Contaminación de los ríos Agrio y Guadiamar desde la Mina de Aznalcóllar tras las lluvias de marzo de 2025

Jesús M. Castillo. *Catedrático de Ecología en la Universidad de Sevilla.*
María José Leiva Morales. *Profesora Titular de Ecología en la Universidad de Sevilla.*
Cesar Megina Martínez. *Profesor Titular de Zoología en la Universidad de Sevilla.*
Jesús Cambrollé Silva. *Catedrático de Ecología en la Universidad de Sevilla.*

22 de junio de 2025

Resumen

El drenaje ácido de mina es un lixiviado ácido con grandes concentraciones de azufre y metales y metaloides potencialmente tóxicos. Este lixiviado se origina en desechos reactivos de las explotaciones mineras. Recientemente, las abundantes lluvias de marzo de 2025 llevaron a que escombreras en la Mina de Aznalcóllar comenzaran a ser fuente de grandes cantidades de drenaje ácido de mina. El objetivo de este informe es realizar un primer análisis de la contaminación por metales y metaloides potencialmente tóxicos que, proveniente de la Mina de Aznalcóllar, viene afectando a los Ríos Agrio (Crispinejo) y Guadiamar, a espacios y especies protegidas. Con este objetivo, realizamos visitas de campo y mediciones de diferentes parámetros (pH, salinidad y concentración de 25 elementos) de las aguas contaminadas por drenaje ácido de mina en el Río Agrio. Las aguas del Río Agrio, por debajo del Embalse de Aznalcóllar, vienen presentando un color turquesa desde finales de marzo hasta, al menos, finales de mayo de 2025 debido a drenaje ácido de mina provenientes de escombreras de la Mina de Aznalcóllar. La tinción de estas aguas de color turquesa conllevó la muerte masiva de peces en el Río Agrio. Las concentraciones de los diferentes elementos disueltos registradas en las aguas del contra-embalse del Río Agrio reflejan altas concentraciones de diferentes elementos, especialmente, cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn). El valor de Cd registrado (0.009 ± 0.001 mg L^{-1}) superó en 4.5 veces la concentración máxima admisible (0.002 mg L^{-1}). La concentración registrada de Cu (0.190 ± 0.029 mg L^{-1}) fue 4.8 veces mayor que la concentración media anual permitida (0.040 mg L^{-1}). La concentración registrada de Zn en el Río Agrio (2.257 ± 0.213 mg L^{-1}) fue 7.5 veces mayor que la concentración media anual permitida (0.300 mg L^{-1}). Además, las concentraciones registradas de aluminio (Al) podrían estar provocando toxicidad a los organismos acuáticos. En función de estas concentraciones y del volumen de agua del río, fueron transportados por

el Río Agrio hacia el Río Guadiamar miles de kilogramos de metales solo entre el 31 de marzo y el 6 de abril de 2005. Destacaron los 3580 kg Zn semana^{-1}, 961 kg Mn semana^{-1}, 275 kg Al semana^{-1}, 301 kg Cu semana^{-1}, 155 kg P semana^{-1}, 15 kg Li semana^{-1} y 14 kg Cd semana^{-1}. Estos resultados evidencian altos niveles de contaminación descontrolada desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar al Río Agrio, así como medidas deficientes para la contención del drenaje ácido de mina. Además, se realizaban actividades recreativas, como el baño, en el contra-embalse del Río Agrio cuando sus aguas estaban acidificadas y contaminadas con metales, lo que podría afectar a la salud pública. Los metales alcanzan el Río Guadiamar desde el Río Agrio y pueden seguir disueltos, adherirse a partículas en suspensión, precipitar o decantar juntos las partículas en el lecho fluvial. Una fracción desconocida de las decenas de toneladas de metales potencialmente tóxicos que circulan por el Río Guadiamar llegaría al Parque Nacional de Doñana. Además, estos metales podrían estar siendo bioacumulados y biomagnificados en la redes tróficas fluvial ribereña y marismeña. Aunque el pastoreo está prohibido a lo largo del Corredor Verde del Guadiamar, hay rebaños de cabras que acceden a él. Además, existe ganado, especialmente vacuno y equino, en las Marismas de Doñana donde desemboca actualmente el Río Guadiamar. De esta manera, los metales podrían estar llegando a productos agroalimentarios y al ser humano.

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir viene detectando incumplimiento de los objetivos de mejora de las masas de agua recogidos en el Plan Hidrológico del Guadalquivir para el Río Agrio. En este contexto, el Plan Hidrológico plantea el ‘estudio de la procedencia antrópica o natural de determinados contaminantes específicos’. Sin embargo, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, sin haber iniciado ‘el estudio de procedencia antrópica o natural de determinados contaminantes específicos’, plantea ahora crear una nueva tipología de ríos, “Ríos de la Faja Pirítica Ibérica”, abriendo la puerta a asumir como permanentes altas concentraciones de metales en la Cuenda del Río Guadiamar.

Como vemos, existentes numerosas incertidumbres sobre qué está pasando con los metales procedentes del drenaje ácido de mina de la Mina de Aznalcóllar a lo largo del Río Guadiamar y las Marismas de Doñana. Por lo tanto, deben desarrollarse estudios científicos detallados que aclaren cómo se está comportando la contaminación metálica. Además, es urgente que las administraciones públicas implicadas, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Junta de Andalucía y Fiscalía de Medio Ambiente, actúen en relación a la contaminación procedente de las escombreras de la Mina de Aznalcóllar.

Introducción

Los sulfuros polimetálicos se oxidan al entrar en contacto con la atmósfera debido a la actividad minera, generando un lixiviado ácido con grandes concentraciones de azufre y metales y metaloides potencialmente tóxicos. Este proceso se conoce como **drenaje ácido de mina** (DAM). Así, los desechos reactivos de las explotaciones mineras, típicamente almacenados en pilas, escombreras y presas de relaves, son una fuente de contaminación. El drenaje ácido de mina pueden llegar a cauces fluviales, contaminarlos, y degradar sus ecosistemas y los servicios ecosistémicos asociados (Wei *et al*., 2017).

