

# Caracterización y Distribución Espacial de las Escombreras Mineras de Riotinto: una Base para Valorar el Potencial Contaminante

/ ANTONIO J. ROMERO BAENA (1,\*), ISABEL GONZÁLEZ DÍEZ (1), EMILIO GALÁN HUERTOS (1), JUAN CARLOS FERNÁNDEZ-CALIANI (2)

(1) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. C/Prof. García González, 1. 41012, Sevilla (España)

(2) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus del Carmen s/n. 21071, Huelva (España)

## INTRODUCCIÓN.

Las Minas de Riotinto (SW España) han sido fuente de cobre y otros metales desde tiempos antiguos y lo siguen siendo en la actualidad, pero también son un claro ejemplo de espacios mineros abandonados y degradados. Los residuos mineros se extienden sobre una superficie superior a 18 Km<sup>2</sup>. El objetivo de este trabajo es identificar los diferentes tipos de escombreras y su distribución areal y realizar una caracterización químico-mineralógica, que sirva como base para valorar el potencial contaminante y permita establecer medidas de recuperación.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se ha realizado una cartografía de las escombreras a escala 1:10.000. El muestreo (41 muestras) se hizo cubriendo todos los tipos de escombreras diferenciadas y teniendo en cuenta su relativa representación. Las muestras se disgregaron y se tamizaron por un tamiz de 100 micras. La fracción fina se molió en mortero de ágata hasta un tamaño inferior a 50 micras para análisis mineralógico por difracción de rayos-X (DRX, método de polvo) y análisis químico por fluorescencia de rayos-X (FRX). El tratamiento estadístico de los resultados incluyó correlaciones, análisis de componentes principales (ACP) y un análisis cluster realizado con los siguientes elementos mayoritarios y traza: Si, Fe, S, Al, K, As, Cd, Co, Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, Mo, Ag y Tl.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La cartografía de las escombreras ha permitido diferenciar 13 unidades formadas por mezclas de diversos materiales. Algunas escombreras están constituidas básicamente por rocas

estériles como pizarras, rocas caolinizadas, gossan y rocas volcánicas (tobas o riolitas) que constituyen la roca encajante de los yacimientos de sulfuros (Tornos, 2008). Estas tobas pueden contener jarosita, ocre y un contenido variable en pirita. Otras escombreras están formadas por pirita y pirita calcinada, generalmente de tamaño de grano fino, que constituyen el residuo de los antiguos terreros o de otras formas de concentración y lavado de la mena. También se encuentran cenizas de tostación de pirita, conocidas vulgarmente como *morrongos*, que son muy comunes en toda la Faja Pirítica. Los lodos mineros o *tailings* pueden ser de diversos tipos: ocre, pirítico o hematítico. Por último, también existen escombreras de escorias, gossan y otros residuos no diferenciados.

Desde el punto de vista mineralógico, las escombreras de estériles están constituidas por cuarzo, moscovita, clorita, caolinita, feldespatos, jarosita y pirita, con contenidos minoritarios de hematites, goethita y otros. En cambio, las escombreras formadas por residuos mineros tienen altos contenidos en pirita, hematites y jarosita, siendo minoritarios cuarzo, filosilicatos goethita, barita y sulfatos hidratados. Entre estos se han determinado coquimbita, romboclasa, copiapita y romerita.

Desde el punto de vista químico, la heterogeneidad de materiales implica concentraciones muy variadas de elementos traza, y entre ellas cabe destacar valores de hasta 41544 mg/kg Pb, 11457 mg/kg As, 8013 mg/kg Zn, 155 mg/kg Co, 134 mg/kg Ag y una pequeña escombrera con cerca de un 35% en Cu.

Mediante análisis cluster se diferencian dos grandes grupos (Fig. 1).

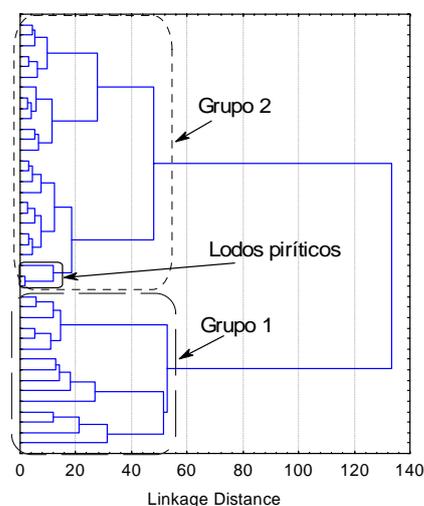


fig 1. Análisis Cluster según el método de Ward's y distancias City-Block (Manhattan).

