

Textura y mineralogía de las terrazas formadas por Drenaje Ácido en la Cuenca del Río Tinto

/ PABLO CRUZ-HERNÁNDEZ (1*), ANNIKA PARVIAINEN (2,3), RAFAEL PÉREZ-LÓPEZ (1), JOSÉ MIGUEL NIETO (1)

(1) Departamento de Geología, Universidad de Huelva, Avda. Fuerzas Armadas s/n, E-21071 Huelva (España)

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Avda. Fuente Nueva s/n, E-18002 Granada (España)

(3) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (IACT), Avda. de Las Palmeras nº 4, E-18100 Armilla, Granada (España)

INTRODUCCIÓN

Debido a su geología, la cuenca del Río Tinto, situada en la provincia de Huelva (Suroeste de España), se encuentra seriamente afectada por drenajes ácidos.

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) constituye la mayor reserva de sulfuros metálicos masivos del mundo (Sáez et al. 1999). La oxidación de estos sulfuros ha liberado una gran acidez (pH \approx 1-3) y elevadas concentraciones de metal(oid)es a los cursos fluviales de la zona. Además, la intensa actividad minera que se ha llevado a cabo en la FPI desde tiempos prerromanos a la actualidad, incrementando su explotación a partir de la Revolución Industrial, no ha hecho sino que agravar el problema con la generación de grandes cantidades de residuos de sulfuros, produciendo el conocido Drenaje Ácido de Mina (Acid Mine Drainage o AMD). El paisaje ha sido modificado por esta actividad en la cabecera de la cuenca del Río Tinto dejando escombreras de residuos mineros que generan AMD. Además, la carga de contaminantes de los drenajes, principalmente sulfatos y hierro, hace que el cauce de los cursos fluviales esté totalmente cubierto de fases pobremente cristalinas de oxihidrosulfatos de Fe, schwertmannita, formando terrazas. Al precipitar rápidamente, esta fase es una gran trampa de metales traza. La schwertmannita, al ser metaestable, evoluciona a fases más cristalinas como goethita, jarosita y, a mayor escala de tiempo (siglos), acaba transformándose en hematite (Acero et al., 2006 y Pérez-López et al., 2011). Durante la transformación mineralógica, parte de los contaminantes pueden ser liberados de nuevo a solución, por lo que un estudio de este proceso podría ayudar a elaborar modelos de remediación contra

la contaminación de estos ríos.

En este trabajo se muestra la evolución mineralógica y textural de precipitados de Drenaje Ácido a diferentes escalas de tiempo. Para ello, se han seleccionado terrazas formadas en diferentes épocas; desde terrazas de formación actual, a otras datadas en 6 M.a (Essalhi et al., 2011). Con este fin, se han sometido las muestras a estudios de Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Óptica Transmitida y Reflejada, y Microscopía Electrónica de Barrido con análisis puntuales de Espectrómetro de Dispersión de Energía (SEM-EDS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las terrazas actuales se recogieron en dos arroyos que desembocan en el Río Tinto, en la zona de Zarandas (distrito minero de Riotinto); uno de los arroyos corresponde a la galería que desagua

Corta Atalaya (túnel 16), y el otro procede de la lixiviación de una de las principales escombreras. En la misma zona, se recogió otra muestra cercana al mismo arroyo proveniente de la escombrera, situada un metro por encima del nivel actual del arroyo. La muestra de la terraza más antigua se tomó en la formación "Alto de la Mesa". Esta terraza se sitúa a 40m sobre el actual cauce del Río Tinto.

En el laboratorio, las muestras se secaron a temperatura ambiente. Para el análisis mineralógico por DRX, una alícuota de las muestras se molió con un mortero de ágata. En las terrazas actuales, se pudieron muestrear varios niveles según variaciones de color.

