



## WATER AND SOIL CONTAMINATION FROM MINING TAILINGS

## CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SUELO POR LOS RELAVES MINEROS

Julio Menéndez<sup>1</sup> & Sócrates Muñoz<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Señor de Sipan  
[menendezfernandj@crece.uss.edu.pe](mailto:menendezfernandj@crece.uss.edu.pe) / [msocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msocrates@crece.uss.edu.pe)

\* Corresponding Author: [msocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msocrates@crece.uss.edu.pe)

Julio Menéndez:  <https://orcid.org/0000-0002-3552-8687>

Sócrates Muñoz:  <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

### ABSTRACT

The purpose of this document is to discuss and analyze the effects of water and soil contamination from mining tailings waste. The economic activity is based mainly on the exploitation of minerals, gold and uranium being exclusive. In these mining activities the degradation of waste from tailings is impossible, the same that contaminate soils, surface waters, underground and therefore in both terrestrial and marine ecosystems and their products to be consumed, such as fish and agricultural products, to the detriment of the health of the populations surrounding the mining companies. The presence of chemical elements and the high toxicity of its components aggravate its danger and its potential as a generator of polluting impacts on people's health and that they suffer highly harmful alterations. 52 refereed and indexed articles from the Scopus and Scielo databases between the years 2017 to 2020 were reviewed. It is concluded that mining tailings causes the presence of elements, minerals and metalloids, which cause disturbances in the ways of life of human populations. The promulgation of norms that can regulate and prevent the contamination of tailings from continuing to affect the population and the environment is necessary.

**Keywords:** contamination – environment – mining – tailing

## RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo discutir y analizar los efectos de la contaminación del agua y suelo producto de los residuos de relaves mineros. La actividad económica se basa principalmente en la explotación de los minerales, siendo exclusivos el oro y el uranio. En dichas actividades mineras es imposible la degradación de los desechos provenientes de los relaves, los mismos que contaminan los suelos, aguas superficiales, subterráneas y por ende en los ecosistemas tanto terrestres, como marinos y sus productos a consumir, como los peces y productos agrícolas, en detrimento de la salud de las poblaciones aledañas a las mineras. La presencia de elementos químicos y su alta toxicidad de sus componentes agrava su peligrosidad y su potencial como generador de impactos contaminantes en la salud de las personas y que sufran alteraciones altamente nocivas. Se revisaron 52 artículos arbitrados e indexados de las bases de datos Scopus y Scielo entre los años 2017 al 2020: Se concluye que los relaves mineros provocan la presencia de elementos, minerales y metaloides, que originan perturbaciones en los modos de vida de las poblaciones humanas. Es necesaria la promulgación de las normas que puedan regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente.

**Palabras clave:** contaminación – medioambiente – minería – relaves

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los relaves mineros en el Perú es motivo de grandes controversias y es generadora de una imagen negativa por los impactos ambientales que conllevan a una contaminación sistemática del agua o del subsuelo (Villena-Chávez, 2018).

El riesgo del mal manejo de los relaves mineros proviene tanto de la manera en que se le gestiona (confinamiento, recolección, transporte y tratamiento), y en la alta toxicidad de sus componentes (As (arsénico), Cd (cadmio), Cu (cobre), Pb (plomo), Hg (mercurio), Cr (cromo), Se (selenio), Zn (zinc), entre otros), lo que agrava su peligrosidad y su potencial como generador de impacto contaminantes. Los aspectos críticos de salud-enfermedad-atención por el efecto de la minería que adolecen las familias son: silicosis, neumonía, cáncer, entre otras, los que no pueden ser examinados como deducción de riesgos aislados o puntos determinantes, sino como un desarrollo complejo y dinámico organizados alrededor de los modos de vida y, por tanto de reproducción social, comprendiendo que dichos modos de vida o costumbres sociales son afectadas por las condiciones de sus actividades diarias, e impactan directamente a los genotipos y fenotipos de los sujetos singulares como por ejemplo la modificación drástica del paisaje de la ciudad, debido al cambio tecnológico actual (López-Espinosa *et al.*, 2005; Kukoc-Paz, 2020).

Es preciso señalar que el marco legal peruano se contempla esta situación y la prevé en la Ley 17752

fundamentalmente en su capítulo II, artículo 22, que a la letra dice “Está prohibido verter o emitir cualquier residuo, sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, comprometiendo su empleo para otros usos”. Por lo que resulta complejo e inverosímil la no aplicabilidad de este contexto legal y aquí confluyen elementos de irresponsabilidad social y ecológica, así como un alto nivel de corrupción de las autoridades del sector.

