

## Influence of edaphic factors, vegetation and bacterial composition on the sustainability of phytomanagement at semiarid mine tailings

## Influencia de los factores edáficos, la vegetación y la composición bacteriana en la sostenibilidad del fitomanejo en depósitos de lodos de flotación en ambientes semiáridos

Y. Risueño<sup>1\*</sup>, C. Petri<sup>2</sup>, H.M. Conesa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agronómica, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena. Spain.

<sup>2</sup>Departamento de Fruticultura Subtropical y Mediterránea, IHSM-CSIC La Mayora, Avenida Dr. Wienberg, s/n, 29750 Algarrobo-Costa, Málaga. Spain.

\*yolanda.risueno@upct.es

### **Abstract**

Mine tailings piles are considered one of the most environmental damaging anthropogenic issues worldwide due to the occurrence of high metal(loid)s concentrations. In order to achieve tailings' restoration, phytomanagement has raised up as an interesting alternative, which consists of improving a self-sustaining vegetation cover. In this process the bacterial community, adapted to extreme conditions, may play an important role. The objective of this work was to elucidate which factors, including edaphic, vegetation and bacterial composition aspects, determine soil functionality in the phytomanagement of mine tailings piles in semiarid areas. The presence of plants in vegetated patches at tailings revealed a positive effect on soil fertility and microbiological indicators, stimulating the presence of bacterial orders involved in key biogeochemical cycles. This functionality of impacted tailings sites, which even showed unfavourable edaphic conditions, may support its long-term sustainability.

**Keywords:** mining tailings; phytomanagement; metals; salinity; microbial community.

### **Resumen**

Los depósitos de lodos de flotación son considerados un grave problema medio ambiental debido a la presencia de elevadas concentraciones de metales pesados. Con la intención de alcanzar su restauración, se han propuesto técnicas de fitomanejo consistentes en formar una cubierta vegetal estable sobre sus superficies. Para conseguir esto, puede ser beneficioso contar con una comunidad bacteriana adaptada a las condiciones adversas específicas de estos residuos. El objetivo de este proyecto fue evaluar qué factores (edáficos, vegetación y composición bacteriana) determinan la funcionalidad del suelo durante los procesos de fitomanejo en zonas mineras semiáridas. El estudio reveló que la vegetación presente en los depósitos mineros fue capaz de estimular, a pesar de las condiciones edáficas deficientes, el desarrollo de una comunidad bacteriana organotrófica implicada en ciclos biogeoquímicos de nutrientes, y por lo tanto, con capacidad para apoyar la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

**Palabras clave:** depósitos mineros; fitomanejo; metales; salinidad; comunidad microbiana.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los depósitos de lodos de flotación provienen de la acumulación de residuos generados por las actividades de minería metálica. Se trata de estructuras inestables con condiciones extremas de suelo, como elevadas concentraciones de metal(oid)es, elevada salinidad y baja fertilidad (1). Con el objetivo de restaurar estos depósitos, algunos estudios han valorado la posibilidad de generar una cubierta vegetal estable con especies autóctonas adaptadas a las condiciones climáticas locales (fitomanejo por fitoestabilización) (2). Sin embargo, los procesos de fitoestabilización están limitados por las condiciones edáficas de los depósitos que pueden dificultar el desarrollo de vegetación (3). En este sentido, las comunidades bacterianas presentes en los residuos mineros pueden jugar un papel muy importante en el establecimiento de la vegetación al interactuar positivamente con las rizosferas, actuando como filtro de metales y/o participando en ciclos biogeoquímicos de nutrientes (4).

