

La contaminación del suelo por la minería metálica de la Faja Pirítica Ibérica

Juan Carlos Fernández Caliani

Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Huelva, 21071, Huelva (España)
caliani@uhu.es

Palabras Clave: Suelos mineros, Metales pesados, Impacto ambiental, Valoración de riesgos. **Key Words:** Mine soils, Heavy metals, Environmental impact, Risk assessment.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras y metalúrgicas realizadas en la Faja Pirítica Ibérica (FPI) desde tiempos históricos han dejado un territorio muy degradado pero atrayente a la vez, que evidencia la capacidad creadora y destructiva del ser humano (Fernández-Caliani, 2008). La excavación de grandes cortas a cielo abierto ha producido una pérdida irreversible de suelo y una enorme acumulación de residuos mineros en balsas y escombreras que aún continúan drenando aguas ácidas y aportando metales pesados a los suelos del entorno. La limitada capacidad de los suelos mineros para neutralizar la acidez e inmovilizar contaminantes incrementa su peligrosidad ambiental. El riesgo es especialmente relevante en los suelos agrícolas y urbanos de las comarcas mineras, donde una fracción significativa de los metales más móviles podría estar biodisponible y transferirse a la cadena trófica. A pesar de su indudable interés, los resultados de investigación sobre los suelos contaminados son muy escasos en contraste con los datos disponibles sobre los residuos mineros y el drenaje ácido de minas.

OBJETIVO Y METODOLOGÍA

Este trabajo pretende analizar críticamente y sintetizar estadísticamente mediante un enfoque metaanalítico el estado actual del conocimiento sobre los suelos impactados por la minería metálica en el sector español de la FPI. Se han revisado los antecedentes usando fuentes formales de búsqueda bibliográfica y aplicando estrategias que evitan sesgos de selección. Se han integrado datos de estudios diferentes pero comparables en cuanto a procedimientos de muestreo y análisis, definiendo como criterios de inclusión: (1) suelo superficial (hasta 20 cm); (2) fracción granulométrica <2 mm; (3) concentraciones totales de elementos traza (digestión multiácida); (4) técnicas analíticas avanzadas (ICP-OES/MS); y (5) control de calidad exhaustivo.

RESULTADOS

En general, los suelos mineros han perdido su estructura edáfica original por compactación o erosión, y presentan una clase textural desequilibrada. Son sistemas extremadamente ácidos (pH en agua y KCl < 4), con una capacidad de intercambio iónico efectiva inferior a 10 cmol₍₊₎kg⁻¹ (están desaturados en bases) y bajos contenidos de materia orgánica y nutrientes esenciales. La aplicación de enmiendas alcalinas y orgánicas ha mejorado estas propiedades en algunos emplazamientos mineros (Fernández-Caliani et al., 2021). Estos suelos distróficos contienen fases portadoras de metales pesados, principalmente pirita y sus productos de oxidación (jarosita y óxidos de hierro cristalinos y amorfos) y carecen de carbonatos. Los valores de azufre pirítico y pH de oxidación son indicativos de un potencial de acidificación neto superior a 1000 mmolH⁺kg⁻¹ en algunos casos (Saiz & Ceacero, 2008). Los suelos mineros presentan una elevada carga contaminante de As, Cu, Pb y Zn (Tabla 1). Las especies más notables de estos elementos en la solución del suelo son los complejos sulfatados y los iones libres, excepto el As que se presenta siempre como arseniato. Los suelos de uso agrícola muestran factores de contaminación similares, si bien los metales están estabilizados por procesos de precipitación, adsorción y fijación en el complejo de cambio. La fracción extraíble con agua, CaCl₂ y EDTA normalmente representa menos del 5 %, lo que implica una movilidad relativamente baja. Los metales analizados en las hortalizas no suelen superar los niveles fitotóxicos (e.g. Madejón et al., 2011). Sin embargo, el riesgo carcinogénico por contacto dérmico e ingestión accidental de partículas de suelo supera en algunas parcelas agrícolas el umbral legalmente establecido (Gabari & Fernández-Caliani, 2017; Fernández-Caliani et al., 2019). Las concentraciones de As y Pb en la mayoría de los suelos urbanos de Minas de Riotinto están dentro del fondo edafogeoquímico regional (Galán et al., 2008), aunque algunos puntos superan los

valores de referencia y suponen un riesgo para la salud de los residentes (Parviainen et al., 2022). En conclusión, los espacios mineros abandonados y los suelos de su entorno están contaminados por arsénico y metales pesados, y requieren la adopción de medidas de recuperación ambiental hasta alcanzar niveles de riesgo tolerables para la protección de la salud humana y los ecosistemas afectados.

Tabla 1. Concentraciones totales de elementos traza y factores de contaminación (relación entre la mediana de la concentración y el valor de fondo regional) en los suelos mineros, en los suelos agrícolas del entorno de las minas, y en los suelos urbanos y periurbanos de algunas poblaciones mineras.