Esto en gran medida a que el proceso de extracción de minerales del subsuelo conlleva necesariamente a la separación de la mena de la ganga, lo que genera que el desecho sea mayor al mineral propiamente dicho. El residuo de extracción no solo es el agua contaminada, sino también las rocas de desecho de la excavación. Las características físicas y químicas de los residuos mineros varían de acuerdo a su mineralogía y geoquímica, a tipos de equipos de minería, al tamaño de partícula del material extraído y al contenido de humedad (Casadiño *et al.*, 2017).

Bajo el contexto de la problemática planteada, la presente revisión tiene como objetivo analizar los efectos de la contaminación del agua y del suelo producto de los residuos de relaves mineros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se encontraron 52 artículos arbitrados e indexados y distribuidos de la siguiente manera: 50 artículos en Scopus y dos en Scielo. Se encontra-

ron nueve artículos del 2017, diez del 2018, 19 del 2019 y 14 del 2020. Para la búsqueda de los artículos se usaron las siguientes palabras claves en español e inglés: “contaminación minera y enfermedades”, “medioambiente”,

“productos de la minería”, “contaminación minera en la salud”. Para un mejor detalle en la tabla 1 se muestra los artículos usados como literatura según base de datos y años de publicación.

**Tabla 1.** Artículos usados como literatura, según base de datos y año de publicación.

Base de datos	Año de publicación				Total
	2017	2018	2019	2020	
Scopus	9	9	19	13	50
Scielo	0	1		1	2
Total	9	10	19	14	52

Los artículos seleccionados en las dos bases de datos (Scopus y Scielo) fueron organizados por año y se analizó y discutió la información relevante publicada en cada artículo.

**Aspectos éticos:** Los autores señalan que se cumplieron toda la normatividad ética nacional e internacional.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 52 artículos arbitrados que analizan los efectos de la contaminación del agua y del suelo producto de los residuos de relaves mineros se ha encontrado información relevante desde el 2017 al 2020.

### Año 2017

Mohapatra & Kirpalani (2017) sugieren la implementación de embalses y/o estanques de tratamientos de los relaves en la minería del oro y su respectivo tratamiento con nanopartículas, antes de ser desechados para reducir la contaminación de las aguas

superficiales y/o subterráneas (Liang *et al.*, 2017). Se han encontrado concentraciones de metales pesados como Pb, Cd, Cu, Zn, As, Hg, Cr, Mn (manganeso), Ni (niquel), U (uranio) y  $^{232}\text{Th}$  (torio), medidos en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , en una mina de U en China que resultaron en concentraciones significativas en los alrededores de las zonas de cultivo, según el Índice de Concentración de Contaminación (PLI) y el ARC-GIS satelital (de Lucia Lobo *et al.*, 2017). Los relaves de las mineras de oro artesanal en los ríos de la amazonía Brasileña, ocasionan un impacto medioambiental por metales pesados, como el Hg (Byrne *et al.*, 2017; Roshani *et al.*, 2017).

Se ha desarrollado un polímero superabsorbente para las aguas provenientes de los relaves mineros. Este polímero es agregado al 1% en el relave, y desencadena la evaporación del agua separándola de los metales pesados (Dye *et al.*, 2017). La minera “Witwatersrand Basin Goldenfields”, es conocida por reutilizar sus relaves

mineros en Africa del Sur, ocupando un área de 500 km<sup>2</sup>, evitando la contaminación del agua subterránea, superficial y de los sedimentos, al convertirlos en recursos ácidos (Ngole-Jeme & Fantke, 2017).

Se ha utilizado el coeficiente de peligro (HQ), el índice de peligro crónico (CHI) y los niveles carcinógenos de riesgo para determinar que los relaves mineros procedentes de las minas de Au (oro) contaminan los sedimentos y las aguas subterráneas, al contener altas concentraciones de minerales y metaloides, como As, Cr, Ni, Zn, y Mn, exponiendo tanto a niños como a los adultos a diversas enfermedades crónicas (Bentley & Soebandrio, 2017). Una empresa minera de Au ha dispuesto sus relaves mineros en depósitos submarinos, y ha levantado preocupación por la alta contaminación del Hg y As, tanto en las aguas como en la fauna hidrobiológica marina de consumo humano (Abiye & Shaduka, 2017).

Los nueve artículos de la literatura científica analizada durante el 2017 señalan que la producción de relaves es tal vez el mayor problema ambiental; sin embargo, la presencia de la actividad minera se resume a yacimientos de explotación sin considerar los residuos producto de la actividad y los materiales peligrosos capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, afectar la salud pública, degradar los cuerpos de agua y modificar los paisajes naturales.