Los análisis de DRX se llevaron a cabo en un difractor PANanalytical x'Pert PRO con radiación de Cu K α . Los parámetros que se utilizaron fueron 45

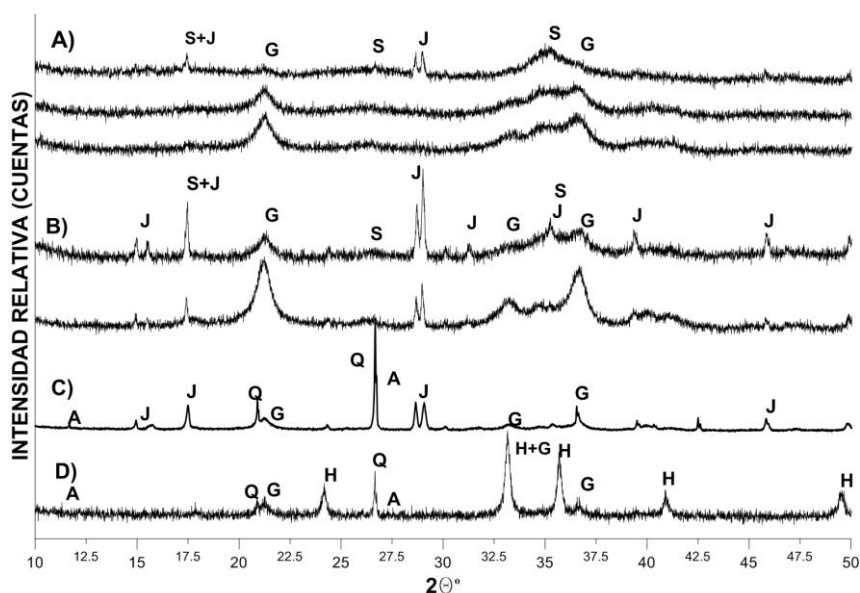


fig. 1: Difractogramas obtenidos de las muestras pulverizadas de terraza. (A): Terraza salida túnel 16. (B): Terraza actual arroyo drenante de escombrera. (C): Terraza intermedia. (D): Terraza antigua. (A) y (B) difractogramas superiores corresponden a niveles más superficiales. Fases detectadas: S = Schwertmannita, J = Jarosita, G = Goethita, H = Hematite, A = Minerales de la arcilla, Q = Cuarzo.

palabras clave: Terrazas, Drenaje Ácido, Schwertmannita, Goethita, Hematite

key words: Terraces, Acid Drainage, Schwertmannite, Goethite, Hematite

kV y 40 mA abarcando un rango de 4 a 60° 2 θ . Se efectuaron mediciones cada 0,0084° 2 θ de 10 segundos cada una. Por otro lado, las muestras se embutieron con resina Epoxy y se prepararon láminas delgadas de 50 μ m.

RESULTADOS

Difracción de Rayos X (DRX)

Los resultados mineralógicos obtenidos con DRX se muestran en la Figura 1.

En ambas terrazas actuales (Fig. 1A y B), se observa un cambio mineralógico gradual con la profundidad; desde schwertmannita en superficie a goethita en profundidad. La señal de schwertmannita es más débil en la terraza tomada en el arroyo que drena la escombrera porque también se detecta una mayor cantidad de jarosita.

De acuerdo con el patrón de DRX de la muestra intermedia (Fig. 1C), las fases mayoritarias son goethita y jarosita. Se detecta además material detrítico del río y una pequeña cantidad de sulfuros.

Por último, el difractograma de la terraza antigua (Fig. 1D), revela que la fase principal es hematite junto con goethita, además de material detrítico.

Microscopía óptica y electrónica

Las imágenes de las terrazas se muestran en la Fig. 2.

La textura de los precipitados observados en las muestras de terrazas actuales es de forma esférica. La disposición general es laminar, aunque

existe cierta ramificación pseudodendrítica de los precipitados. En la terraza del túnel 16 (Figs. 2A y B), las esférulas se encuentran mucho más dispersas que en la terraza del arroyo drenante de la escombrera (Fig. 2C). El núcleo de la fase esférica es más compacto que la zona externa, donde una serie de finas acículas se extienden de forma radial. Los análisis puntuales de EDS hacen pensar que las fases detectadas sean oxi-hidróxidosulfatos de Fe (Fe = 58 \pm 5 % wt%, S = 4 \pm 0,5% wt%), aunque estas cantidades varían en función de la profundidad del análisis. También se encuentran algunos pequeños granos de sulfuro de forma esporádica.