## Grupo 1.

Se incluyen escombreras de varios tipos de residuos como piritas y piritas calcinadas, morrongos y escorias. La composición mineralógica de este grupo se caracteriza por contenidos variables en pirita (0-90%), hematites (0-65%) y jarosita (0-30%) (Fig. 2). Desde el punto de vista químico presentan altos contenidos en Fe, S y alta pérdida por calcinación. También pueden presentar elevadas concentraciones de elementos como Pb, As, Zn, Co, Ag, Cd o Tl (Fig. 3).

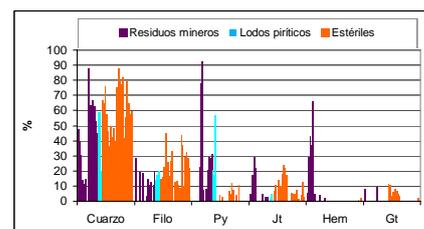


Fig2. Composición mineralógica básica de las muestras de escombreras.

**palabras clave:** Escombreras mineras, Elementos traza, Riotinto.

**key words:** Mining-waste dumps, Trace elements, Riotinto.

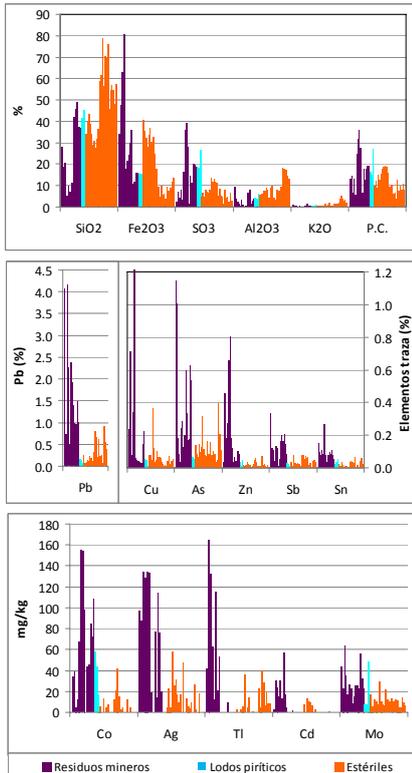


fig 3. Composición química de muestras de escombreras.

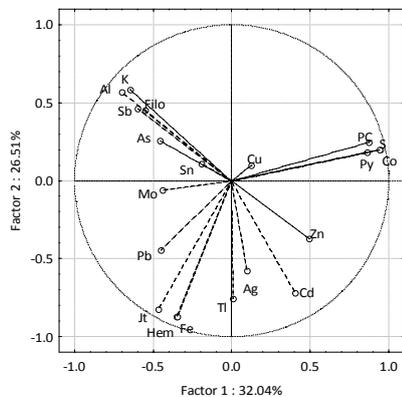


fig 4. ACP de las escombreras de residuos.

El ACP de estas muestras (Fig. 4) indica que Co se encuentra formando parte de la pirita ( $R=0.89$ ). Ambos se relacionan con S y con la PC, debido a la oxidación de la pirita y a la neoformación de sulfatos hidratados. La consecuencia final de esta oxidación será la generación de aguas ácidas. Hematites, jarosita y Fe también están asociados. Esto es debido a los altos contenidos que presentan en los morrongos. Otros elementos como Pb-Tl ( $R=0.72$ ), Cd-Zn ( $R=0.80$ ) y Ag presentaron altas concentraciones tanto en muestras de morrongos como en muestras de pirita, por lo que estarán como fases oxidadas

o asociados a sulfuros (esfalerita y galena). Arsénico y Sb presentaron cierta correlación con Al ( $R=0.61$ ,  $0.75$  respectivamente), por lo que los filosilicatos podrían jugar un papel importante en la retención de estos elementos.