### **Año 2018**

Se ha encontrado contaminación radioactiva en las aguas de una

represa del río Gawib en Namibia y de sus acuíferos, debido a la filtración de los relaves mineros de Gawib y a la alta permeabilidad de los terrenos durante las lluvias (Cheng *et al.*, 2018). Los sedimentos agrícola de la ciudad de Dongchuan (China), fueron encontrados contaminados con metales y metaloides provenientes de los relaves mineros de la zona, especialmente con As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn (Wang *et al.*, 2018). De igual forma, 205 muestras tomadas de la ciudad de Huanan (China) y sus alrededores en 41,25 km<sup>2</sup>, han encontrado los siguientes elementos potencialmente tóxicos: U, Mn, As, Pb y Cr, provenientes de los relaves mineros abandonados de la zona. Se ha puesto en riesgo la biodiversidad, potencialmente por el U (Hudson *et al.*, 2018). “Esgair Mwyn”, una mina abandonada en la ciudad de Ceredigion, Reino Unido ha causado preocupación por la determinación de posibles infiltraciones de los relaves mineros en las aguas subterráneas y su impacto en la calidad del agua en la ciudad (Liao *et al.*, 2018).

El As proveniente de los relaves mineros es una amenaza para la salud. Su tratamiento para removerlo del agua emplea los hidróxidos de aluminio (Al) y hierro (Fe). Recientemente se ha creado una capa iónica en el fondo del relave, con carga positiva, que impide que el As se filtre a las aguas subterráneas (Kerfoot *et al.*, 2018). En la parte alta de la península de Michigan (EEUU), en una zona industrial de minería de Ag (plata), Cu, Zn y sulfidos, se filtra del mar 60-650 kg de Hg al año a los ríos, lagos y mares. Hoy

se presenta otro fenómeno natural, el mismo que ha incrementado los niveles de Hg, aún en los peces del mar, como metil de mercurio (MeHg) (Wurl *et al.*, 2018). En el distrito minero de San Antonio - El Triunfo (México) las actividades mineras finiquitadas en 1911, han dejado un legado de contaminación de As y otros metales pesados de los relaves mineros, vertidos en los sedimentos, lagos y ríos (Frascoli & Hudson-Edwards, 2018).

El Molibdeno (Mo) proveniente de los relaves mineros es vertidos al medio ambiente y a las fuentes de agua (Teixeira *et al.*, 2018). Las minas de Au, operativas en 1980, en la amazonía del Brazil, después de 28 años de su clausura, permiten apreciar que la contaminación de los suelos, de las aguas superficiales y subterráneas, proveniente de los relaves, han sido irreversibles (Berezina *et al.*, 2018). El área en estudio de la mina abandonada de la cuenca de carbón Kizel (Rusia), mediante observación satelital con el Landsat y Sentinel-2, corroboran la contaminación ácida de los suelos, lagos, ríos y aguas subterráneas, con Fe, Al y otros metales pesados.

Los diez artículos de la literatura científica analizada durante el 2018 señalan que a pesar del su desarrollo económico, la minería y los relaves mineros aun pasan por un periodo de transición con factores de riesgo ambiental, ya que coexisten tanto riesgos tradicionales como modernos, donde persisten los problemas infecciosos asociados con problemas crónicos, algunos de los cuales se asocian a problemas de contaminación de agua.

## Año 2019

Wang *et al.* (2019) indican que Qinghai Reshui (China), es una mina de carbón que ha puesto en práctica nuevas técnicas de vanguardia para reducir el impacto ambiental que tienen los residuos de los relaves mineros de carbón y la polución que trae al aire. De igual forma, Zhang (2019) en la mina de Zn de la provincia de Hunan, QiaoKou (China) pusieron en práctica técnicas innovadoras de lixiviación de metales pesados, contaminantes de los suelos y tratados con ácido cítrico, reduciendo drásticamente el impacto de los relaves en los sedimentos. Por otro lado, Petelka *et al.* (2019) evaluaron nuevas técnicas de tratamiento con plantas nativas en los relaves mineros de las minas de oro en Ghana, y encontraron que en los relaves, las plantas tienen la propiedad de superrestricción de metales pesados.

Otros autores como Alorda-Kleinglass *et al.* (2019) en la bahía de Portmán, mina “La Unión” (España) de sulfuros de Pb y Zn, realizaron prácticas de percolación de las aguas de los relaves con agua de mar, impactando en la biodiversidad por los metales pesados. Okereafor *et al.* (2019) evaluaron los relaves mineros provenientes de las minas de oro de Ekuhurleni, y observaron contaminación de los suelos agrícolas de la zona con metales pesados como Mn, Ni, As, Cd, Co (Cobalto), Cu, Cr, Pb y Zn, presentes en los cultivos consumidos por los pobladores. Li *et al.* (2019) han utilizado diversos métodos para evaluar la acumulación de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Al y Fe (Fierro) en la flora

de los alrededores de los relaves mineros de la provincia de Yunnan (China), y encontraron algunas especies de plantas que son superabsorbentes de Cd, Pb, y Zn, pudiendo ser utilizadas para reducir el impacto ambiental de dichos relaves. Lu *et al.* (2019) indicaron que la evaluación de las minas de esfalerita evidencian que la contaminación de los relaves, recayó sobre los suelos y las aguas subterráneas con Zn, Cd, Cu y Zn, presentes, siendo el Cd un carcinógeno potencial.

