

Functional and structural soil regeneration in abandoned mine tailings from semiarid Mediterranean areas: relationships with spontaneous plant colonization

Regeneración funcional y estructural del suelo en depósitos mineros abandonados de ambientes mediterráneos semiáridos y su relación con la colonización vegetal espontánea

A. Peñalver-Alcalá^{1*}, J. Álvarez-Rogel¹, M.N. González-Alcaraz²

¹Departamento de Ingeniería Agronómica. Área de Edafología y Química Agrícola. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica-UPCT. Paseo Alfonso XIII, 48, Cartagena, 30203 Murcia. Spain

²Department of Biology & CESAM, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro. Portugal

*antonio.penalver@upct.es

Abstract

Terrestrial ecosystems degraded by mine waste with functional and structural characteristics deteriorated, can present stressful conditions to organisms, also to mean a transfer risk of potentially toxic compounds to environment. The aim of this study was to assess the soil development, structural and functional, associated to different spontaneous plant colonization stages related with ecosystem regeneration, in Mediterranean environments affected by mine waste. Structural (structure; pH; salinity; total organic carbon; total nitrogen; metals) and functional (microbial biomass carbon; β -glucosidase activity; functional groups of microorganisms study) soil parameters were evaluated in five degraded environments with different plant colonization stage, as well as, a control forest without pollution. Structural and functional differences between environments were observed, with soil properties and functional response of ecosystems closer to control forest in the environments with higher plant colonization.

Keywords: metallic contamination; biogeochemical cycles; ecosystem services; soil ecology.

Resumen

Los ecosistemas terrestres degradados por residuos mineros, cuyas características funcionales y estructurales están deterioradas, pueden presentar condiciones estresantes para los organismos vivos, además de suponer un riesgo de transferencia de compuestos potencialmente tóxicos al medio. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desarrollo edáfico, estructural y funcional, del suelo asociado a distintas etapas de colonización vegetal espontánea, relacionados con la regeneración del ecosistema, en ambientes Mediterráneos afectados por residuos mineros. Se evaluaron diversos parámetros estructurales (estructura; pH; salinidad; carbono orgánico total; nitrógeno total; metales) y funcionales (carbono de la biomasa microbiana; la actividad β -glucosidasa; el estudio de grupos funcionales de microorganismos) del suelo de cinco ambientes degradados con diferente grado de colonización vegetal, además de en un bosque control sin contaminación. Se observó que existen diferencias estructurales y funcionales entre

ambientes, con propiedades del suelo y respuestas funcionales de los ecosistemas más próximas a las del bosque control en los ambientes con mayor colonización vegetal.

Palabras clave: contaminación metálica; ciclos biogeoquímicos; servicios ecosistémicos; ecología de suelos.

1. INTRODUCCIÓN

La minería metálica es una de las actividades que causa mayores impactos ambientales, ya que destruye el paisaje y genera residuos potencialmente peligrosos por contener elevados contenidos en metal(oid)es. En muchas ocasiones estos residuos se almacenan en balsas o depósitos que permanecen “in situ” en las antiguas zonas mineras tras el cese de la actividad, suponiendo un foco potencial de dispersión de sustancias potencialmente tóxicas [1]. Además, estos depósitos mineros abandonados presentan condiciones desfavorables (p.e. pHs extremos, elevada salinidad, elevadas concentraciones de metales, escasez de nutrientes, etc.) para la biota, lo que dificulta la recuperación del ecosistema [2]. Dicha recuperación implica una regeneración funcional (p.e. ciclos biogeoquímicos y propiedades relacionadas) y estructural (tipos de organismos/microorganismos) del sistema suelo-planta que favorezca la provisión de servicios ecosistémicos (p.e. retención de contaminantes, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, etc.). Trabajos recientes han observado la mejora de las propiedades edáficas en depósitos mineros abandonados colonizados espontáneamente por la vegetación [p.e. 3]. 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 del presente trabajo fue profundizar en el conocimiento funcional (propiedades físicas y biogeoquímicas incluyendo microbiología y mineralización de materia orgánica) de los nichos edáficos en ambientes Mediterráneos afectados por residuos de minería metálica y su relación con la colonización vegetal, para contribuir a comprender el papel del suelo como soporte de la regeneración natural espontánea del ecosistema.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en el Distrito Minero de La Unión-Cartagena, Murcia, SE de España, con un clima Mediterráneo semiárido (precipitaciones medias anuales ~200-300 mm, temperatura media anual ~17°C, y tasas medias anuales de evapotranspiración ~860mm). Se establecieron parcelas de 4m² (n=4) para el estudio de seis ambientes. Cuatro de ellos corresponden a zonas espontáneamente colonizadas por la vegetación dentro de dos depósitos mineros abandonados hace unos 20-25 años y los otros dos a zonas fuera de dichos depósitos. En los depósitos se estudiaron: 1. Zonas sin vegetación (S); 2. Individuos aislados de *Pinus halepensis* (P); 3. Individuos aislados de *P. halepensis* bajo los que crecen hierbas y matorrales (I); y 4. Grupos de individuos de *P. halepensis* que forman pequeños bosquetes con hierbas y matorrales (G). Fuera de depósitos mineros se estudiaron: 5. Bosque de *P. halepensis* afectado por residuos mineros (A); 6. Bosque de *P. halepensis* no afectado por residuos mineros (zona control, C).