**Grupo 2.**

Está formado por materiales estériles como pizarras y tobas, y lodos mineros ocres y piríticos. La mineralogía está formada por cuarzo y filosilicatos, contenidos variables en jarosita (hasta 25%), y en ocasiones pirita hasta un 10% y goethita (0-10%) en materiales ricos en ocres (Fig. 2). En comparación con el grupo anterior, presentan menores concentraciones de elementos traza (Fig. 3), siendo bajos los contenidos en Zn, Sn, Sb ó Co y variables en Pb (44-9173 mg/kg), Cu (21-3627 mg/kg), As (288-3928 mg/kg) o Ag (0-31 mg/kg).

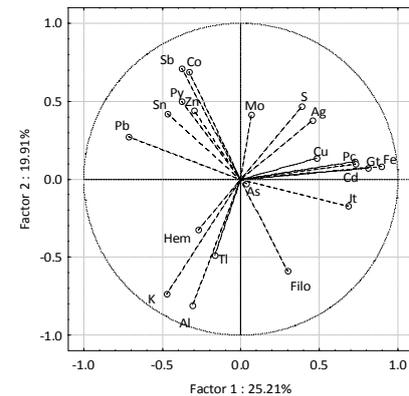


fig 5. ACP de las escombreras de estériles.

El ACP (Fig. 5) se ha realizado excluyendo las tres muestras de lodos piríticos, dado que poseen una mineralogía muy diferente al resto. El Tl se correlaciona con Al y K ( $R>0.63$ ), lo que parece indicar que una vez liberado de los sulfuros (p.e. galena) puede ser adsorbido por la illita. Cobalto y Zn se correlacionan bien con la pirita ( $R>0.84$ ), lo que indica que están como sulfuros (pirita o esfalerita, respectivamente), y cuando se liberan por oxidación se movilizan fácilmente en condiciones ácidas (Romero et al., 2011). Plomo, Sn y Sb se correlacionan entre sí ( $R>0.57$ ,  $p<0.01$ ) pero no con la pirita, lo que sugiere que, una vez liberados de los sulfuros, estos elementos son más inmóviles y precipitan fácilmente (Kraus y Wiegand, 2006). Otros elementos como Ag, Cd y pueden estar asociados a óxidos de Fe o

a sulfatos, pero el hecho de que haya varios tipos de materiales mezclados enmascara los resultados.

**CONCLUSIONES.**

En las escombreras de Riotinto se encuentra una gran variedad de residuos mezclados entre los que cabe destacar cenizas de tostación de pirita, materiales ricos en pirita, escorias, lodos residuales, restos de gossan y estériles de mina como rocas volcánicas, pizarras y otros materiales. Las escombreras con mayor potencial de contaminación son las formadas por piritas y residuos derivados de su tratamiento. Esto es debido a que presentan los mayores contenidos en elementos traza, entre los que destacan As, Pb, Zn, Ag, Cd y Tl. Además, la oxidación de la pirita genera aguas ácidas que favorece la movilización de los metales. Del análisis estadístico se deduce que los elementos más móviles son Co y Zn, ya que están principalmente asociados a sulfuros pero no son adsorbidos por óxidos de Fe o filosilicatos. Otros más inmóviles como el Tl pueden ser adsorbidos por la illita y otros como As, Mo, Sb o Pb podrían estar asociados a los óxidos de Fe, aunque no se han visto correlaciones claras. Estos resultados pueden ser completados con estudios de movilidad de los elementos potencialmente tóxicos y servir de base para calcular el potencial contaminante de las distintas escombreras.

**AGRADECIMIENTOS.**

Ministerio de Educación y Ciencia, entidad financiadora del proyecto Ref: CGL2008-06270-C y Proyecto Investigación Excelencia Junta de Andalucía P09-RNM-5163.

**REFERENCIAS.**

Kraus, U. & Wiegand, J. (2006): Long-term effects of the Aznalcóllar mine spill—heavy metal content and mobility in soils and sediments of the Guadiamar river valley (SW Spain). *Sci. Total Environ.*, **367**, 855-871.  
 Romero, A., González, I., Galán, E. (2011): Stream water geochemistry from mine wastes in Peña de Hierro, Riotinto area, SW Spain: a case of extreme acid mine drainage. *Environ. Earth. Sci.*, **62**, 645-656.  
 Tornos, F. (2008): La Geología y Metalogénia de la Faja Pirítica Ibérica. *Macla*, **10**, 13-23.