Tian *et al.* (2019) han usado el método de difusión de Gaussing, y evaluaron la dispersión e inhalación de las partículas transportadas por el viento, los camiones y los vehículos con fuga de los minerales, provenientes de las cercanías de las minas y relaves mineros. La exposición de Ce (Cerio), As, Cd y Mo, los principales metales inhalados por los peatones, ponen en riesgo la salud humana. Weiler & Schneider (2019) indican que las regiones mineras de Santa Catalina, Barro Branco y Bonito, en Brasil, están generando ácidos proveniente de los relaves mineros de carbón, que son drenados a través de un tratamiento de desulfuración con el mineral de pirita (Myagkaya *et al.*, 2019).

Las partículas del agua y sedimentos del valle de una mina de U, han sido contaminados por la dispersión de ácidos y metales pesados provenientes de los relaves mineros, siendo estos Cu, Cd, Fe, Pb, Zn, As y Hg, siendo el Hg el principal elemento de riesgo en la salud humana (Rakotonimaro *et al.*, 2019). Al utilizar el criterio de descarte de Quebec, se encontró que

en la lixiviación de metales pesados en la turba y en el lodo de los relaves mineros de Au, como el Fe y el As, contaminaban el agua por percolación de los sustratos porosos del terreno (Danjou *et al.*, 2019).

Los habitantes de los alrededores de la mina de oro de “Witwatersand”, han sido constantemente expuestos a los relaves mineros que contienen metales carcinógenos como U, Ra (radio) y radón (Rn), levantando preocupación por la presencia de cancer hematológico (Schaanning *et al.*, 2019). Otras investigaciones señalan que después de 20 a 30 años de depósitos de relaves mineros en los fiordos del mar, provenientes de una mina abandonada de ilmenita, persiste aún la exposición de la fauna a los metales como el Ni, Cu y Co, existiendo una sobrecapa de los mismos (Lewińska & Karczewska, 2019).

Muestras colectadas de los sedimentos de la ciudad de Silesia, que es una localidad minera donde los relaves mineros de Cu, muestran una constante exposición de antimonio (Sb), son una amenaza para la salud de los pobladores (Bernardino *et al.*, 2019). Después de 1,7 años del desastre de la mina de Samarco (Brasil), se evaluó la presencia de bentonitas en el estuario, mediante el método con el ADN<sub>ambiental</sub> metabarcoding, en el cual se vertieron 40 millones de m<sup>3</sup> de Fe, aún presente en el estuario (Svetlov *et al.*, 2019). La mina de Severny (Rusia) ha implementado una planta de tratamiento de aguas residuales de sus relaves, la misma que a través de los años ha practicado técnicas

de purificación no favorables para el medio ambiente. Recientemente se practica la coagulación electroquímica, la misma que despoja del agua a los metales como el Cu, Ni, componentes nitrogenados, sólidos en suspensión, cromaticidad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y componentes del petróleo, resultando en un agua saludable para los ecosistemas y para la biodiversidad de peces (Butler *et al.*, 2019).

Se ha evaluado una especie de mejillón que actúa como un bioreactor de las aguas ácidas residuales de los relaves en las minas en Nueva Zelanda. Estos son almacenados en ambientes oxigenados (sobre la superficie) y en ambientes no oxigenados (dentro del lodo), teniendo diferentes resultados de eliminación de metales y metaloides de los relaves (Dutra *et al.*, 2019). Por otro lado, Minas Gerais (Brasil) es una zona volcánica de intereses minero, debido a sus características bioquímicas y radiológicas, y se ha comprobado la presencia de contaminación geogénica y antropogénica en los sedimentos del río Taquary, en su cuenca, en su fauna y finalmente en su flora (Fazekas *et al.*, 2019).

Los 19 artículos científicos examinados en el año 2019 resumen que los relaves mineros generan gran cantidad de contaminación por efecto de la erosión por viento o por ciclos de percolación. Es importante entender que la contaminación de un relave es difícil de detectar, debido a que se mueve por infiltración en el suelo hacia las aguas subterráneas, las cuales a su vez se mueven lentamente bajo la

superficie llegando a pozos, estanques y ríos con agua de consumo humano y para riego.