En cada uno de los ambientes se identificaron las plantas presentes y se determinó el índice de diversidad de Shannon-Weaver como indicador de la riqueza de especies vegetales.

En los suelos de cada ambiente se analizaron los siguientes parámetros: estructura [4]; pH y salinidad (conductividad eléctrica, CE) en extracto 1:2,5; carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total (NT) (analizador TOC-VCSH Shimadzu); metales extraíbles con acetato amónico 1N, considerados metales biodisponibles; metales totales (p.e. Pb, Zn) (fluorescencia de rayos-X en un analizador Bruker S4 Pioneer; carbono de la biomasa microbiana (CBM) [5]; actividad β-glucosidasa [6]; y actividad metabólica de los microorganismos del suelo (Biolog EcoPlate®) [7].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de los depósitos mineros abandonados la riqueza de especies vegetales aumentó de forma gradual en el sentido P>I>G (Fig. 1), indicando un gradiente de menor a mayor complejidad estructural en la cubierta vegetal colonizadora. Fuera de los depósitos, se obtuvo mayor diversidad vegetal en A que en C. El hecho de que en los ambientes afectados por los residuos mineros hubiera mayor diversidad de especies puede deberse a que la alteración favorece a las especies oportunistas, que posteriormente tienden a desaparecer cuando el ecosistema se estabiliza.

Los contenidos de metal(oid)es totales de los suelos dentro de los depósitos mineros fueron muy similares entre sí y superiores a los suelos de fuera de los depósitos. Por ejemplo, para Pb y Zn (g kg^{-1}): **S:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 5,3 \pm 0,4$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 8,6 \pm 2,2$; **P:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 7,9 \pm 0,2$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 18 \pm 0,7$; **I:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 14,0 \pm 0,8$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 12 \pm 1$; **4. G:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 10,0 \pm 0,2$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 13,0 \pm 0,7$; **A:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 8,6 \pm 0,1$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 9,2 \pm 0,4$; **C:** $\text{Pb}_{\text{tot}} 1,3 \pm 0,2$; $\text{Zn}_{\text{tot}} 0,8 \pm 0,07$. Esto apunta a que la concentración total de metales no debe ser un factor decisivo para la diversidad vegetal dentro de los depósitos.

La colonización vegetal indujo el desarrollo edáfico, como muestra el paso progresivo de ausencia de estructura en S y de estructura migajosa en P a estructuras grumosas en I y G (Tabla 1). Una mayor diversidad vegetal estuvo también asociada con una menor salinidad, alcanzándose en el ambiente G valores de CE similares los de A y C (Figura 1; Tabla 1). En cuanto al Pb y Zn extraídos con acetato amónico (Tabla 1), los ambientes S y P tuvieron concentraciones claramente superiores al resto. Sin embargo, en I y G fueron similares y muy parecidas a los ambientes de fuera de los pantanos (A y C) (Tabla 1). A lo largo del gradiente P-I-G hubo un incremento de COT, NT, CBM, actividad β -glucosidasa y de la actividad metabólica de los microorganismos edáficos, aunque aún quedaron por debajo de los valores obtenidos en los ambientes A y C (Figura 1; Tabla 1). Estos resultados apuntan a que la evolución de la estructura del suelo, ligada al aumento de materia orgánica y actividad microbiana, favorecen el lavado de sales en el horizonte superficial del suelo y la disminución de la concentración de metales biodisponibles y eso, a su vez, puede favorecer el desarrollo de la vegetación y la aparición de nuevas especies generando una mayor diversidad.

4. CONCLUSIONES

Los resultados apuntan a que la colonización vegetal espontánea de los depósitos de residuos mineros de la Sierra de La Unión-Cartagena puede contribuir de forma efectiva a restaurar la diversidad vegetal y la funcionalidad del suelo, así como a disminuir los riesgos por la presencia de metal(oid)es.

5. AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Ministerio de Industria, Economía y Competitividad (CGL2016-80981-R) y por fondos FEDER y por Campus Mare Nostrum de Excelencia Internacional a través de su Ayuda para la realización de estancias externas de jóvenes investigadores asociados a redes y nodos CMN durante el curso académico 2018/2019.

