

# Restauración de estériles de mina con enmiendas orgánicas y especies vegetales: Impacto sobre las propiedades físicas del suelo

## Restoration of mine tailings with organic amendments and plant species: Impact on the physical properties of the soil

Carmela Monterroso<sup>1,\*</sup>, Remigio Paradelo<sup>1</sup>, Marc Romero<sup>1</sup>, Aida Guerra<sup>1</sup>, Vanesa Álvarez<sup>2</sup>,  
Ángeles Prieto<sup>3</sup>, Beatriz Rodríguez<sup>3</sup> & Petra Kidd<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CRETUS, Dep. Edafología e Química Agrícola, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida, 15782-Santiago, España

<sup>2</sup> Dep. Producción Vegetal, Universidade de Santiago de Compostela, Rúa Benigno Ledo, 27002-Lugo, España

<sup>3</sup> Misión Biológica de Galicia-Sede Santiago de Compostela, CSIC, Avda. de Vigo s/n, 15705-Santiago, España

(\*E-mail: carmela.monterroso@usc.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28745>

### RESUMEN

El uso de enmiendas orgánicas formuladas a partir de residuos en la restauración de suelos contaminados es una práctica habitual que permite, además de valorizar residuos, mejorar las condiciones de desarrollo vegetal y reincorporar nutrientes a los ciclos biogeoquímicos naturales. No obstante, hay pocos ensayos de campo que permitan evaluar el efecto a largo plazo de esta práctica sobre las propiedades del suelo. El objetivo de este trabajo es hacer un seguimiento de la evolución de las propiedades físicas del suelo en estériles de mina restaurados mediante la aplicación de enmiendas orgánicas en combinación con la plantación de distintas especies vegetales (fitogestión), *Salix viminalis* o *Agrostis capillaris*. Las condiciones físicas del suelo eran muy desfavorables para el crecimiento vegetal en los suelos de mina sin tratar, que presentaban texturas gruesas, elevada densidad, baja porosidad y baja capacidad de almacenamiento de agua. Las técnicas de fitogestión mejoraron la agregación, redujeron la compactación y la densidad del suelo, y aumentaron su porosidad y la capacidad de retención de agua, recuperando características similares los suelos naturales del entorno.

**Palabras clave:** restauración de suelos de mina, fitogestión, propiedades físicas del suelo, enmiendas orgánicas

### ABSTRACT

The use of organic residue - based amendments for the restoration of polluted soils is a common practice that allows to improving soil properties and reincorporating plant nutrients to the natural biogeochemical cycles, in addition to waste valorizing. However, there are few field trials evaluating the long-term effect of this practice on soil properties. The objective of this work is to monitor the evolution of soil physical properties in mine soils restored with organic amendments in combination with two plant species (phytomanagement), *Salix viminalis* or *Agrostis capillaris*. In the non-treated soil the physical properties were very desfavourable for plant growth, with coarse textures, high density, low porosity and low capacity of water retention. Phytomanagement techniques improved aggregation, reduced both soil compaction and density, and increased both porosity and water retention capacity, recovering characteristics similar to the surrounding natural soils.

**Keywords:** minesoil restoration, phytogestion, soil physical properties, organic amendments.

## INTRODUCCIÓN

El uso de diferentes tipos de enmiendas para mejorar las propiedades físicas, químicas o biológicas de un suelo es una práctica habitual en la restauración de suelos degradados. Como ejemplo frecuente de materiales aplicados se encuentra el compost orgánico obtenido a partir de lodos de depuradora de aguas residuales, residuos sólidos urbanos o estiércol. El compostaje estabiliza los residuos orgánicos y reduce su contenido en materia orgánica disuelta (DOM), que de otra forma podría formar complejos metálicos y provocar su lixiviación a través del suelo (Tandy *et al.*, 2009). Estos mismos residuos también pueden ser estabilizados mediante la incorporación de materiales de residuos inorgánicos, como los procedentes de construcción o de otros procesos industriales (Macías *et al.*, 2007).

Conjuntamente con las enmiendas, la fitogestión permite, mediante plantación de diferentes especies vegetales, la rehabilitación del suelo gracias al aporte de nutrientes y materia orgánica, y a su capacidad para reducir la toxicidad de metales contaminantes. En suelos de mina, caracterizados por una elevada acidez, escasez de nutrientes y materia orgánica, baja capacidad de retención de agua y una alta concentración de elementos traza (Wong, 2003), existen incluso determinadas plantas capaces de crecer y crear una cubierta vegetal estable. Como ejemplos de estas especies se encuentran herbáceas, como *Poa pratensis*, *Agrostis capillaris*, *Festuca arundinacea*, *Festuca rubra* y *Festuca ovina*, o leñosas como *Salix* o *Populus* (Pierzynski *et al.*, 2002).