### **Año 2020**

Se ha estudiado los efectos de los microorganismos en los embalses de los relaves mineros de Fe y Mn, donde se ha observado altos contenidos de Hg, Cu, Zn, Cd, Pb y Cr, en un entorno ácido, dando como resultado a través del índice de diversidad específica de Shannon-Weaver, que los microorganismos presentes actúan como purificadores y reductores de la contaminación del agua y de los suelos (Gabriel *et al.*, 2020). En el estuario de Río Doce (Brasil), colapsó una represa de relaves mineros depositando en el mismo de Fe, con potenciales efectos, aún en la actualidad, de bioacumulación en peces y en humanos, con altos riesgos sobre la salud (Kabala *et al.*, 2020). La más grande fuente de relaves mineros de Cu en Europa, representa un alto riesgo para la salud humana y para la biodiversidad al presentar metales como el As, Pb, Cu y Zn en los productos vegetales de sus mercados (Cavallo, 2020).

Valmalenco (Italia) es bien conocido por su actividad minera y de canteras, serpentinas y talco extraído del lugar, los relaves mineros han sido eliminados a través de la reforestación, aún así la minería persiste, y el transporte aéreo de la tremolita de asbesto ha contaminado la zona (Drazen *et al.*, 2020). El novedoso interés de realizar minería en los abismos submarinos, de acuerdo con los depósitos de sulfuro y las montañas de cobalto



en fósiles de ostras, ha despertado la preocupación internacional sobre los riesgos y daños que causarían sobre el ecosistemas epipelágico y los peces (do Nascimento *et al.*, 2020). El contenido de metales pesados como el Cd, Cu y Pb en terrenos de agricultura, productos agropecuarios y el agua en zonas subyacentes a relaves mineros de scheelita, presentan un riesgo en la salud de los pobladores (Zay-Ya *et al.*, 2020).

La extracción de Fe de la minera Pinpet, ha dejado que los relaves contaminen drásticamente los suelos y aguas subterráneas de la ciudad de Myanmar, teniendo presentes en su análisis, concentraciones de elementos como As, Zn y Cu (Obenaus-Emler *et al.*, 2020). Debido a la lixiviación de metales pesados, provenientes de relaves mineros, la contaminación de los suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas, es inevitable, siendo una de las principales preocupaciones a nivel mundial por la contaminación y destrucción de los ecosistemas. (Okerefor *et al.*, 2020). Las minas de Au, Cu y platino (Pt) han sido claves en el sostenimiento de la economía, a pesar de la inevitable contaminación de los relaves mineros remanentes, por lo que se ha utilizado la vitrificación de los desechos para determinar la presencia de Cu, Cd, Zn, Pb, As y Cr (Pierwoła *et al.*, 2020).

La explotación de los minerales Zn y Pb, tiene una larga data, formando sobre la superficie del suelo, grandes montículos de relaves mineros, los mismos que han contaminado suelos, aguas superficiales y subterráneas de

las poblaciones aledañas (Dinis *et al.*, 2020). El legado de la minería, ha dejado importante información sobre la reutilización de los minerales, la administración y la recuperación de los suelos, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, dando usos alternativos a los relaves mineros (Mubiarto *et al.*, 2020). Se han hecho uso de prácticas de amalgamación, en las minas de Au de la localidad, contribuyendo a la degradación del medio ambiente debido a los relaves que contienen Hg, el cual se almacena en los sedimentos, el agua y en la cadena alimenticia, en detrimento de la salud humana (Ma *et al.*, 2020).

La minería de U inevitablemente contamina los suelos, aguas superficiales y subterráneas, causando serios problemas medioambientales y ecológicos, esto debido a las lluvias y el ciclo de percolación (Abdelaal *et al.*, 2021) mediante la observación de los niveles de cianuro de los valles y estudios estadísticos de los relaves mineros de Au, presentan un alto contenido del elemento en las aguas subterráneas y del acuífero.

Los 14 artículos científicos examinados en el año 2020 resaltan que los microorganismos pueden ayudar a disminuir la contaminación del agua y de los suelos. De igual forma, los relaves pueden ser fuentes de metales y otras sustancias potencialmente tóxicas para la bioacumulación en la biota acuática y en el hombre, con un alto riesgo para la salud humana. Finalmente el Hg se almacena en los sedimentos, el agua y en la cadena alimenticia acuática.

