

## Functional regeneration of soils affected by mine wastes in Mediterranean environments and their resilience against climate change scenarios

## Regeneración funcional de suelos afectados por residuos mineros en ambientes Mediterráneos y su resiliencia frente a escenarios de cambio climático

A. Peñalver-Alcalá<sup>1\*</sup>, J. Álvarez-Rogel<sup>1</sup>, M.N. González-Alcaraz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Área de Edafología y Química Agrícola. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica-UPCT. Paseo Alfonso XIII, 48, Cartagena, 30203 Murcia, Spain.

<sup>2</sup>Department of Biology & CESAM, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal.

\*antonio.penalver@upct.es

### **Abstract**

Soils affected by mine wastes might show stressful conditions for biota, as well as to pose a risk of transfer of potentially toxic compounds to the environment. This may worsen in the upcoming decades since these soils, whose functional and structural characteristics are deteriorated, will have less adaptation capability (resilience) to climate change. The objective of the thesis is to know functional and structural aspects of the soil related to ecosystem regeneration, in Mediterranean environments affected by mine wastes, and to evaluate its resilience against climate change scenarios. Moreover, the aim is also to evaluate if organic amendments addition might improve soil functionality and its response to changing climate conditions. To achieve this, environments with different degree of vegetal colonization will be studied. The initial results show that functional and structural differences might exist among the different environments selected, in relation with the distinct stage of vegetal colonization. The addition of organic amendments to these soils could be an adequate management practice to improve their properties.

**Keywords:** Biochar; metallic contamination; biogeochemistry cycles; ecosystem services; ecotoxicity.

### **Resumen**

Los suelos afectados por residuos mineros pueden presentar condiciones estresantes para los organismos vivos, además de suponer un riesgo de transferencia de compuestos potencialmente tóxicos al medio. Esto podría verse agravado en un futuro, ya que tales suelos, cuyas características funcionales y estructurales están deterioradas, tendrán menor capacidad de adaptación (resiliencia) frente al cambio climático. El objetivo de la tesis doctoral es conocer aspectos funcionales y estructurales del suelo relacionados con la regeneración del ecosistema, en ambientes Mediterráneos afectados por residuos mineros, y valorar su resiliencia frente a escenarios de cambio climático. Para ello se estudiarán ambientes con distinto grado de colonización vegetal. Además, se pretende evaluar si la adición de enmiendas orgánicas puede contribuir a mejorar la funcionalidad de los suelos y su respuesta frente a dichos escenarios. Los resultados iniciales indican que pueden existir diferencias funcionales y estructurales entre los distintos ambientes seleccionados, relacionadas con diferentes etapas de colonización vegetal. La adición de enmiendas orgánicas a estos suelos puede ser una práctica de manejo adecuada para mejorar sus propiedades.

**Palabras clave:** Biochar; contaminación metálica; ciclos biogeoquímicos; servicios ecosistémicos; ecotoxicidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

La regeneración de la cubierta vegetal y la mejora de las propiedades edáficas son aspectos esenciales para la recuperación de ecosistemas terrestres degradados y la provisión de sus servicios ecosistémicos (p.e. retención de contaminantes, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, etc.). Para ello, es clave que se restauren las características funcionales (p.e. ciclos biogeoquímicos y propiedades relacionadas) y estructurales (tipos de organismos/microorganismos) del suelo, ya que ambos aspectos determinan en gran medida la capacidad de adaptación del sistema frente a los daños que recibe (resiliencia). Algunas de las condiciones más desfavorables para esta recuperación ocurren en antiguas zonas mineras, en especial en depósitos de residuos mineros abandonados. El abandono de estos depósitos “in situ”, tras el cese de la actividad minera, constituye un foco potencial de contaminación para su entorno, facilitando la dispersión de sustancias potencialmente tóxicas [1]. La acumulación de contaminantes en estos depósitos y en los suelos circundantes lleva a condiciones severas de estrés para biota del suelo, así como para la vegetación que vive en estos ambientes.