Muchos cauces fluviales permanentes y temporales de las provincias de Sevilla y Huelva están altamente contaminados por DAM a lo largo de la conocida como 'Faja Pirítica Ibérica' (Castillo, 2025). En esta zona, **la Mina de Aznalcóllar** ha estado en funcionamiento desde finales del siglo XIX, recibiendo un fuerte impulso en los años sesenta y setenta del siglo pasado (Eriksson y Adamek, 2000). Desde entonces, ha vertido aguas residuales tratadas y drenaje ácido de mina sin tratar a los ríos Agrio (conocido anteriormente como Crispinejo) y Guadiamar, afluente del Guadalquivir (Cabrera *et al*., 1984). La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir caracteriza el Río Agrio por debajo del Embalse de Aznalcóllar como tipo 'Río Tinto' (R-T19), y los tramos medio y bajo del Guadiamar como tipo 'Ríos de la Depresión del Guadalquivir' (R-T02) (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2023). **En abril de 1998, se produjo uno de los peores desastres ecológicos de España al romperse una gran balsa minera de la Mina de Aznalcóllar** (Sabater *et al*., 2022). El colapso de esta balsa conllevó la liberación de más de 5 millones de toneladas de lodos tóxicos y agua ácida (pH ~ 3) con altas concentraciones de metales y metaloides en el Río Guadiamar y al Estuario del Guadalquivir (Grimalt *et al*., 1999). Esta catástrofe ambiental conllevó la acumulación de metales potencialmente tóxicos en los sedimentos y la biota del Estuario del Guadalquivir durante lustros, afectando a la actividad pesquera y marisquera en la zona (Blasco *et al*., 1999; Palanques *et al*., 1999; Riba *et al*. 2004; Morillo *et al*., 2005). En la actualidad, la Mina de Aznalcóllar está gestionada por una empresa cuyo socio mayoritario es el grupo México, responsable de la contaminación grave del Río Sonora (México) con metales provenientes de una mina (Barragán, 2024).

Recientemente, **las lluvias torrenciales de marzo de 2025 llevaron a que escombreras en la Mina de Aznalcóllar comenzaran a ser fuente de grandes cantidades de DAM.** Esta contaminación afectó directamente, y en primer lugar, al contra-embalse del Embalse Aznalcóllar en el Río Agrio, cuyas aguas se tiñeron de turquesa (Fig. 1). El cambio

de color de las aguas del Río Agrio conllevó la muerte masiva de peces en el contra-embalse (Morente, 2025). Esta mortandad de peces llegó a afectar a la anguila europea (*Anguilla anguilla* L.), especie en peligro crítico de extinción (Fig. 2). Desde marzo de 2025, las aguas del contra-embalse del Río Agrio contaminadas por DAM han estado fluyendo libremente y contaminando, aguas abajo, los ríos Agrio y Guadiamar hasta, al menos, el momento en que se escribe este trabajo.

El objetivo de este informe es realizar un primer análisis preliminar de la contaminación por metales y metaloides potencialmente tóxicos que, proveniente de la Mina de Aznalcóllar, viene afectando a los Ríos Agrio y Guadiamar a raíz de las lluvias de marzo 2025. Este informe quiere llamar la atención de las **autoridades competentes** en la protección de la salud pública y ambiental para que analicen en profundidad la contaminación referida en este informe y tomen las medidas oportunas según marca la legislación vigente. Así mismo, este informe va dirigido también a los **agentes socio-económicos** que generan miles de puestos de trabajo aguas abajo en los Ríos Guadiamar y Guadalquivir. Puestos de trabajo que podrían estar amenazados por la contaminación procedente de la Mina de Aznalcóllar.

Material y Métodos

Muestreos de campo

El contra-embalse del Embalse de Aznalcóllar y la confluencia de los ríos Agrio y Guadiamar se visitaron el 5 de abril de 2025 (Fig. 3). Esta visita se realizó 10 días después de comprobar que las aguas del contra-embalse se habían teñido de color turquesa. Se tomaron 5 muestras de agua (40 ml) a lo largo de 100 m de la orilla derecha del contra-embalse y otras 5 muestras en la confluencia de los ríos Agrio y Guadiamar.

El 28 de mayo de 2025, volvió a realizarse una salida de campo a la misma zona de estudio para comprobar si el contra-embalse del Agrio seguía con coloración turquesa y muestrear, nuevamente, sus aguas; estos datos no están recogidos en este informe. Además, se visitaron las escombreras de la Mina de Aznalcóllar para comprobar si seguía activo el DAM, así como diferentes zonas aguas abajo del contra-embalse en los Ríos Agrio y Guadiamar.

Figura 1. Aguas turquesas en el contra-embalse del Embalse Aznalcóllar en el Río Agrio en abril de 2025, tras la llegada de grandes cantidades de drenaje ácido de minas desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar.

Figura 2. Ejemplar de anguila europea (*Anguilla anguilla* L.), especie en peligro crítico de extinción, muerta en el Río Agrio tras la llegada de grandes cantidades de drenaje ácido de minas desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar.

