

Nuestra Facultad

TESIS DOCTORALES

BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS EN SUELOS MINEROS CONTAMINADOS ENMENDADOS CON MATERIALES ORGÁNICOS

INTRODUCCIÓN

Los suelos de las zonas mineras presentan frecuentemente un elevado nivel de contaminación por metales pesados. La fitorremediación es un conjunto de técnicas más económicas y respetuosas con el medio ambiente que las convencionales, donde se utilizan plantas, en combinación con determinadas enmiendas y prácticas agronómicas para eliminar o reducir la toxicidad de los contaminantes (Figura 1). Entre estas técnicas, se encuentra la fitoextracción, que se basa en la absorción de los metales del suelo por las raíces de las plantas y en su translocación a la parte aérea cosechable. Para ello, suelen emplearse plantas hiperacumuladoras, capaces de alcanzar elevadas concentraciones de metales en sus

tejidos. Sin embargo, estas especies presentan una baja producción de biomasa, por lo que se plantea la utilización alternativa de plantas no hiperacumuladoras pero tolerantes a los metales y de gran crecimiento.

Por otro parte, para facilitar la fitoextracción es necesario aumentar la biodisponibilidad de los metales. La aplicación al suelo de materiales orgánicos, como enmiendas compostadas o agentes quelantes, altera la biodisponibilidad de los metales y modifica las propiedades del suelo, de manera que podría permitir el cultivo de plantas tolerantes y favorecer la absorción de los metales.

El objetivo de esta Tesis Doctoral ha sido estudiar el efecto de diversos materiales orgánicos sobre la biodisponibilidad de los metales y la fertilidad de los suelos mineros con vistas a la aplicación de técnicas de fitoextracción para la recuperación del medio. También se pretendía evaluar la capacidad fitoextractora de determinadas especies vegetales tolerantes a los metales y de gran producción de biomasa al incorporar al suelo varias enmiendas orgánicas.

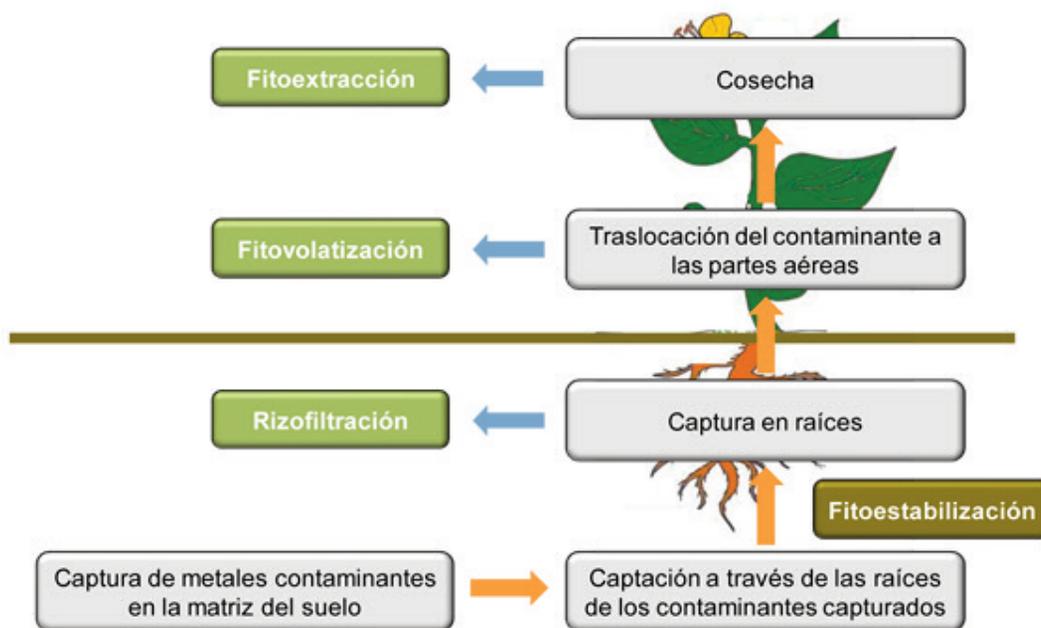


Figura 1. Mecanismos de fitorremediación.

APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN SUELOS MINEROS

Para este estudio se seleccionaron y caracterizaron varios suelos afectados por la actividad minera, situados en la Sierra Norte de la Comunidad de Madrid, en Garganta de los Montes (G) y en El Cuadrón (C) (Figura 2). Estos suelos se mezclaron con dos tipos de enmiendas orgánicas, compost de estiércol de caballo y oveja (E) y compost de corteza de pino (P), en dosis de 0, 30 y 60 Mg ha⁻¹.



Figura 2. Mapa de situación de Garganta de los Montes y El Cuadrón (arriba). Lugar de toma de muestras del suelo de la mina "Fernandito" en Garganta de los Montes (abajo).

La movilidad de los metales en el suelo está condicionada en gran medida por la abundancia y tipo de grupos reactivos superficiales de las partículas. Por ello, se estudió la distribución de metales asociados a la fase só-

lida y acuosa del suelo, las características de los procesos de adsorción y desorción de metales, la carga eléctrica de las partículas del suelo y su variación con el pH. Así, se pueden obtener conclusiones acerca del efecto de las propiedades del suelo afectadas por las sustancias orgánicas sobre la movilidad y biodisponibilidad de los metales.

Los resultados mostraron que la aplicación de estiércol a los suelos mineros consigue mejorar sus condiciones de fertilidad, a la vez que disminuye la biodisponibilidad de los metales. La aportación de materia orgánica y el elevado pH de esta enmienda incrementan la densidad de carga negativa de las superficies del suelo, aumentando su capacidad de retención de metales. De esta manera, se reduce la movilidad y la toxicidad de los metales en el suelo, lo que permitiría un mayor desarrollo vegetal. Por el contrario, la corteza de pino, de menor pH y contenido en nutrientes, no mejora las propiedades químicas del suelo, pero consigue aumentar la biodisponibilidad de metales, de forma que podría facilitar su extracción por las plantas.

ENSAYOS DE CULTIVO DE ESPECIES TOLERANTES A LOS METALES EN SUELOS MINEROS UTILIZANDO ENMIENDAS ORGÁNICAS

Se evaluó la utilización de varias especies vegetales tolerantes a los metales (*Brassica juncea*, *Thlaspi arvense* y *Atriplex halimus*) y de las enmiendas orgánicas para la fitoextracción de metales mediante ensayos de cultivo en invernadero (Figura 3).

La menor toxicidad por metales y la mejora en la fertilidad del suelo observada en los tratamientos con estiércol contribuye a un mayor crecimiento de las plantas (Figura 4). Gracias a ello, la cantidad de metal finalmente retirada del suelo y acumulada en la parte aérea de las plantas es mayor que en los tratamientos con corteza de pino y con suelo sin enmendar (Figura 5). La adición de estiércol no solo estabiliza los metales en el suelo sino que también mejora la capacidad fitoextractora de las plantas.

De las tres especies estudiadas, *A. halimus* fue la que obtuvo una mayor producción de biomasa y la que consiguió extraer del suelo y acumular en su parte aérea una mayor cantidad de metales, por lo que esta especie podría ser adecuada para su uso en la fitoextracción de metales en suelos contaminados. En cambio, *B. juncea* y *T. ar-*