## CONCLUSIONES

Actualmente los relaves mineros y el impacto medioambiental ante un proyecto de minería es inevitable, sobretudo en la degradación de los suelos, aguas superficiales, subterráneas y el aire. Lo relaves mineros tienen un ciclo natural de contaminación y la degradación de los mismos para reducir dicho impacto es perenne a través del tiempo. Esta contaminación provoca la presencia de elementos, minerales y metaloides, originando perturbaciones en los modos de vida de las poblaciones humanas, también tienen consecuencias negativas en las

actividades económicas y productivas en los productos de consumo humano, agrícolas, ocasionando enfermedades en los humanos. Es necesaria la promulgación de las normas que puedan regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente. Finalmente esta revisión ha permitido percibir la necesidad de mayor información que si bien puede existir, existe una urgencia imperiosa del estudio sobre el impacto de contaminación de los relaves mineros sobre la salud humana y el ecosistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelaal, A.; Sultan, M.; Elhebiry, M.; Krishnamurthy, R. & Sturchio, N. 2020. Integrated studies to identify site-specific parameters for environmentally benign mining operations: A case study from the Sukari Gold Mine, Egypt. *Science of the Total Environment*, 750: 141654.
- Abiye, T. & Shaduka, I. 2017. Radioactive seepage through groundwater flow from the uranium mines, Namibia. *Hydrology*, 4: 11.
- Bentley, K., & Soebandrio, A. 2017. Dietary exposure assessment for arsenic and mercury following submarine tailings placement in Ratatotok Sub-district, North Sulawesi, Indonesia. *Environmental Pollution*, 227: 552-559.
- Berezina, O.; Shikhov, A. & Abdullin, R. 2018. The use of multi-temporal satellite images for environmental assessment in coal mining areas (by example of closed Kizel coal basin). *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 15: 144-158.
- Bernardino, A.F.; Pais, F.S.; Oliveira, L.S.; Gabriel, F.A.; Ferreira, T.O.; Queiroz, H.M., & Mazzuco, A. C. 2019. Chronic trace metals effects of mine tailings on estuarine assemblages revealed by environmental DNA. *PeerJ*, 7:e27924v1.
- Butler, S.C.; Pope, J.; Chaganti, S.R.; Heath, D.D. & Weisener, C.G. 2019. Biogeochemical characterization of metal behavior from novel mussel shell bio-reactor sludge residues. *Geosciences*, 9: 50.
- Byrne, P.; Runkel, R.L. & Walton-Day, K. 2017. Synoptic sampling and principal components analysis to identify sources of water and metals to an acid mine drainage stream. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 17220- 17240.

- Casadiago, Q. E.; Gutiérrez B.A.G.; Herrera L.M.A. & Villanueva-Paez, M.L. 2017. Manejo estratégico de la producción de residuos estériles de minería sustentable, utilizando prácticas mineras eco-eficientes en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3: 107-118.
- Cavallo, A. 2020. Environmental asbestos contamination in an abandoned chrysotile mining site: The example of Val malenco (central Alps, northern Italy). *Episodes*, 43: 851-858.
- Cheng, X.; Drozdova, J.; Danek, T.; Huang, Q.; Qi, W.; Yang, S.; Zou, L.; Xiang, Y. & Zhao, X. 2018. Pollution assessment of trace elements in agricultural soils around copper mining area. *Sustainability*, 10: 4533.
- Danjou, A.; Patel, M.; Espina, C.; Pentz, A.; Joffe, M.; Winde, F. & Schütz, J. 2019. Prospective case-series analysis of haematological malignancies in goldmining areas in South Africa. *South African Medical Journal*, 109: 340-346.
- de Lucia Lobo, F.; Costa, M.; De Moraes Novo, E.M. & Telmer, K. 2017. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, 9: 861.
- Dinis, M.; Fiúza, A.; Futuro, A.; Leite, A.; Martins, D.; Figueiredo, J.; Góis, J. & Vila, M.C. 2020. Characterization of a mine legacy site: an approach for environmental management and metals recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 10103-10114.
- do Nascimento, A.J.; do Nascimento, C.A. & da Cunha, K.V. 2020. Scheelite mines soils as sources of heavy metal contamination. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25: 555-556.
- Drazen, J.C.; Smith, C.R.; Gjerde, K.M.; Haddock, S.H.; Carter, G.S.; Choy, C.A.; Clark, M.R.; Dutrieux, P.; Goetze, E.; Hauton, C.; Hatta, M.; Koslow, J.A.; Leitner, A.B.; Pacini, A.; Perelman, J.N.; Peacock, T.; Sutton, T.T.; Watling, L. & Yamamoto, H. 2020. Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117: 17455-17460.
- Dutra, P.H.; Feliciano, V.M.D. & De Carvalho Filho, C.A. 2019. Distribution of major and trace elements in bottom sediments of the taquari river basin, caldas municipality (Brazil). *Revista Ambiente e Agua*, 14: e2397.
- Dye, P.; Naiken, V.; Clulow, A.; Prinsloo, E.; Crichton, M. & Weiersbye, I. 2017. Sap flow in *Searsia pendulina* and *Searsia lancea* trees established on gold mining sites in central South Africa. *South African Journal of Botany*, 109: 81-89.
- Fazekas, J.; Fazekasová, D.; Adamišin, P.; Huličová, P. & Benková, E. 2019. Functional diversity of microorganisms in metal- and alkali-contaminated soils of central and North-eastern Slovakia. *Soil and Water Research*, 14: 32-39.
- Frascoli, F. & Hudson-Edwards, K.A. 2018. Geochemistry, mineralogy and microbiology of molybdenum in mining-affected environments. *Minerals*, 8: 42.
- Gabriel, F.Â.; Hauser-Davis, R.A.; Soares, L.; Mazzuco, A.C.; Chavez-Rocha, R.C.; Saint-Pierre, T. D.; Saggiaro, E.; Correia, F.B.; Ferreira, T.O. & Ber-