Dado que los ecosistemas degradados son menos resilientes, el cambio climático puede agravar los impactos negativos que ya de por sí tiene la contaminación [2]. Diversos estudios [3] han previsto que bajo escenarios de cambio climático [4] se modificará la biodisponibilidad de los contaminantes edáficos (p.e. metales) al alterarse los ciclos biogeoquímicos, aumentando los riesgos de toxicidad. Estudios recientes han descrito cómo algunas especies vegetales pioneras pueden formar parches de vegetación espontánea en depósitos de residuos mineros, mejorando sus propiedades edáficas, promoviendo los procesos de colonización de otras plantas [5]. Sin embargo, no se conoce en detalle cómo estos fenómenos modifican las características funcionales y estructurales de los suelos y sus relaciones con la vegetación colonizadora.

El objetivo general de la tesis doctoral es conocer aspectos funcionales y estructurales del suelo relacionados con la regeneración del ecosistema, en ambientes Mediterráneos afectados por residuos de minería metálica, y valorar su resiliencia frente a escenarios de cambio climático. Además, se pretende evaluar si la adición de biochar y compost de residuos sólidos urbanos (RSU) a estos suelos puede contribuir a mejorar su funcionalidad y su respuesta frente a dichos escenarios de cambio climático. La hipótesis de partida es que los ambientes con mayor colonización vegetal presentarán características más cercanas al bosque control y también serán más resilientes frente a los impactos.

Los objetivos específicos son: (1) Profundizar en el conocimiento funcional (propiedades físicas y biogeoquímicas incluyendo microbiología y mineralización de materia orgánica) y estructural (tipos de organismos/microorganismos) de los nichos edáficos en zonas mineras y su relación con la colonización vegetal, para comprender con mayor detalle el papel del suelo como soporte de la regeneración natural espontánea del ecosistema; (2) Evaluar la resiliencia de los nichos edáficos en zonas mineras frente a escenarios de cambio climático basados en variaciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, temperatura y humedad edáfica, tanto a nivel funcional como estructural y a través de cambios en su toxicidad; (3) Evaluar el efecto que puede tener la adición de enmiendas orgánicas (biochar y compost de RSU) sobre la regeneración funcional del suelo de zonas mineras y su resiliencia frente a escenarios de cambio climático, evaluando estos aspectos de la misma forma que para el objetivo 2.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Trabajo de campo (afecta a los objetivos 1 y 3)

La zona de estudio se localiza en el Distrito Minero de La Unión-Cartagena, Murcia, SE de España, que tiene clima Mediterráneo semiárido (precipitaciones medias anuales entre 200 y 300 mm, temperatura media anual  $\approx 17^{\circ}\text{C}$  y tasas medias anuales de evapotranspiración de  $\approx 860\text{mm}$ ). Se han establecido parcelas de  $4\text{m}^2$  ( $n=4$ ) para el estudio de seis ambientes: 1. Zonas sin vegetación en depósitos mineros (S); 2. Individuos aislados de *Pinus halepensis* que han colonizado de forma espontánea depósitos mineros (P); 3. Individuos aislados de *P. halepensis*, bajo los que crecen hierbas y matorrales, que han colonizado de forma espontánea depósitos mineros (I); 4. Grupos de individuos de *P. halepensis* que forman pequeños bosquetes con hierbas y matorrales, que han colonizado de forma espontánea depósitos mineros (G); 5. Bosque de *P. halepensis* afectado por residuos mineros (A); 6. Bosque de *P. halepensis* no afectado por residuos mineros (zona control, C). Además, se trabajará en una zona sin vegetación de un depósito minero, en parcelas anexas al ambiente S, donde se adicionará biochar (al 3% en peso) mezclado con RSU (al 1% en peso) como enmienda (ambiente B). Características del biochar: pH 1:5=9,9 $\pm$ 0,1; carbono orgánico oxidable (CO)=30,3 $\pm$ 1,4 g kg<sup>-1</sup>; nitrógeno total (NT)=7,04 $\pm$ <0,1 g kg<sup>-1</sup>; CaCO<sub>3</sub>=30,3 $\pm$ 2,9 g kg<sup>-1</sup>. Características del RSU: pH 1:5=7,43 $\pm$ 0,09; CO=206 $\pm$ 3 g kg<sup>-1</sup>; NT=22 $\pm$ 0,4 g kg<sup>-1</sup>; CaCO<sub>3</sub>=159 $\pm$ 3 g kg<sup>-1</sup>.