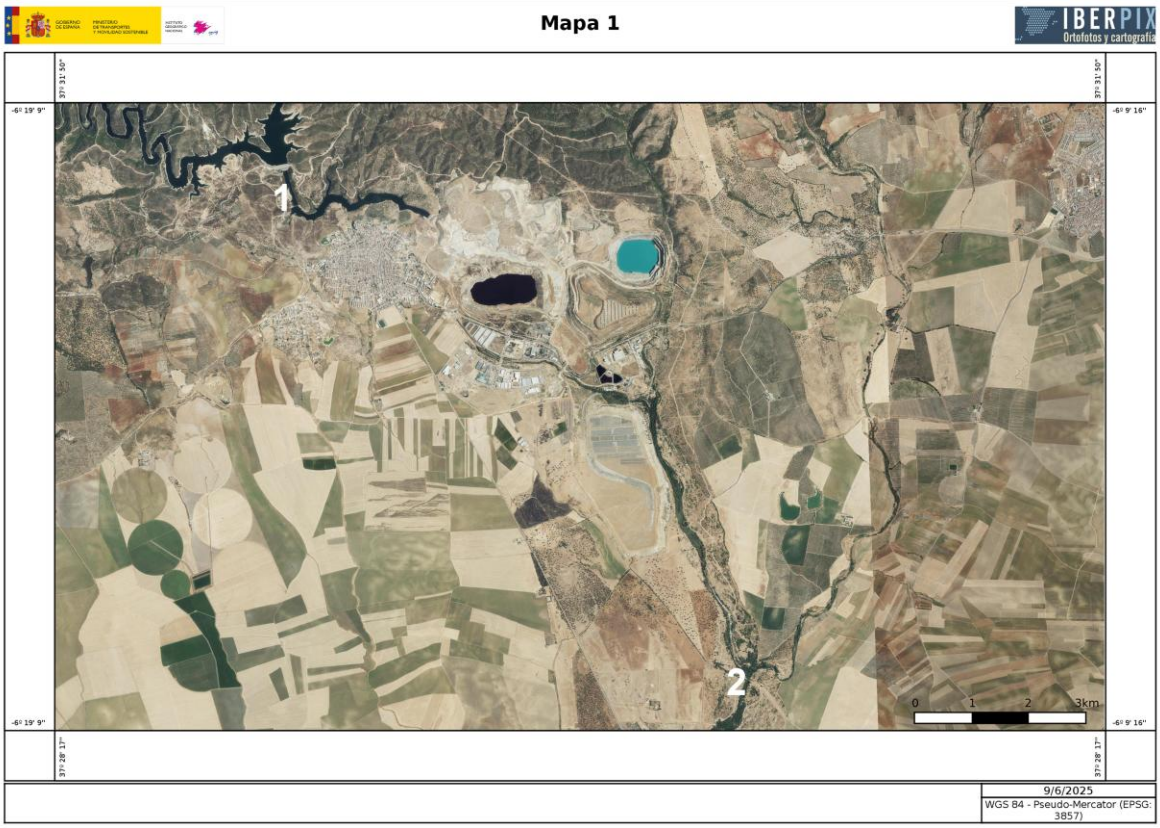

Figura 3. Puntos de muestreo en el contra-embalse del Embalse de Aznalcóllar (1) y en la confluencia de los ríos Agrio y Guadiamar (2) en abril de 2025.

Análisis de laboratorio

Una vez en el laboratorio, se midió el pH y la conductividad eléctrica (CE; en mg L^{-1}) de las muestras de agua recogidas en el campo. El pH se midió mediante un pHchímetro (pHMeter CRISON GLP21) y la conductividad eléctrica, una cuantificación de la salinidad, con un conductímetro (Crison CM35).

Además, se midieron las concentraciones (en mg L^{-1}) de aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), bario (Ba), calcio (Ca), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), potasio (K), litio (Li), magnesio (Mg), Molibdeno (Mo), sodio (Na), níquel (Ni), fósforo (P), plomo (Pb), azufre (S), estroncio (Sr), uranio (U), vanadio (V) y zinc (Zn) en las muestras de agua recogidas en el contra-embalse el 5 de abril de 2025. Para la determinación de la concentración de sales y elementos traza, se filtró una alícuota de la muestra de agua por filtro de Nylon (tamaño de poro = 0.45 μm) y se acidificó al 2% con HNO_3 (30%). Las concentraciones de los distintos elementos se midieron en un espectrómetro de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) modelo Agilent 7800. Se utilizaron

soluciones estándar y blancos para la calibración. Las soluciones de calibración y control de calidad (QC) se prepararon a partir de disoluciones de elementos múltiples ICP certificados. Para evitar la contaminación de las muestras con trazas de cualquier metal, todo el material utilizado para el almacenamiento de muestras y tratamientos, así como el material de laboratorio se trató con HNO_3 al 2% seguido de lavados con agua Milli-Q. La exactitud de los métodos analíticos se evaluó a través de una muestra de referencia certificada de agua potable (CRM-DW1-49) con 29 elementos. Las diferencias en las concentraciones de metales entre los valores analizados y certificados fueron < 10%. Estos análisis se realizaron en el Servicio de Análisis del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS), y fueron financiados directamente con dinero personal del profesor Jesús M. Castillo, al no contar con un proyecto de investigación que pudiera cubrirlos.

Datos de caudales

Los datos de precipitación (en L m^{-2}) y caudal (en m^3 s^{-1}) de desembalse del Embalse de Aznalcóllar al Río Agrio, del nivel del contra-embalse (en m sobre el nivel del mar, s.n.m.), y de caudal del Río Guadiamar en Gerena y el Guijo se obtuvieron en la web de la Red de Control S.A.I.H. (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2022).

Análisis de datos

La desviación respecto a la media aritmética se calculó como error estándar (EE). La cantidad total de cada elemento que llegó por el Río Agrio al Guadiamar (en kg $día^{-1}$) se obtuvo multiplicando el volumen medio diario (en m^3 s^{-1}) de desembalse del Embalse de Aznalcóllar al Río Agrio (con un nivel constante del contra-embalse) por el número de segundos en un día (86400 s). Este valor de desembalse diario obtenido en m^3 $día^{-1}$ se pasó a L $día^{-1}$ (multiplicando por 1000) y, posteriormente, se multiplicó por la concentración de respectiva de cada elemento (en mg L^{-1}). Este cálculo fue conservador, es decir, tendía a calcular a la baja la cantidad de metales que llegaron al Río Guadiamar por dos razones: la zona de muestreo de las aguas para medir la concentración de metales estaba en una zona del contra-embalse alejada de la zona donde se producía el DAM y cercana al embalse cuyas aguas desembalsadas diluían los metales. Además, el caudal del Río Agrio era mayor que el propio del desembalse al existir arroyos que desembocaban directamente en el contra-embalse, aumentando así el caudal.

Resultados y Discusión

En la salida de campo del 5 de abril de 2025, se comprobó que **grandes cantidades de DAM** estaban fluyendo desde escombreras en la Mina de Aznalcóllar, procedentes de la explotación de la Corta de Aznalcóllar, hasta el contra-embalse, en el que se encontraron numerosos peces muertos y moribundos en las orillas (Fig. 4). Las aguas turquesas, producto del DAM, discurrían por el Río Agrio **hasta el Río Guadiamar** (Fig. 5, 6).

En la salida del 28 de mayo de 2025, se comprobó que el DAM desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar había finalizado (Fig. 7). Sin embargo, el contra-embalse y el Río Agrio aún mantenían el color turquesa propio de la contaminación por metales (Fig. 8). Estas aguas contaminadas seguían fluyendo por el Río Agrio alcanzando el Río Guadiamar, 2 meses después de las lluvias torrenciales de marzo (Fig. 9).

El pH del agua en el contra-embalse del Río Agrio fue de 5.5 ± 0.1. Las aguas turquesas provenientes del Río Agrio en la confluencia con el Río Guadiamar presentaron un pH de 6.3 ± 0.1. La salinidad, registrada como conductividad eléctrica, del agua del Río Agrio fue de 119 ± 13 mg L^{-1} en el contra-embalse, y 129 ± 13 mg L^{-1} en la confluencia con el Río Guadiamar.