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] Wahl, J.J., Theron, P.D., Maboeta, M.S. 2012. Soil mesofauna as bioindicators to assess environmental disturbance at a platinum mine in South Africa. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 86: 250-260

[3] Párraga-Aguado I., Querejeta J.I., 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. Manage.* 133: 51-58.

[4] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2006. *Guidelines for Soil Description*. fourth ed. (Rome).

[5] Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. 1987. An Extraction Method for Measuring Soil Microbial Biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.

[6] Jiménez de Ridder P., Bonmatí Pont M. 2003. Determinación de la actividad β -glucosidasa del suelo. In: *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*, 1st ed, C. García, F. Gil, T. Hernández, C. Trasar, eds. (Ediciones Mundi-Prensa, Spain). Pp.169-183.

[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 Sci.* 175: 81-88.

Tabla 1. Parámetros edáficos por ambiente (Am) (medias \pm error estándar; n=4). pH y CE (dS m⁻¹) en extracto 1:2,5. Zn_{Ac} y Pb_{Ac}: Zn y Pb extraídos con acetato amónico (mg kg⁻¹). COT (g kg⁻¹); NT (g kg⁻¹); CBM (mg C kg⁻¹); β -gluc: actividad β -glucosidasa (μ mol g⁻¹ h⁻¹). n.d.=no detectado.

Am	Estructura	pH	CE	Zn _{Ac}	Pb _{Ac}	COT	NT	CBM	β -gluc
S	Sin estructura con tendencia a laminaciones	6,4 \pm 0,4	6,3 \pm 1,3	238 \pm 46	452 \pm 113	2,8 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	11,5 \pm 2,3	n.d.
P	Migajosa (>50 mm)	7,6 \pm 0,1	2,3 \pm 0,1	500 \pm 101	191 \pm 19	5,7 \pm 1,0	0,3 \pm 0,1	132 \pm 16	0,4 \pm 0,1
I	Laminar con tendencia grumosa (20-50 mm)	7,5 \pm 0,3	2,0 \pm 0,3	67 \pm 11	16 \pm 4	13,3 \pm 1,5	0,7 \pm 0,1	263 \pm 49	1,5 \pm 0,3
G	Laminar con tendencia grumosa (>50 mm)	7,9 \pm 0,1	1,3 \pm 0,4	139 \pm 28	9 \pm 1	12,7 \pm 2,4	0,7 \pm 0,1	292 \pm 20	1,0 \pm 0,3
A	Grumosa (20-50 mm) y granular (>10 mm)	7,8 \pm 0,2	0,5 \pm 0,0	142 \pm 11	18 \pm 1	47,6 \pm 4,5	2,1 \pm 0,2	597 \pm 55	2,3 \pm 0,3
C	Grumosa (20-50 mm) y angular blocosa (10-20 mm)	7,5 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	24 \pm 4	15 \pm 4	107 \pm 6	4,7 \pm 0,1	1489 \pm 248	2,1 \pm 0,2

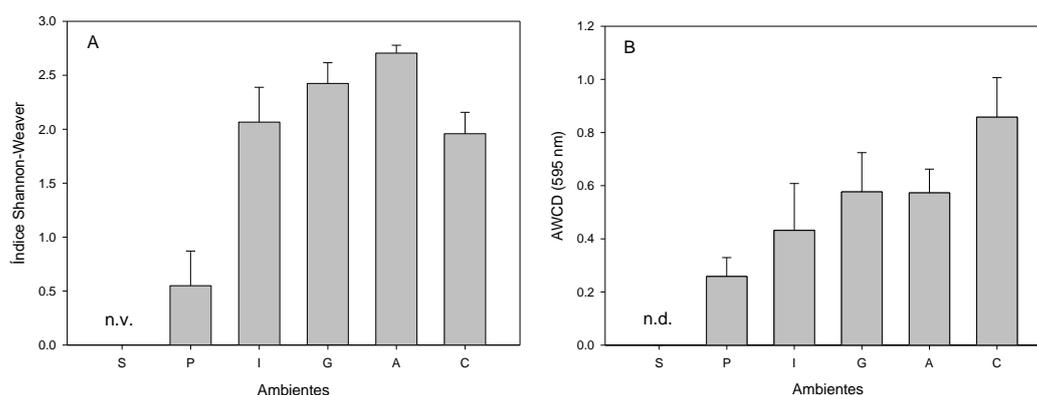


Figura 1. A: Índice de Shannon-Weaver (medias \pm error estándar; n=4). n.v.= no vegetación; B: Actividad metabólica de microorganismos del suelo (AWCD) (medias \pm error estándar; n=4) n.d.=no detectado.