (A) and to the Tinto River (B), from the reopening of the mine to the present. See color figure in the web.*

momento (verano de 2019), la escorrentía superficial asociada a los eventos de precipitación deja de ser el principal mecanismo de interacción entre las precipitaciones y los residuos con capacidad de producir acidez y liberación de metales. Gran parte de la escorrentía superficial ya no llega a las escombreras no operativas, y por tanto, éstas son recargadas únicamente mediante la precipitación directa que cae sobre estas. Esto supone una importante disminución de la cantidad de agua que entra en contacto con las escombreras pasivas, lo que se traduce en una disminución del caudal y la carga de los aportes que se originan en estas, por lo que se puede concluir que el proyecto de reapertura y operación de la mina de Riotinto ha reducido de manera significativa los drenajes desde el reinicio de la actividad minera, dando un paso fundamental en la eliminación de los vertidos procedentes de pasivos a las cuencas del río Odiel y Tinto.

### Contribución de los autores

**Rafael León:** estructura del trabajo, metodología; **Jonatan Romero-Matos:** estructura del trabajo, metodología; **Francisco Macías:** coordinación, revisión del manuscrito; **Emilio Sanjuan:** adquisición de datos, supervisión; y **José Miguel Nieto:** coordinación, revisión del manuscrito.

### Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el contrato con la empresa Atalaya Riotinto Minera titulado "Estudio y modelización de los aportes difusos de drenaje ácido de mina del Proyecto Riotinto

a la cuenca del Odiel para el diseño de futuras medidas de tratamiento", de referencia OTRI 62/2021.

### Referencias

- Akcil, A., y Koldas, S. (2006). *Journal of cleaner production*, 14(12-13), 1139-1145. <https://doi.org/dr2fjz>
- Ayora, C., Caraballo, M. A., Macías, F., Rötting, T. S., Carrera, J., y Nieto, J. M. (2013). *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7837-7853. <https://doi.org/f5d97p>
- Cánovas, C.R., Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., y Cerón, J.C. (2007). *Science of The Total Environment* 373, 363-382. <https://doi.org/fn7z3m>
- Nieto, J.M., Sarmiento A.M., Olías, M., Cánovas, C.R., Riba, I, Kalman, J., y Delvalls, T.A. (2007). *Environment International* 33, 445-455. <https://doi.org/fh2m3d>
- Olías, M., y Nieto, J. M. (2015). *Environments*, 2(3), 295-316. <https://doi.org/gj7tnw>
- Olías, M., Nieto, J.M., Sarmiento, A.M., Cerón, J.C., y Cánovas, C.R. (2004). *Science of The Total Environment* 333, 267-281. <https://doi.org/bqgpxb>
- Olías, M., Nieto, J.M., Pérez-López, R., Cánovas, C.R., Macías, F., Sarmiento, A.M., y Galván, L. (2016). *Catena* 137, 12-23. <https://doi.org/h2kj>
- Orden, S., Macías, F., Cánovas, C. R., Nieto, J. M., Pérez-López, R., y Ayora, C. (2021). *Journal of environmental management*, 280, 111699. <https://doi.org/h2km>
- Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M., y Almodóvar, G. R. (1999). *Mineralium Deposita*, 34(5), 549-570. <https://doi.org/cmx364>
- Sarmiento, A.M., Nieto, J.M., Olías, M., y Cánovas, C.R. (2009). *Applied Geochemistry* 24, 697-714. <https://doi.org/dcg6n6>