Las concentraciones de los diferentes elementos disueltos registradas en las aguas del contra-embalse del Río Agrio están recogidas en la Tabla 1. En relación a la normativa que establece los criterios de evaluación del estado de las aguas superficiales y sus normas de calidad ambiental (Real Decreto 817/2015), destacaron las concentraciones de Cd, Cu y Zn. **El valor de Cd registrado (0.009 ± 0.001 mg L^{-1}) superó en 4.5 veces la concentración máxima admisible** (0.002 mg L^{-1}). El cadmio es el principal elemento cancerígeno en aguas continentales en Asia, África, Oceanía y Sudamérica (Kumar *et al*., 2023). **La concentración registrada de Cu (0.190 ± 0.029 mg L^{-1}) fue 4.8 veces mayor que la concentración media anual permitida (0.040 mg L^{-1}).** La alta concentración de Cu registrada apunta a que el color turquesa de las aguas del Río Agrio podría deberse a sulfato de cobre. **La concentración registrada de Zn en el Río Agrio (2.257 ± 0.213 mg L^{-1}) fue 7.5 veces mayor que la concentración media anual permitida (0.300 mg L^{-1})**. La concentración de Zn y Mn (para el que no hay normas de calidad ambiental en España) registradas en nuestro estudio fueron superiores a la medida en casi todos los ríos a nivel mundial (Hossain *et al*., 2025).

Figura 4. Uno de los numerosos peces muertos en el contra-embalse del Embalse de Aznalcóllar tras la llegada de grandes cantidades de drenaje ácido de minas desde las escombreras abandonadas de la Mina de Aznalcóllar.

Figura 5. Confluencia de los ríos Agrio (aguas turquesas en primer plano) y Guadiamar (aguas ocres en segundo plano) el 5 de abril de 2025.

La concentración de Al disuelto fue muy elevada (0.173 ± 0.069 mg Al L^{-1}) lo que se relacionaría con la acidez (pH = 5.5) del agua del contra-embalse. Concentraciones mayores a 0.074 mg Al L^{-1} pueden provocar toxicidad en organismos acuáticos. Cabe destacar que el Al puede provocar toxicidad en peces, incluso, en estado precipitado (Botté *et al*., 2022). Por lo tanto, **las concentraciones registradas de Al podrían estar provocando toxicidad a los organismos acuáticos**, al menos, en el Río Agrio y, quizás también, en el Río Guadiamar.

El caudal medio de desembalse del Embalse de Aznalcóllar en el Río Agrio fue 2.6 ± 0.1 m^3 s^{-1} en la semana comprendida entre el 31 de marzo y el 6 de abril de 2005. En este periodo, el nivel del contra-embalse se mantuvo estable en 75.3 ± 0.0 m s.n.m. Por lo tanto, el volumen total diario del Río Agrio durante esta semana fue de, al menos, 226619298 ± 6697038 L $día^{-1}$. Así, el volumen total de agua que circuló por el Río Agrio entre el 31 de marzo y el 6 de abril de 2005 fue, al menos, de 1586335083 L. La Tabla 2 muestra la cantidad total de cada elemento registrado que, en función de sus concentraciones y del volumen de agua del río, fueron transportados por el Río Agrio hacia el Río Guadiamar entre el 31 de marzo y el 6 de abril de 2005. **Destacan los 3580 kg Zn $semana^{-1}$, 961 kg Mn $semana^{-1}$, 275 kg Al $semana^{-1}$, 301 kg Cu $semana^{-1}$, 155 kg P $semana^{-1}$, 15 kg Li $semana^{-1}$ y 14 kg Cd $semana^{-1}$.**

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir viene detectando **incumplimiento de los objetivos de mejora de las masas de agua recogidos en el Plan Hidrológico del Guadalquivir** para el Río Agrio por debajo de su embalse, por Se, Zn, Cu, Ni y Cd, y en los tramos medio y bajo del Río Guadiamar por Cd. En este contexto, el Plan Hidrológico plantea dentro de las 'medidas necesarias' el 'estudio de la procedencia antrópica o natural de determinados contaminantes específicos' en el Río Agrio por debajo de su embalse y en los tramos medios y bajo del Río Guadiamar. Medida que aún no ha sido iniciada. En este contexto, el Plan Hidrológico vigente (ciclo 2022-2027) cambia de objetivos respecto del ciclo de planificación anterior (2016-2021) y prorroga más allá de 2027 la obligación de alcanzar los objetivos de calidad determinados debido a 'los altos niveles de contaminantes, la gran extensión de los foso de drenaje ácido de minas y la gran complejidad del problema, que dificulta la aplicación de los métodos de tratamiento de lixiviados. Aunque algunos métodos puedan haber sido efectivos localmente, a escala de cuenca las medidas de remediación empleadas hasta ahora no han dado los resultados esperados'. Por todo esto, el Plan Hidrológico concluye que 'sería necesario caracterizar la concentración natural de metales en dichas aguas, con la posible **definición de una nueva tipología de ríos "Ríos de la Faja**

Pirítica Ibérica"' (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2023)[1]. Es necesario recordar que en el Plan Hidrológico del ciclo anterior (2016-2022) se decía: 'La masa ES050MSPF011100089 "Río Crispinejo aguas abajo de la presa del Agrio hasta el río Guadiamar", presenta incumplimientos por sustancias químicas cuyo origen, presumiblemente, sea la actividad minera que se ha venido desarrollando históricamente en la zona. Se plantea el desarrollo de estudios en la zona para determinar el origen de estos incumplimientos lo cual justifica la exención planteada'. En consecuencia, se concluía que 'Ante la incertidumbre actual sobre el origen concreto del problema y a la espera de los resultados que arrojen estos estudios y el alcance del mismo y de las posible medidas a definir, se plantea una prórroga hasta el año 2021, para dar tiempo a desarrollar estos estudios y ejecutar las medidas consecuentes'.[2]

Sin embargo, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, sin haber iniciado 'el estudio de procedencia antrópica o natural de determinados contaminantes específicos', se plantea ahora la posibilidad de crear una nueva tipología de ríos, abriendo la puerta a justificar y asumir como permanentes altas concentraciones de metales potencialmente tóxicos en la Cuenda del Río Guadiamar en función de 'sus concentraciones naturales'. Asumir que las altas concentraciones de metales disueltos en la Cuenca del Río Guadiamar tienen cusas naturales es un sinsentido pues, como ejemplifica este informe, se deben a contaminación procedente de la Mina de Aznalcóllar. Además, la Mina del Castillo de las Guardas se localiza aguas arriba del Embalse del Río Agrio y también contribuye a la contaminación metálica en la Cuenca del Guadiamar (Talego y Pérez, 2025).

[1] Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tercer Ciclo (2022-2027). .Anejo 8: Objetivos medioambientales y exenciones. Apéndice 2 - Exenciones Artículos 4.4 y 4.5 DMA de las MASp.
[2] Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Segundo Ciclo (2016-2022). Anejo nº8 – Objetivos medioambientales y exenciones, pág. 27.