La muestra intermedia presenta una estructura laminada (Fig. 2D). Los niveles más claros serían más ricos en goethita, mientras que los grisáceos contienen una fase sulfatada, posiblemente una mezcla de jarosita y schwertmannita. En esta muestra, se encuentran gran cantidad de clastos, la mayoría detríticos (pizarras y cuarzo) y algunos granos de sulfuros en proceso de disolución. Estos granos, se encuentran reemplazados de oxi-hidróxidos de Fe de forma laminar entorno al grano. En los límites de grano de material detrítico se observan precipitaciones bandeadas botroidales de goethita. La matriz parece granulada, pero compacta.

Las Figs. 2E y F, se muestran las imágenes de SEM y microscopía óptica de luz reflejada de la muestra tomada en la terraza antigua del Alto de la Mesa. La textura que presenta es botroidal con un microbandeado

alternante de goethita y hematite. Se pueden observar además algunas estructuras de relleno de óxidos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El envejecimiento de las fases pobremente cristalinas de Fe genera cambios no sólo mineralógicos, sino también texturales (Pérez-López et al., 2011). Mientras que los precipitados actuales disponen las fases menos estables con formas esféricas de una forma dendrítica más expandida, la madurez de los precipitados hace que estos acaben compactándose rodeando clastos arrastrados, creciendo de forma concéntrica a su alrededor. Estas estructuras son típicas de cristalizaciones de disolución y reemplazamiento.

Por otro lado, la detección fases pobremente cristalinas por parte de la DRX no parece dar buenos resultados, ya que la señal emitida por estas queda enmascarada por la coexistencia con otras fases más cristalinas.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de la Dra. Parviainen fue financiado por la fundación KAUTE (Finlandia). Esta investigación ha sido financiada por el proyecto METODICA (CGL2010-21956-C02) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

- Anero, P., Ayora, C., Torrentó, C., Nieto, J.M. (2006): *The role of trace elements during schwertmannite precipitation and subsequent transformation into goethite and jarosite*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 70, 4130-4139.
- Essalhi, M., Sizaret, S., Barbanson, L., Chen, Y., Lagroix, F., Demory, F., Nieto, J.M., Sáez, R., Capitán, M.A. (2011): *A case study of the internal structures of gossans and weathering processes in the Iberian Pyrite Belt using magnetic fabrics and paleomagnetic dating*. *Miner. Depos.* 46, 981-999.
- Pérez-López, R., Asta, M.P., Román-Ross, G., Nieto, J.M., Ayora, C., Tucoulou, R. (2011): *Synchrotron based X-ray study of iron oxide transformations in terraces from the Tinto-Odiel river system: Influence on arsenic mobility*. *Chem. Geol.* 280, 336-343.
- Sáez, R., Pascual, E., Toscano, M., Almodóvar, G.R. (1999): *The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits*. *Miner. Depos.* 34, 549-570.

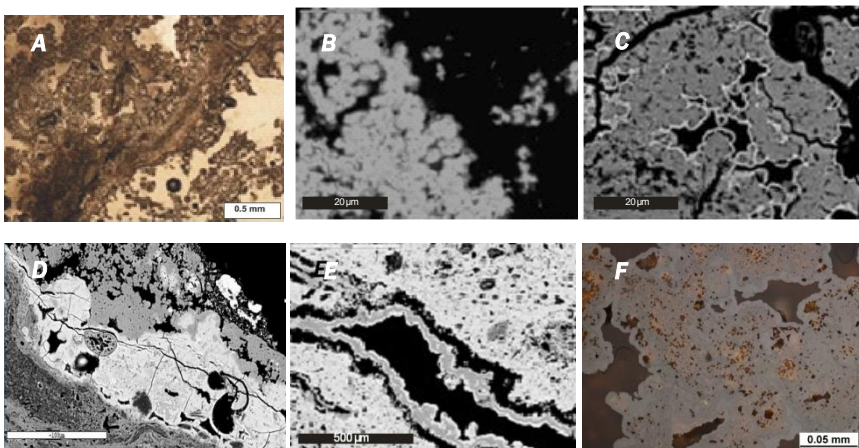


Fig. 2 Imágenes de microscopio de las láminas pulidas de las muestras de las terrazas. (A) y (B) terraza tomada a la salida del túnel 16 (óptico transmitida y SEM respectivamente). (C) imagen de SEM de la terraza recogida en el arroyo drenante de la escombrera. (D) imagen SEM de la terraza intermedia. (E) y (F) terraza antigua del Alto de la Mesa (SEM mientras y microscopía de luz reflejada respectivamente).