Se está realizando la caracterización de los suelos de cada ambiente, que incluirá, entre otros parámetros: granulometría; estructura; carbonato cálcico; contenido de metales y metaloides; identificación de invertebrados edáficos. Además, se estudiará la variabilidad estacional de: CO<sub>2</sub> desprendido del suelo por respiración microbiana; pH; salinidad (conductividad eléctrica, CE); CO; NT; metales y metaloides; descomposición de la materia orgánica (tea bag index) [6]; actividad alimentaria de la fauna del suelo (Bait Lamina Sticks, <http://www.terra-protecta.de/englisch/ks-info-en.htm>); actividades enzimáticas y carbono de la biomasa microbiana (CBM); grupos funcionales de microorganismos (Biolog EcoPlate®) [7].

### 2.1 Trabajo en cámaras climáticas (afecta a los objetivos 2 y 3)

Durante 4-5 meses se incubarán muestras de suelo de cada uno de los ambientes estudiados en campo en cámaras climáticas, simulando escenarios de cambio climático [5] basados en combinaciones de humedad edáfica (50% y 30% de la capacidad de retención hídrica del suelo), temperatura (28 y 32 °C) y CO<sub>2</sub> atmosférico (400 y 1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Durante las incubaciones se realizará el seguimiento y análisis de los mismos parámetros que durante el trabajo de campo. Además, se llevará a cabo la evaluación de la toxicidad al final de las incubaciones, utilizando invertebrados edáficos, semillas y plántulas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los suelos presentaron elevado contenido en arena (textura franco arenosa o arenosa franca). Se observaron distintos grados de desarrollo estructural en los suelos: desde empaquetamientos laminares sin estructura (S y B), hasta estructuras grumosas y angular blocosa (C), coincidiendo estas últimas con un mayor contenido de CBM (Tabla 1) en los ambientes con mayor colonización vegetal. En la zona sin vegetación (S) el pH fue de  $\approx 5,5$  y CaCO<sub>3</sub> <5 g kg<sup>-1</sup>. La adición de la enmienda elevó el pH a  $\approx 7,6$  y el contenido en CaCO<sub>3</sub> a  $\approx 9$  g kg<sup>-1</sup>. En el resto de suelos el pH fue  $\approx 7,5$  (Tabla 1) y el contenido en CaCO<sub>3</sub> entre 28 (P) y 149 (C) g kg<sup>-1</sup>. Los valores de salinidad (CE) y contenido en metales/metaloides totales fueron elevados en todos los ambientes, siendo menores en A y C, que a su vez mostraron valores más elevados de carbono orgánico total (COT) y NT que el resto de suelos (Tabla 1).