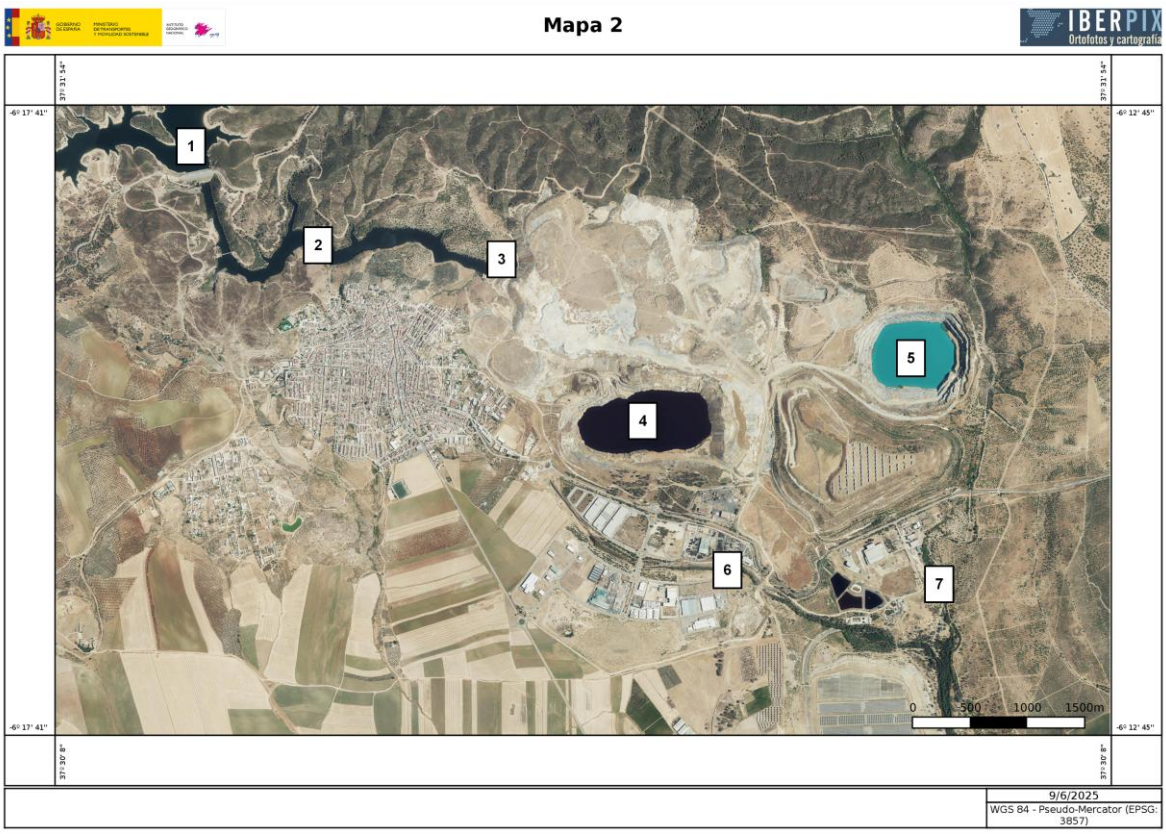

Figura 6. Zona ocupada por la Mina de Aznalcóllar. 1, Embalse de Aznalcóllar; 2, contra-embalse; 3, escombreras de la Corta de Aznalcóllar; 4, Corta de Aznalcóllar; 5, Corta de los Frailes; 6, Río Agrio, 7, Río de los Frailes.

Figura 7. Zona de escombreras de la Mina de Aznalcóllar donde el drenaje ácido de minas fluyó directamente al contra-embalse del Río Agrio. El 28 de mayo de 2025, ya habían cesado los flujos de drenaje ácido de minas.

Figura 8. Contra-embalse en el Río Agrio visto desde el Embalse de Aznalcóllar el 28 de mayo de 2025.

Recordemos que el Río Guadiamar desemboca en las Marismas del Parque Nacional de Doñana y en el Estuario del Guadalquivir. Sin embargo, este estudio muestra **altos niveles de contaminación descontrolada desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar al Río Agrio**. Una contaminación que puede cuantificarse en **decenas de toneladas de elementos potencialmente tóxicos como Cd, Cu y Zn**. En este contexto, la alta mortandad de peces registrada en el Río Agrio durante los primeros días que sus aguas tomaron tonalidades turquesas (posiblemente derivadas del sulfato de cobre) podría deberse a toxicidad directa por los metales provenientes del DAM de las escombreras mineras. Por lo tanto, este informe evidencia que las altas concentraciones de metales con efecto ecotóxico registradas en el Río Agrio, y que se extienden al Río Guadiamar y, posiblemente, a Doñana y el estuario del Guadalquivir, no tienen una procedencia natural, como plantea ahora la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir proponiendo la posibilidad de crear un nuevo tipo de río, sino que su origen es claramente antrópico. Por lo tanto, deberían tomarse medidas de forma urgente para remediar de forma efectiva la contaminación metálica procedente de las escombreras de la Mina de Aznalcóllar.

La contaminación proveniente de la Mina de Aznalcóllar registrada en este informe es especialmente significativa si se tiene en cuenta que dicha Mina solicitó autorización a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para verter, tras su reapertura, concentraciones de metales menores a las registradas en este estudio en el Río Agrio y dicha autorización fue denegada. Debido a esta denegación, la Mina de Aznalcóllar propone construir una tubería de unos 30 km para acabar vertiendo aguas con metales y metaloides potencialmente tóxicos al Estuario del Guadalquivir tras su reapertura (Junta de Andalucía, 2024).

Este informe evidencia que las medidas de contención del DAM desde las escombreras de la Mina de Aznalcóllar son muy deficientes y no están diseñadas adecuadamente, ya que grandes cantidades de DAM llegan directamente al Río Agrio desde dichas escombreras. En vista de estos resultados, es urgente la toma de medidas para canalizar la totalidad del DAM a balsas de almacenamiento antes de que alcance el Río Agrio. Además, las escombreras deberían someterse a un proceso de adecuación ambiental para evitar la infiltración de aguas en las mismas, así como a una estabilización de contaminantes.

Durante nuestras salidas de campo, hemos comprobado que se realizaban actividades recreativas, como el baño, en el contra-embalse del Río Agrio cuando sus aguas estaban acidificadas y contaminadas con metales (Fig. 10). Algunos de estos metales disueltos, como el Zn, podrían difundir a través de la piel humana, especialmente si esta es lavada con aguas algo ácidas que pudieran eliminar sudor y sebo de la piel (Chen *et al*., 2024). **Las Consejerías de Sostenibilidad y Medio Ambiente y de Salud y Consumo deberían actuar a este respecto en salvaguarda de la salud pública**.