El objetivo de este proyecto fue evaluar qué factores (edáficos, vegetación y composición bacteriana) determinan la funcionalidad del suelo durante los procesos de fitomanejo por fitoestabilización en zonas mineras semiáridas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio pertenece al Distrito Minero de Cartagena-La Unión. El muestreo fue realizado a lo largo de un transecto (Fig. 1A) trazado desde un área no afectada por la actividad minera (control) hasta la meseta de un depósito de lodos de flotación, incluyendo diferentes microambientes y rizosferas de vegetación espontánea en el mismo. En cada etapa del transecto se tomaron muestras compuestas de suelo ( $n \geq 3$ ), las cuales se emplearon para su caracterización físico-química y microbiológica (composición bacteriana). Los análisis estadísticos se realizaron con los programas SPSS 22 y CANOCO for WINDOWS v4.02.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variaciones en las propiedades de suelo a través del transecto experimental determinaron un gradiente ambiental definido por parámetros como pH, carbono orgánico (CO) o nitrógeno total (NT), los cuales correlacionaron negativamente con la concentración total de metales y los parámetros de salinidad (conductividad eléctrica (CE) y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Fig. 1B). Sin embargo, dentro del depósito, se generó un gradiente secundario definido principalmente por la salinidad, donde la concentración de metales jugó un papel secundario (Fig. 1B). Como ya se ha indicado en otros estudios realizados en ambientes afectados por actividades mineras, la variabilidad espacial de la concentración de metales totales en estos depósitos con condiciones de pH neutro, no parecen ser motivo suficiente para la generación de nichos específicos en el desarrollo de plantas y/o microorganismos (5). Sin embargo, otros factores físico-químicos como la salinidad o la textura han mostrado una gran relevancia en el desarrollo de los procesos de sucesión edáfica (6). Así, las zonas desnudas de vegetación dentro del depósito, caracterizadas por elevados valores de CE, mostraron una composición bacteriana principalmente litotrófica (ej. órdenes de *Gammaproteobacteria*) (Fig. 2). Sin embargo, las zonas del depósito con menor salinidad promovieron la presencia de vegetación, lo que favoreció mayores valores de parámetros relacionados con fertilidad (CO, NT) y el desarrollo de una comunidad bacteriana principalmente organotrófica (ej. *Cytophagales*) (7). Las rizosferas de las plantas muestreadas dentro del depósito compartieron grupos bacterianos con las muestras de suelo externas al depósito (control y borde externo). Estos grupos juegan un papel importante en la sostenibilidad de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes. Un ejemplo es el caso del orden *Rhizobiales* (Fig. 2), el cual ha sido ampliamente relacionado con la fijación de nitrógeno (8).

#### 4. CONCLUSIONES

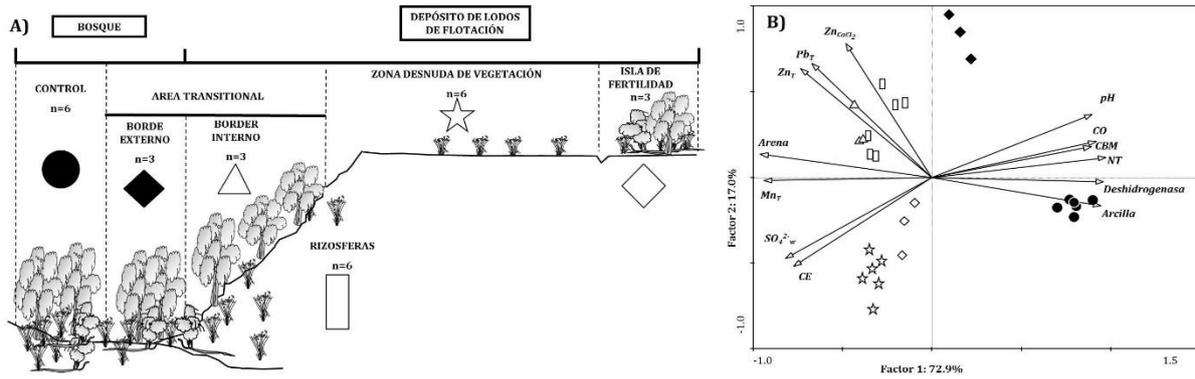
El estudio de microambientes en depósitos mineros reveló la importancia de la fertilidad del suelo, y por tanto, de la presencia de vegetación espontánea para estimular el desarrollo de una comunidad bacteriana implicada en la sostenibilidad de los ciclos biogeoquímicos. Por todo esto, es importante tener en cuenta la microbiología nativa, adaptada a las condiciones edáficas específicas, de cara a asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos de fitomanejo en estos ambientes.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