Elemento traza (mg kg ⁻¹)	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Suelos mineros (mediana) ^{1,2,3,4,5,6}	361	0,7	15	78	412	3	19	1080	298
Factor de contaminación	14,4	-	0,8	0,8	12,9	-	0,5	28,4	3,9
Suelos agrícolas (mediana) ^{1,7,8,9}	340	1,0	21	72	392	-	44	1289	305
Factor de contaminación	13,6	-	1,1	0,8	12,3	-	1,3	33,9	4,0
Suelos urbanos (mediana) ¹⁰	25	-	-	-	-	-	-	52	-
Factor de contaminación	1,0	-	-	-	-	-	-	1,4	-
Suelos periurbanos (mediana) ¹¹	88	-	-	81	464	-	39	240	282
Factor de contaminación	3,5	-	-	0,9	14,5	-	1,1	6,3	3,7

Datos obtenidos a partir de: (1) Fernández-Caliani et al. (2009); (2) Arranz et al. (2012); (3) Galán et al. (2014); (4) Fernández-Caliani & Barba-Brioso (2018); (5) Fernández-Caliani et al. (2021); (6) Fernández-Landero et al. (2022); (7) López et al. (2008); (8) Madejón et al. (2011); (9) Gabari y Fernández-Caliani (2017); (10) Parviainen et al. (2022); (11) Romero et al. (2021).

REFERENCIAS

- Arranz, J.C., Cala, V., Iribarren, I. (2012): Geochemistry and mineralogy of surface pyritic tailings impoundments at two mining sites of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Environ. Earth Sci.*, **65**, 669-680.
- Fernández-Caliani, J.C. (2008): Una aproximación al conocimiento del impacto ambiental de la minería en la Faja Pirítica Ibérica. *Macla*, **10**, 24-28.
- & Barba-Brioso, C. (2018): Metal immobilization in hazardous contaminated minesoils after marble slurry waste application. A field assessment at the Tharsis mining district (Spain). *J. Hazard. Mat.*, **181**, 817-826.
- , —, González, I., Galán, E. (2009): Heavy metal pollution in soils around the abandoned mine sites of the Iberian Pyrite Belt (Southwest Spain). *Water Air Soil Pollut.*, **200**, 211-226.
- , Giráldez, M.I., Barba-Brioso, C. (2019): Oral bioaccessibility and human health risk assessment of trace elements in agricultural soils impacted by acid mine drainage. *Chemosphere*, **237**, 124441.
- , —, Waken, W.H., Del Río, Z.M., Córdoba, F. (2021): Soil quality changes in an Iberian pyrite mine site 15 years after land reclamation. *Catena*, **206**, 105538.
- Fernández-Landero, S., Fernández-Caliani, J.C., Giráldez, I., Morales, E., Barba-Brioso, C., González, I. (2022): Potencial de acidificación y lixiviación de elementos traza en tecnosuelos contaminados con residuos mineros y metalúrgicos. *Macla*, **26**, 54-55.
- Gabari, V. & Fernández-Caliani, J.C. (2017): Assessment of trace element pollution and human health risks associated with cultivation of mine soil. A case study in the Iberian Pyrite Belt. *Hum. Ecol. Risk Assess.*, **23**, 2069-2086.
- Galán, E., Fernández-Caliani, J.C., González, I., Aparicio, P., Romero, A. (2008): Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of Southwest Spain. *J. Geochem. Explor.*, **98**, 89-106.
- , González, I., Romero, A., Aparicio, P. (2014): A methodological approach to estimate the geogenic contribution in soils potentially polluted by trace elements. Application to a case study. *J. Soils Sed.*, **14**, 810-818.
- López, M., González, I., Romero, A. (2008): Trace elements contamination of agricultural soils affected by sulphide exploitation (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). *Environ. Geol.*, **54**, 805-818.
- Madejón, P., Barba-Brioso, C., Lepp, N.W., Fernández-Caliani J.C. (2011): Traditional agricultural practices enable sustainable remediation of highly polluted soils in Southern Spain for cultivation of food crops. *J. Environ. Manage.*, **92**, 1828-1836.
- Parviainen, A., Vázquez-Arias, A., Arrebola, J.P., Martín-Peinado, F.J. (2022): Human health risks associated with urban soils in mining areas. *Environ. Res.*, **206**, 112514.
- Romero-Baena, A., Barba-Brioso, C., Ross, A., González, I., Aparicio, P. (2021): Mobility of potentially toxic elements in family garden soils of the Riotinto mining area. *Appl. Clay Sci.*, **203**, 105999.
- Saiz, J.L. & Ceacero, C.J. (2008): Revegetación de suelos acidificados por minería metálica. *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla*, 150 p.