Tabla 1. Concentración de diferentes elementos en las aguas del contra-embalse del Embalse de Aznalcóllar en el Río Agrio el 5 de abril de 2025.

	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sr	U	V	Zn
Muestra 1	0.057	0.000	0.025	0.015	12.055	0.009	0.018	< 0.0001	0.206	0.006	< 0.00001	3.096	0.010	11.027	0.748	0.000	7.032	0.015	< 0.0010	0.000	24.392	0.024	0.000	0.000	2.441
Muestra 2	0.184	0.001	0.024	0.010	11.469	0.008	0.017	0.000	0.163	0.014	< 0.00001	7.611	0.010	11.167	0.707	0.000	17.508	0.014	0.246	0.000	24.423	0.027	0.000	0.000	2.144
Muestra 3	0.055	0.001	0.017	0.012	20.526	0.006	0.003	< 0.0001	0.102	0.010	< 0.00001	4.638	0.008	11.348	0.132	0.000	8.752	0.012	0.041	< 0.0001	22.817	0.036	< 0.0001	0.000	1.492
Muestra 4	0.137	0.000	0.019	0.011	9.991	0.009	0.019	< 0.0001	0.200	0.004	< 0.00001	3.108	0.010	10.881	0.697	0.000	11.527	0.016	0.007	0.000	24.317	0.022	0.000	0.000	2.476
Muestra 5	0.433	0.000	0.015	0.012	10.489	0.011	0.020	0.000	0.278	0.027	< 0.00001	2.296	0.010	11.225	0.744	0.000	6.784	0.017	< 0.0010	0.000	24.732	0.022	0.000	0.000	2.732
Media	**0.173**	**0.000**	**0.020**	**0.012**	**12.906**	**0.009**	**0.015**	**0.000**	**0.190**	**0.012**	**< 0.00001**	**4.150**	**0.009**	**11.130**	**0.606**	**0.000**	**10.320**	**0.015**	**0.098**	**0.000**	**24.136**	**0.026**	**0.000**	**0.000**	**2.257**
EE	**0.069**	**0.000**	**0.002**	**0.001**	**1.939**	**0.001**	**0.003**	**0.000**	**0.029**	**0.004**		**0.945**	**0.000**	**0.081**	**0.119**	**0.000**	**1.986**	**0.001**	**0.058**	**0.000**	**0.337**	**0.003**	**0.000**	**0.000**	**0.213**

Tabla 2. Cantidad media de cada elemento disuelto (kg semana^{-1}) que fue transportada por el Río Agrio entre el 31 de marzo y el 6 de abril de 2005.

Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sr	U	V	Zn
275	1	32	19	20473	14	24	0	301	19	0	6583	15	17655	961	0	16372	23	155	0	38288	42	0	0	3580

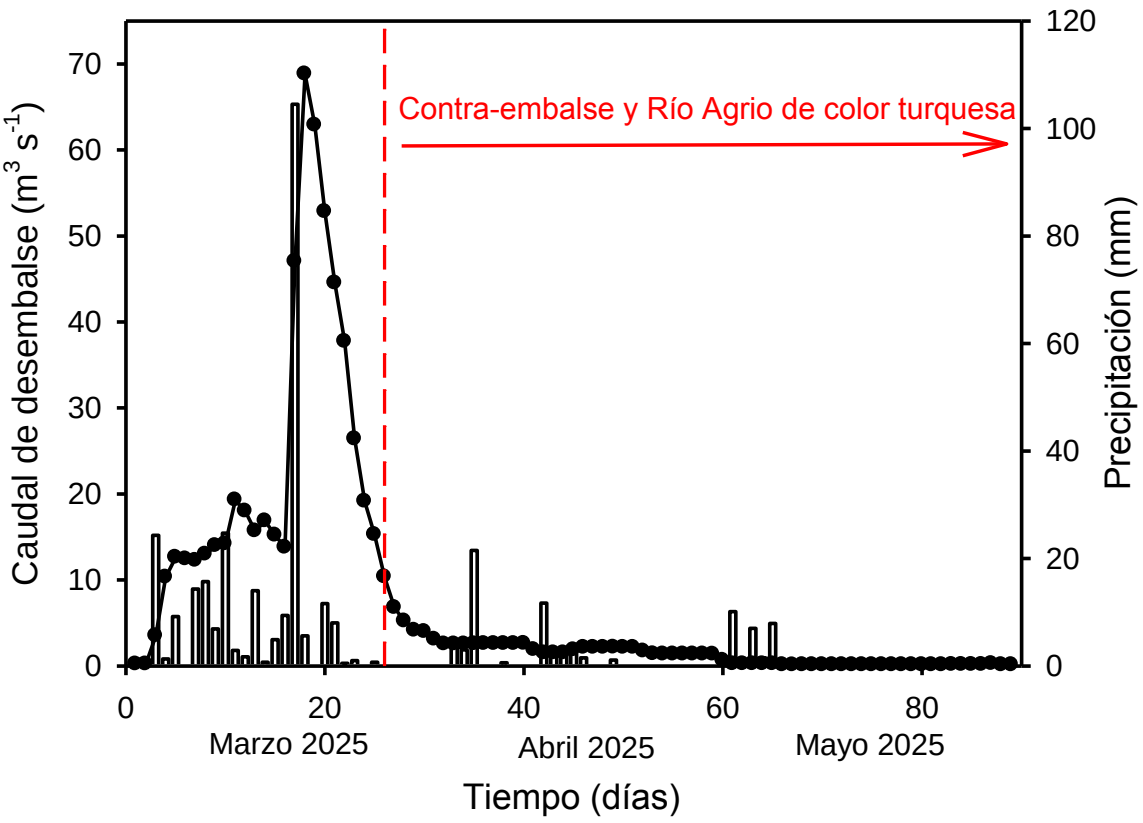

Figura 9. Caudal de desembalse al Río Agrio desde el Embalse de Aznalcóllar y precipitación en Aznalcóllar durante marzo, abril y mayo de 2025. La línea discontinua roja vertical indica cuando se detectaron las aguas del Río Agrio teñidas de color turquesa. Fuente: Red de Control S.A.I.H. (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2022).