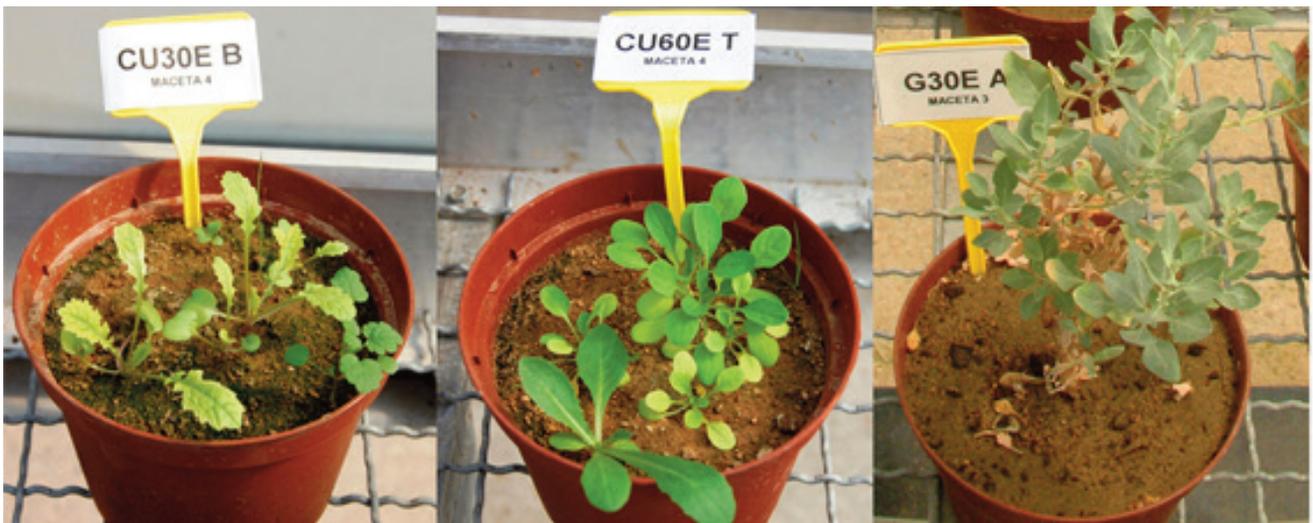


Figura 3. Macetas con plantas de *Brassica juncea* (izquierda), *Thlaspi arvense* (centro) y *Atriplex halimus* (derecha).



Figura 4. Plantas de *Atriplex halimus* cultivadas en macetas con suelo enmendado con corteza de pino (arriba) y con estiércol de caballo y oveja (abajo).

vense estuvieron gravemente afectadas por las condiciones del suelo y la toxicidad por metales.

MOVILIDAD DE METALES EN SUELOS MINEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS DE BAJO PESO MOLECULAR

Por último, se valoró la capacidad de movilización de metales por varios ácidos orgánicos de bajo peso molecular, ácido cítrico y ácido tartárico (Figura 6), mediante un ensayo en columnas de lixiviación (Figura 7). Estas sustancias son frecuentemente exudadas por las raíces y tienen un importante papel en la solubilización y absorción de nutrientes y metales por las plantas.

Se observó que la aplicación de ácido cítrico y ácido tartárico en bajas concentraciones (0-0,05 mM) no consigue extraer una cantidad significativa de metales del suelo. En cambio, la adición de elevadas concentraciones de ácido cítrico (10 mM) es capaz de extraer el Cu del suelo de forma efectiva, debido a su gran capacidad quelante con este metal y a la disolución de los óxidos de Fe y Mn, liberando sus metales asociados. Por tanto, la aplicación de ácido cítrico en concentraciones adecuadas podría resultar un agente quelante eficaz para la fitoextracción asistida de Cu en suelos contaminados, sustituyendo a los quelatos sintéticos, como el EDTA (Figura 6).

CONCLUSIONES

La contaminación del suelo por metales pesados supone un grave problema ambiental, siendo la fitorremediación una de las soluciones más atractivas para la