- nardino, A.F. 2020. Contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. *PeerJ*, 8: e10266.
- Hudson, E.; Kulesa, B.; Edwards, P.; Williams, T. & Walsh, R. 2018. Integrated hydrological and geophysical characterisation of surface and subsurface water contamination at abandoned metal mines. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229: 256.
- Kabala, C.; Galka, B. & Jezierski, P. 2020. Assessment and monitoring of soil and plant contamination with trace elements around Europe's largest copper ore tailings impoundment. *Science of the Total Environment*, 738: 139918.
- Kerfoot, W.C.; Urban, N.R.; McDonald, C.P.; Zhang, H.; Rossmann, R.; Perlinger, J.A.; Khan, T.; Hendricks, A.; Priyadarshini, M. & Bolstad, M. 2018. Mining legacy across a wetland landscape: high mercury in Upper Peninsula (Michigan) rivers, lakes, and fish. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 20: 708-733.
- Kleinglass, A.; Garcia-Orellana, J.; Rodellas, V.; Cerdà-Domènech, M.; Tovar-Sánchez, A.; Diego-Feliu, M.; Trezzi, G.; Sánchez-Quilez, D.; Sánchez-Vidal, A. & Canals, M. 2019. Remobilization of dissolved metals from a coastal mine tailing deposit driven by groundwater discharge and porewater exchange. *Science of the Total Environment*, 688: 1359-1372.
- Kukoc-Paz, I. 2020. La técnica extractiva en la determinación social de la salud de las familias mineras de Potosí (Bolivia). *Revista Ciencias de la Salud*, 18: 1-14.
- Lewińska, K. & Karczewska, A. 2019. Antimony in soils of SW Poland—an overview of potentially enriched sites. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 70.
- Li, Z.; Colinet, G.; Zu, Y.; Wang, J.; An, L.; Li, Q. & Niu, X. 2019. Species diversity of *Arabidopsis alpinus* L. communities in two Pb/Zn mining areas with different smelting history in Yunnan Province, China. *Chemosphere*, 233: 603-614.
- Liang, J.; Shi, C.H.; Zeng, G.M.; Zhong, M.Z.; & Yuan, Y.J. 2017. Spatial variation and assessment of heavy metal and radioactive risk in farmland around a retired uranium mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 78: 012005.
- Liao, L.; Li, Z.; Lv, G.; Mei, L.; Wang, H.; Shi, S.; Wei, Y.; Wang, X.; Ning, P. & Wei, Y. 2018. Using ionic liquid modified zeolite as a permeable reactive wall to limit arsenic contamination of a freshwater lake - Pilot tests. *Water* 10: 448.
- López-Espinosa, G.; Yera-Alós, I., Aparicio-Manresa, G.; Valdés-Mora, M.; Hernández-González, E. & González-Ramírez, E. 2005. Asociación entre la contaminación del ambiente laboral y las enfermedades respiratorias en una empresa minera. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 21: 1-19.
- Lu, J.; Lu, H.; Lei, K.; Wang, W. & Guan, Y. 2019. Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 24630-24644.