Una vez que **los metales alcanzan el Río Guadiamar** desde el Río Agrio, las aguas turquesas cargadas de metales disueltos de este último se mezclan, paulatinamente, con las aguas ocres del Río Guadiamar cargadas de partículas en suspensión (Fig. 5). Entonces, parte de los metales en disolución precipitarían al aumentar el pH del agua y otra parte pasarían a adherirse a partículas en suspensión de arcillas y materia orgánica (Palanques *et al*., 1999). Las partículas en suspensión podrían ser ingeridas por suspensívoros, como copépodos y misidáceos. Además, las náyades (mejillones de agua dulce) en el bentos del Río Guadiamar (Cid Leal, 2024) también podrían filtrar partículas en suspensión. Y los detritívoros, como algunos peces, podrían bioacumular metales precipitados en el fondo. De esta manera, los metales disueltos podrían ser absorbidos vía cutánea y los precipitados podrían ser ingeridos.

Conforme el Río Guadiamar lleva menos caudal, como ha ocurrido desde finales de marzo a finales de mayo, también transporta menos partículas en suspensión (menor

turbidez), lo que haría que menos metales de adhirieran a partículas y permanecieran en disolución, pudiendo ser asimilados por la biota. Además, una mayor fracción de metales disueltos sería transportada a mayores distancias aguas abajo por el Río Guadiamar hacia Doñana y el Estuario del Guadalquivir.

Parte de las partículas con metales adheridos se depositarían a lo largo del lecho del Río Guadiamar, especialmente en zonas con una hidrodinámica más tranquila donde el tiempo de residencia de los contaminantes suele ser mayor (Riba *et al*., 2002). Cabe señalar aquí que la documentación de la Confederación hidrográfica del Guadalquivir no detectó contaminación química en la masa de agua Guadiamar-Brazo de la Torre, una 'masa muy modificada' y 'de transición' (con influencia mareal), que oficialmente está en 'buen estado químico' (CHG, 2023). Dado que los datos para esta caracterización son de hace ya varios años y los metales procedentes de la Mina de Aznalcóllar han podido llegar a la zona, sería necesario volver a evaluar el estado químico de los sedimentos de esta masa de agua.

Además, una fracción de los metales quedarían disueltos en las aguas del Río Guadiamar y otra fracción de los metales adheridos a partículas seguirían en suspensión. Además, los metales adheridos a partículas depositadas en el lecho fluvial y marismeño podrían ser removilizados tras fuertes lluvias, tal y como ocurre en el Estuario del Guadalquivir (Miro *et al*., 2023). También, los metales precipitados podrían volver a estar en disolución en función de las características ambientales del lecho del río y las marismas (Cánovas *et al*., 2020, 2022). En este sentido, algunos contaminantes particulados pueden disolverse, por aumento del pH y la presencia de sales, y volverse biodisponibles (Beltrán *etal*. 2010, Carro *et al*. 2011 y Grande *et al*. 2013). En este contexto, **fracciones de las decenas de toneladas de metales potencialmente tóxicos que circulan por el Río Guadiamar provenientes de las escombreras de la Mina de Aznalcóllar llegarían al Parque Nacional de Doñana y al Estuario del Guadalquivir**. En algunas zonas mineras de Zambia, se han encontrado concentraciones elevadas de Co y Cu en sedimentos fluviales hasta 100 y 300 km de distancia desde las minas (Kříbek *et al*., 2023).

Figura 10. Bañistas en el contra-embalse del Río Agrio con sus aguas turquesas contaminadas con metales procedentes de las escombreras de la Mina de Aznalcóllar.

Al mismo tiempo que los metales circulan a lo largo de los cauces fluviales, también podrían estar siendo **bioacumulados y biomagnificados en las redes tróficas** por la vegetación y la fauna. Tras la rotura de la balsa minera de Aznalcóllar en 1998, se bioacumularon metales en diferentes especies de moluscos (varias especies de almejas), crustáceos (por ejemplo, diferentes especies de cangrejos), peces y mamíferos (como la nutria europea, *Lutra lutra*) a lo largo del Río Guadiamar y en el Estuario del Guadalquivir (Blasco *et al*., 1999; Suñer *et al*., 1999; Baos *et al*., 2022; Martin-Díaz *et al*., 2006). Además, el álamo blanco (*Populus alba*), una de las especies arbórea más abundante a lo largo del Río Guadiamar, es capaz de bioacumular muchos metales en sus hojas (Borghi *et al*., 2008; Miletic *et al*., 2018; Baldantoni *et al*., 2014). En este sentido, Madejón *et al*. (2018) registraron que el álamo blanco fue la especie arbórea que acumuló más contaminantes, especialmente Cd y Zn, en hojas en el Río Guadiamar tras la rotura de la balsa de la Mina de Aznalcollar en 1998, incluso 12 años después del vertido minero. Más allá de la bioacumulación de metales y metaloides en árboles de ribera, los macrófitos acuáticos

también pueden bioacumular metales. Así, una de las especies de macrófitos más abundante en el Río Guadiamar y las Marismas de Doñana es el carrizo (*Phragmites australis*) que bioacumula metales a concentraciones elevadas en sus tejidos aéreos (Milke *et al*., 2010; Srivastava *et al*., 2014; Rezania *et al*., 2019). Aunque el pastoreo está prohibido a lo largo del Corredor Verde del Guadiamar, hay rebaños de cabras que acceden a él. Además, existe ganado, especialmente vacuno y equino, en las Marismas de Doñana donde podrían estar llegando los metales trasportados aguas abajo en el Guadiamar en episodios de avenidas fluviales a través del Caño Travieso, tras la restauración ecológica de esta zona incluida en el Plan Doñana 2005. Además, el Estuario del Guadalquivir es una zona clave para la cría y el engorde de muchas especies de crustáceos, moluscos y peces explotadas comercialmente, y que, en parte, son capturadas en su desembocadura (Orden de 16 de junio de 2004, BOJA 123; Drake *et al*., 2002). De esta manera**, los metales podrían estar llegando a productos agro-ganaderos, de pesca y marisqueo y, finalmente, al ser humano**.

Como vemos, existentes numerosas incertidumbres sobre qué está pasando con los metales procedentes del DAM de la Mina de Aznalcóllar a lo largo del Río Guadiamar y las Marismas de Doñana. Por lo tanto, deben desarrollarse estudios científicos detallados que aclaren qué porcentaje de estos metales potencialmente tóxicos están llegando al Parque nacional de Doñana y qué fracción de dichos metales están siendo bioacumulados y biomagnificados en las redes tróficas. Así mismo, deben estudiarse las posibles consecuencias de esta bioacumulación en la biota y en posibles riesgos para la salud pública.