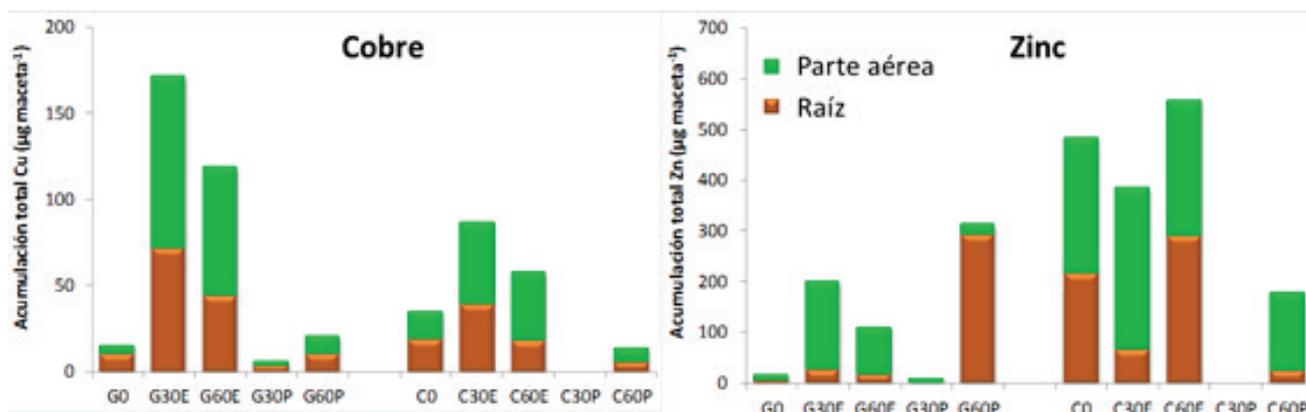


Figura 5. Acumulación total de metales en la parte aérea y raíz de las plantas de *Brassica juncea*, cultivadas en los distintos tratamientos de suelo con enmiendas orgánicas.

recuperación del medio. Sin embargo, el uso de estas técnicas puede verse limitado por la baja movilidad de los metales en el suelo, por lo que son necesarias nuevas investigaciones para obtener métodos más eficaces que permitan la restauración de los ecosistemas contaminados. Por ello, se ha estudiado el efecto de varias enmiendas orgánicas, compost de corteza de pino y compost de estiércol de caballo y oveja, en la disponibilidad de los metales del suelo y en su absorción por las plantas. También se ha valorado la capacidad de extracción de metales de las especies vegetales, *Brassica juncea*, *Thlaspi arvense* y *Atriplex halimus*, cultivadas en suelos contaminados. Los

resultados mostraron que la aplicación al suelo de compost de estiércol no sólo mejora sus propiedades químicas y estabiliza los metales, sino que también favorece el crecimiento de las plantas y, por tanto, la cantidad total de metal absorbido por ellas. Y que la especie *Atriplex halimus* podría ser una especie adecuada para su utilización en la fitoextracción de metales. En definitiva, el estudio realizado en esta Tesis Doctoral resulta de gran interés medioambiental y puede aportar importantes contribuciones en el uso de plantas para recuperar ambientes contaminados.

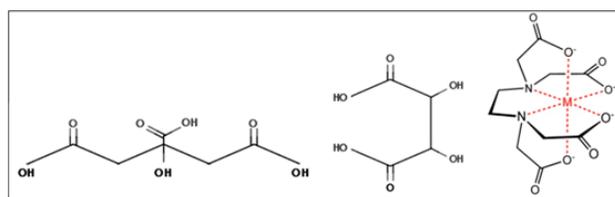


Figura 6. Estructura del ácido cítrico (izquierda), del ácido tartárico (centro) y del quelato metal-EDTA (derecha).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pérez Esteban, J., Escolástico, C., Ruiz-Fernández, J., Masaguer, A. and Moliner, A. *Environ. Exp. Bot.* DOI: 10.1016/j.envezpbot.2011.12.003.
- [2] Pérez Esteban, J., Escolástico, C., Moliner, A. and Masaguer, A. *Chemosphere*. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.06.065
- [3] Pérez Esteban, J., Escolástico, C., Moliner, A. and Masaguer, A. *European Journal of Soil Science*. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2012.01468.X



Figura 7. Ensayo en columnas de lixiviación.

Javier Pérez Esteban
Doctorando

Consuelo Escolástico León y
Ana Moliner Aramendía
Directoras