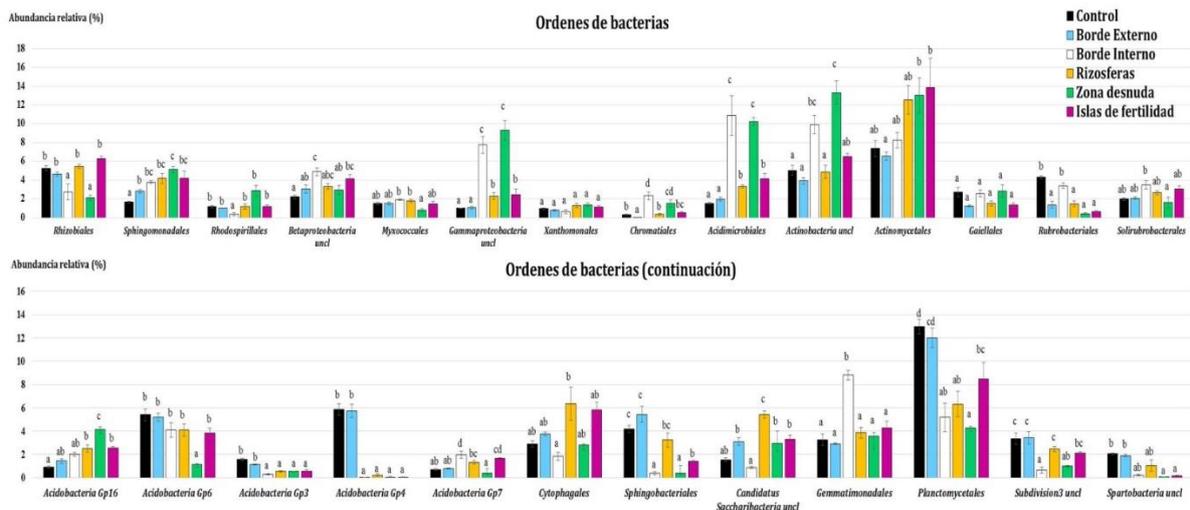
Proyecto financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación–Agencia Estatal de Investigación. Proyecto CGL2017-82264-R.

#### 6. REFERENCIAS

1. Mendez MO, Maier RM. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2008;7(1):47–59.
2. Conesa HM, Schulin R. The Cartagena-La Unión mining district (SE Spain): A review of environmental problems and emerging phytoremediation solutions after fifteen years research. *J Environ Monit*. 2010;12(6):1225–33.
3. Párraga-Aguado I, Álvarez-Rogel J, González-Alcaraz MN, Jiménez-Cárceles FJ, Conesa HM. Assessment of metal(loid)s availability and their uptake by *Pinus halepensis* in a Mediterranean forest impacted by abandoned tailings. *Ecol Eng*. 2013;58:84–90.
4. Thavamani P, Samkumar RA, Satheesh V, Subashchandrabose SR, Ramadass K, Naidu R, et al. Microbes from mined sites: Harnessing their potential for reclamation of derelict mine sites. *Environ Pollut*. 2017;230:495–505.
5. Parraga-Aguado I, Gonzalez-Alcaraz MN, Alvarez-Rogel J, Jimenez-Carceles FJ, Conesa HM. The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings. *Environ Pollut*. 2013;176:134–43.
6. Anawar HM, Canha N, Santa-Regina I, Freitas MC. Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: Sustainable rehabilitation. *J Soils Sediments*. 2013;13(4):730–41.
7. Sun X, Zhou Y, Tan Y, Wu Z, Lu P, Zhang G, et al. Restoration with pioneer plants changes soil properties and remodels the diversity and structure of bacterial communities in rhizosphere and bulk soil of copper mine tailings in Jiangxi Province, China. *Environ Sci Pollut Res*. 2018;25(22):22106–19.
8. Jones RT. A Comprehensive Survey of Soil Rhizobiales Diversity Using High-Throughput DNA Sequencing. *Biol Nitrogen Fixat*. 2015;2(2):769–76.



**Figura 1. A)** Esquema del transecto de muestreo. Los símbolos para cada sitio son empleados en la Fig. 1B. **B)** Resultados del Análisis de Componente Principal (ACP). Mt es concentración total del elemento M; “ $SO_4^{2-}$ ” es la concentración de sulfato extraíble en agua; “ $MCaCl_2$ ” es la concentración del elemento M extraído en 0,01 M de  $CaCl_2$ ; “CO” es el Carbono Orgánico; “NT” es la concentración de nitrógeno total; Arena y Arcilla son los porcentajes correspondientes al tamaño de partícula; “CE” y “pH” son Conductividad Eléctrica y pH, respectivamente, del extracto 1:5 suelo:agua; “CBM” es el Carbón de la Biomasa Microbiana; Deshidrogenasa es la actividad enzimática.



**Figura 2.** Representación de la abundancia relativa (%) de los órdenes bacterianos en cada área del transecto de muestreo. Las letras sobre cada columna indican diferencias significativas entre las zonas para cada orden bacteriano (ANOVA con el test de Tukey,  $p < 0,05$ ). El número de réplicas fue de 3 o 6, especificado en Fig. 1A.