En vista de los resultados de este informe, **es urgente que las administraciones públicas implicadas, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Junta de Andalucía y Fiscalía de Medio Ambiente, actúen en relación a la contaminación procedente de las escombreras de la Mina de Aznalcóllar**. La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir debería actuar ya que la contaminación afecta a aguas continentales de la Cuenca del Guadalquivir. La Junta de Andalucía debería implicarse pues la contaminación afecta a especies protegidas, como la anguila europea, a espacios protegidos, como el Paisaje Protegido Corredor Verde del Guadiamar, el Espacio Protegido Doñana y la Zona de Especial Conservación (ZEC) Bajo Guadalquivir, y podría estar afectando a la salud pública. La Fiscalía de Medio Ambiente debería actuar ya que se ha comprobado un daño ambiental evidente por contaminación de altas concentraciones metales potencialmente tóxicos junto con la muerte de numerosos peces, incluida una especie protegida.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Leandro del Moral Ituarte, catedrático e investigador honorario del Departamento de Geografía Humana de la Universidad de Sevilla, por sus aportaciones referidas a la relación del tema investigado con la documentación de la planificación hidrológica de la Demarcación del Guadalquivir

Bibliografía

Baldantoni *et al*. 2014. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.045

Baos *et al*. 2022. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149669

Barragán, A. 2024. El desastre del río Sonora: 10 años de contaminación y promesas rotas. https://elpais.com/mexico/2024-08-06/el-desastre-del-rio-sonora-10-anos-de-contaminacion-y-promesas-incumplidas.html

Beltrán *et al*. 2010. https://doi.org/10.1007/s12665-010-0465-y

Blasco *et al*. 1999. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00394-0

Borghi *et al*. 2008. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.001

Botté, A., Zaidi, M., Guery, J. *et al*. (2022). Aluminium in aquatic environments: abundance and ecotoxicological impacts. *Aquat Ecol* **56**, 751–773 https://doi.org/10.1007/s10452-021-09936-4

Cabrera, F., Toca, C.G., Diaz, E., de Arambarri, P., 1984b. Acid mine-water and agricultural pollution in a river skirting the Doñana National Park (Guadiamar river, South West Spain). Water Research 18, 1469–1482. https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90120-9

Cánovas *et al*. 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137905

Cánovas *et al*. 2022. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119448

Carro *et al*. 2011. https://doi.org/.org/10.5209/rev_JIGE.2011.v37.n1.6

Castillo, J.M. 2025. Contaminación por drenaje ácido de mina en la Faja Pirítica Ibérica. En: Los impactos minería en Andalucía Occidental. Fundación Nueva Cultura del Agua.

Cid Leal, J. 2024. Náyades, mejillones de agua dulce en el río Guadiamar. https://youtu.be/7p6NbvcyZHg

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2022. https://www.chguadalquivir.es/saih/RedControl2.aspx Última vez visitada: 30 de mayo de 2025.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2023. Plan Hidrológico de la Demarcación hidrográfica del Guadalquivir: Tercer Ciclo (2022-2027). Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, publicado en BOE núm. 35, de 10 de febrero de 2023. https://www.chguadalquivir.es/tercer-ciclo-guadalquivir

Chen *et al*., 2024. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172390

Eriksson, N., Adamek, P., 2000. The tailings pond failure at the Aznalcóllar mine, Spain 1. Environmental Issues and Management of Waste in Energy and Mineral Production 109–116.

Drake, P., Arias, A.M., Baldó, F., Cuesta, J.A., 2002. Spatial and temporal variation of the nekton and hyperbenthos from a temperate European estuary with regulated freshwater inflow. Estuaries 25, 451–468. https://doi.org/10.1007/BF02695987

Grande *et al*. 2013. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.022

Grimalt, J.O., Ferrer, M., MacPherson, E., 1999. The mine tailing accident in Aznalcollar. Science of the Total Environment 242, 3–11. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00372-1

Junta de Andalucía, 2024. Resolución de la Delegación Territorial de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul en Sevilla, sobre la autorización ambiental unificada solicitada por la entidad Minera Los Frailes S.L. para la concesión de explotación de la Sección C) 7.976 "Zona de Aznalcóllar", en los términos municipales de Aznalcóllar, Olivares, Sanlúcar la Mayor, Santiponce, Salteras y Valencina de la Concepción (provincia de Sevilla). Exp. AAU/SE/139/2018/N. Junta de Andalucía.

Hossain, M. M., Jahan, I., Dar, M. A., Dhanavade, M. J., Mamtaz, A. F. B., Maxwell, S. J., Han, S., & Zhu, D. (2025). A Review of Potentially Toxic Elements in Sediment, Water, and Aquatic Species from the River Ecosystems. *Toxics*, *13*(1), 26. https://doi.org/10.3390/toxics13010026

Kumar *et al*., 2023. https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964

Kříbek, B., Nyambe, I., Sracek, O., Mihaljevič, M., & Knésl, I. (2023). Impact of Mining and Ore Processing on Soil, Drainage and Vegetation in the Zambian Copperbelt Mining Districts: A Review. *Minerals*, *13*(3), 384. https://doi.org/10.3390/min13030384

Madejón et al. 2018. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.277

Martin-Díaz *et al*. 2006. https://doi.org/10.7773/cm.v32i22.1086

Miletic *et al*. 2018. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28183

Milke *et al*. 2010. https://doi.org/10.3390/w12061770

Miro *et al*. 2023. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108559

Morente, A. 2025. Antiguos vertederos mineros de Aznalcóllar filtran metales al río Agrio en Sevilla y provocan la muerte de peces. Eldiario.es https://www.eldiario.es/sevilla/antiguos-vertederos-mineros-aznalcollar-filtran-metales-rio-agrio-sevilla-provocan-muerte-peces_1_12199642.html

Morillo *et al*. 2005. https://doi.org/10.1007/s00267-004-0216-5

Palanques *et al*. 1999. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00391-5

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-9806

Rezania *et al*. 2019. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04300-4

Riba *et al*. 2002. CHARACTERIZATION OF CONTAMINATED SEDIMENTS. Proceedings Paper. 1st International Conference on Remediation of Contaminated Sediments. Pp.101-108

Riba *et al*. 2004. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00391-6

Sabater *et al*., 2022. Rivers of Europe (Second Edition). Chapter 4 - The Iberian rivers, pp. 181-224. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081026120000043

Srivastava *et al*. 2014. https://doi.org/10.1007/s13201-013-0142-x

Suñer *et al*. 1999. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00399-X

Talego y Pérez, 2025. Geografía e historia de la devastación minera entre el Guadalquivir y el Guadiana. En: Los impactos de la minería en Andalucía Occidental. Fundación Nueva Cultura del Agua, pp. 12-44.

Wei et al. 2017. https://doi.org/10.2175/106143017X15023776270377