#### 4. CONCLUSIONES

Las características observadas en los suelos de cada uno de los ambientes estudiados en los depósitos mineros indican que pueden existir diferencias estructurales y funcionales entre ellos, con propiedades del suelo más próximas a las del bosque control en los ambientes con mayor colonización vegetal. La adición de biochar y RSU al suelo sin vegetación puede ser una práctica de manejo adecuada para mejorar sus propiedades, ya que indujo un efecto de dilución de los contaminantes, una elevación del pH y un aporte de materia orgánica.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por el Ministerio de Industria, Economía y Competitividad (CGL2016-80981-R) y por fondos FEDER.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] Dudka S., Adriano D.C. 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *J. Environ. Qual.* 26: 590-602.
- [2] COM. 2006. Thematic Strategy for Soil Protection 231.
- [3] González-Alcaraz M.N., van Gestel C.A.M. 2015. Climate change effects on enchytraeid performance in metal-polluted soils explained from changes in metal bioavailability and bioaccumulation. *Environmental Research.* 142: 177-184.
- [4] IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.* Cambridge University Press.
- [5] Párraga-Aguado I., Querejeta J.L., González-Alcaraz M.N., Jiménez-Cárceles F.J., Conesa H.M. 2014. Usefulness of pioneer vegetation for the phytomanagement of metal(loid)s enriched tailings: grasses vs. shrubs vs. trees. *J. Environ. Manag.* 133: 51-58.
- [6] Keuskamp J.A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M., Hefting M.M. 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution.*
- [7] Sofo A., Palese A.M., Casacchia T., Celano G., Ricciuti P., Curci M., Crecchio C., Xiloyannis C. 2010. Genetic, Functional, and Metabolic Responses of Soil Microbiota in a Sustainable Olive Orchard. *Soil Science.*

**Tabla 1.** Caracterización de los ambientes (medias  $\pm$  error estándar; n=4). pH y CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) en 1:2,5. COT ( $\text{g kg}^{-1}$ ); NT ( $\text{g kg}^{-1}$ ); CBM ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ); metal(oideos) totales ( $\text{g kg}^{-1}$ , excepto Fe en %).

Amb	pH	CE	COT	NT	CBM	Fe	Mn	Pb	Zn	As
S	5,52 $\pm$ 0,22	6,55 $\pm$ 1,37	2,82 $\pm$ 0,13	0,31 $\pm$ 0,08	2,67 $\pm$ 1,43	15,3 $\pm$ 0,3	1,83 $\pm$ 0,16	5,35 $\pm$ 0,37	8,60 $\pm$ 2,21	0,22 $\pm$ 0,03
P	7,41 $\pm$ 0,06	2,56 $\pm$ 0,02	5,66 $\pm$ 1,00	0,34 $\pm$ 0,06	128 $\pm$ 74	15,8 $\pm$ 0,3	3,25 $\pm$ 0,06	7,96 $\pm$ 0,23	17,9 $\pm$ 0,7	0,25 $\pm$ 0,02
I	7,32 $\pm$ 0,29	2,20 $\pm$ 0,10	13,3 $\pm$ 1,5	0,66 $\pm$ 0,09	134 $\pm$ 10	29,2 $\pm$ 1,3	9,63 $\pm$ 1,19	14,6 $\pm$ 0,8	12,2 $\pm$ 1,0	1,25 $\pm$ 0,17
G	7,69 $\pm$ 0,13	1,42 $\pm$ 0,29	12,7 $\pm$ 2,4	0,71 $\pm$ 0,06	170 $\pm$ 13	22,5 $\pm$ 0,4	10,8 $\pm$ 0,3	10,2 $\pm$ 0,2	13,2 $\pm$ 0,7	0,79 $\pm$ 0,02
A	7,97 $\pm$ 0,07	0,48 $\pm$ 0,09	47,6 $\pm$ 4,5	2,10 $\pm$ 0,15	304 $\pm$ 19	17,4 $\pm$ 0,6	7,44 $\pm$ 0,23	8,65 $\pm$ 0,15	9,23 $\pm$ 0,36	0,62 $\pm$ 0,03
C	7,16 $\pm$ 0,34	0,76 $\pm$ 0,06	107 $\pm$ 6	4,66 $\pm$ 0,08	1523 $\pm$ 520	2,7 $\pm$ 0,2	1,50 $\pm$ 0,25	1,34 $\pm$ 0,24	0,76 $\pm$ 0,07	0,07 $\pm$ 0,01
B	7,62 $\pm$ 0,07	3,92 $\pm$ 0,48	40,2 $\pm$ 9,4	0,55 $\pm$ 0,09	43 $\pm$ 20	12,3 $\pm$ 0,8	1,51 $\pm$ 0,11	4,10 $\pm$ 0,30	6,18 $\pm$ 1,17	0,17 $\pm$ 0,01