- Ma, W.; Gao, B.; Guo, Y.; Sun, Z.; Zhang, Y.; Chen, G.; Zhu, X. & Zhang, C. 2020. Occurrence and distribution of uranium in a hydrological cycle around a uranium mill tailings pond, Southern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17: 773.
- Mohapatra, D.P. & Kirpalani, D.M. 2017. Process effluents and mine tailings: sources, effects and management and role of nanotechnology. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2: 1.
- Mubiarto, H.; Ariesyady, H.D.; Kusumah, S.D. & Soemirat, J. 2020. Chronic effect analysis of mercury exposure on communities around small scale gold mining in Indonesia using human biomonitoring (HBM) Method. (Soleh, S.A.; Dwi, A.H.; Nastiti, A.; Roosmini, D. & A.M. Sonny, A.M. (Eds.) *E3S Web of Conferences*, 148: 04001.
- Myagkaya, I.; Gustaytis, M.; Kirichenko, I.; Saryg-ool, B.O. & Lazareva, E. 2019. Acid mine drainage contamination of the Ur impoundment: Environmental Geochemistry. (Millot, R.; Shoukar-Stach, O.; Chudaev, O.; Harmon, R. & Kharaka, Y. Eds.) *E3S Web of Conferences*, 98: 09021.
- Ngole-Jeme, V.M. & Fantke, P. 2017. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PLoS ONE*, 12: e0172517.
- Obenaus-Emler, R.; Falah, M. & Illikainen, M. 2020. Assessment of mine tailings as precursors for alkali-activated materials for on-site applications. *Construction and Building Materials*, 246: 118470.
- Okereafor, U.; Makhatha, E.; Mekuto, L. & Mavumengwana, V. 2019. Dataset on assessment of pollution level of selected trace metals in farming area within the proximity of a gold mine dump, Ekuhurleni, South Africa. *Data in Brief*, 26: 104473.
- Okereafor, U.; Makhatha, M.; Mekuto, L. & Mavumengwana, V. 2020. Gold mine tailings: A potential source of silica sand for glass making. *Minerals*, 10: 448.
- Petelka, J.; Abraham, J.; Bockreis, A.; Deikumah, J.P. & Zerbe, S. 2019. Soil heavy metal(loid) pollution and phytoremediation potential of Native Plants on a Former Gold Mine in Ghana. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230: 267.
- Pierwoła, J.; Szuszkiewicz, M.; Cabala, J.; Jochymczyk, K.; Żogała, B. & Magiera, T. 2020. Integrated geophysical and geochemical methods applied for recognition of acid waste drainage (AWD) from Zn-Pb post-flotation tailing pile (Olkusz, southern Poland). *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 16731–16744.
- Rakotonimaro, T.; Guittonny, M.; Neculita, C.; Trépanier, F. & Pépin, G. 2019. Evaluation of arsenic leaching potential in gold mine tailings amended with peat and mine drainage treatment sludge. *Journal of Environmental Quality*, 48: 735-745.
- Roshani, A.; Fall, M. & Kennedy, K. 2017. Impact of drying on geo-environmental properties of mature fine tailings pre-dewatered with super absorbent polymer. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14: 453–462.

- Schaanning, M.T.; Trannum, H.C.; Øxnevad, S. & Ndungu, K. 2019. Benthic community status and mobilization of Ni, Cu and Co at abandoned sea deposits for mine tailings in SW Norway. *Marine Pollution Bulletin*, 141: 318-331.
- Svetlov, A.V.; Minenko, V.; Samusev, A.L. & Salakhov, E. 2019. Purification of mine water using electrochemical coagulation technology at kola mmc's severny mine. *Tsvetnye Metally*, 2019: 5.
- Teixeira, R.A.; Fernandes, A.R.; Ferreira, J.R.; Vasconcelos, S.S. & de Souza Braz, A.M. 2018. Contamination and soil biological properties in the Serra Pelada mine - Amazonia, Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 42: e0160354.
- Tian, S.; Liang, T. & Li, K. 2019. Fine road dust contamination in a mining area presents a likely air pollution hotspot and threat to human health. *Environment International*, 128: 201-209.
- Villena-Chávez, J. 2018. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35: 304-308.
- Wang, B.; Cai, Y.; Li, Y.; Chen, H.; Si, H.; Guo, Z.; Cui, X.; Bao, Y. & Hui, C. 2019. Process optimization experiment of preparing light ceramics from Qinghai Reshui Coal Gangue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 384: 012160.
- Wang, W.H.; Luo, X.G.; Wang, Z.; Zeng, Y.; Wu, F.Q. & Li, Z.X. 2018. Heavy metal and metalloid contamination assessments of soil around an abandoned uranium tailings pond and the contaminations' spatial distribution and variability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15: 2401.
- Weiler, J. & Schneider, I.A. 2019. Pyrite utilization in the carboniferous region of santa catarina, Brazil-potentials, challenges, and environmental advantages. *Revista Escola de Minas*, 72: 515-522.
- Wurl, J.; Lamadrid, M.I.; Mendez-Rodriguez, L. & Acosta-Vargas, B. 2018. Arsenic concentration in the surface water of a former mining area: The la junta creek, baja california sur, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15: 437.
- Zay-Ya, K.; Otake, T.; Koide, A.; Sanematsu, K. & Sato, T. 2020. Geochemical characteristics of ores and surface waters for environmental risk assessment in the Pinpet iron deposit, southern Shan State, Myanmar. *Resource Geology*, 70: 296-308.
- Zhang, H. 2019. Study on leaching mechanism and safety evaluation of Lead and Zinc contaminated soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 631: 022006.

Received November 16, 2020.

Accepted January 19, 2021.