Existe un número limitado de estudios de evaluación de la viabilidad y eficacia de las técnicas de fitogestión, por lo que, para conseguir su aplicación a gran escala, es evidente la necesidad de realizar ensayos de campo a largo plazo (Kidd *et al.*, 2015).

En el presente trabajo se estudia la evolución de las propiedades físicas del suelo, durante 10 años, en una escombrera de estériles de mina restaurada mediante la aplicación de distintas enmiendas orgánicas en combinación con la implantación de una cobertura vegetal (*Agrostis capillaris* o *Salix viminalis*).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Lugar de estudio*

El estudio se realizó en la antigua mina de Cu del NW de España, que forma parte de la red Phytosudoe de emplazamientos fitogestionados (Proyecto Phy2SUDOE, SOE4/P5/E1021). La escombrera de la mina cubre un área de alrededor de 550 ha y el substrato geológico es anfibolita con presencia significativa de sulfuros metálicos (pirita, pirrotita, y calcopirita). Los suelos de la mina, clasificados como *Spolic Technosoil* (IUSS Working Group WRB, 2006), son muy pedregosos, compactos y extremadamente ácidos, lo que imposibilita el establecimiento vegetal. El clima de la región es Atlántico con una precipitación media anual de 1900 mm y una temperatura media de 12,6 °C (Touceda-González *et al.*, 2017).

### *Diseño experimental*

En 2011 se establecieron ensayos de fitoestabilización asistida con enmiendas orgánicas sobre la escombrera carente de vegetación (Touceda-González *et al.*, 2017). El terreno se dividió en tres bloques, uno para cada tratamiento (PC, PT1 y PT2). La enmienda denominada PC fue elaborada a partir de lodos de depuradora compostados; la PT1 a partir de lodos de depuradora estabilizados con ceniza de biomasa y oxihidróxidos de Fe de baja cristalinidad; y la PT2 por lodos de depuradora estabilizados con ceniza de biomasa y lodos de alúmina. Cada bloque se dividió, en parcelas de 5 x 5 m, en las que se sembró por triplicado *Agrostis capillaris* o *Salix viminalis*. Como referencia se dejaron parcelas enmendadas sin plantar (UNP) y parcelas sin tratar y sin plantar (UNT). Las parcelas se dejaron evolucionar sin tratamientos posteriores. Las enmiendas se obtuvieron de la empresa Tratamientos Ecológicos de Noroeste (TEN S.L.) y se aplicaron a razón de 25 t ha<sup>-1</sup>.

En cada parcela se tomaron muestras de suelo (20 cm superficiales) después de 1, 6 y 10 años a partir de la aplicación de las enmiendas y de la plantación de las especies vegetales.

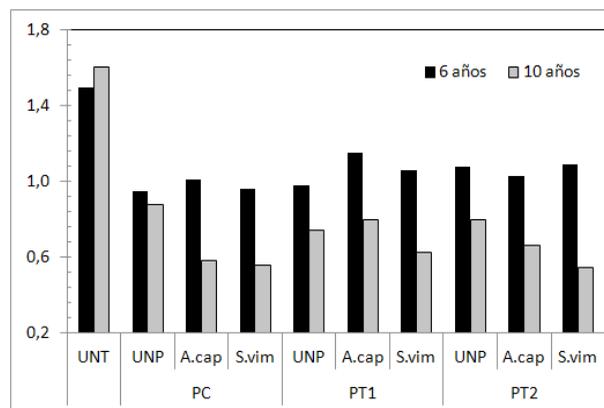
## Métodos de análisis

Se realizaron por triplicado las determinaciones de densidad aparente, porosidad, capacidad de retención de agua, estabilidad de agregados, análisis granulométrico y textura del suelo. La densidad aparente y la porosidad se determinaron mediante la recuperación *in situ* de muestras de suelo inalterado, en cilindros de volumen conocido (100 cm<sup>3</sup>). La capacidad de retención de agua se determinó gravimétricamente después del encharcamiento, drenaje y secado de un volumen conocido de suelo inalterado, siguiendo el protocolo propuesto por (Zhang *et al.*, 2006). La estabilidad de los agregados se determinó en laboratorio de acuerdo con el método de tamizado en húmedo descrito por (Kemper *et al.*, 1986), que evalúa la estabilidad de los agregados de tamaño 1-2 mm. El análisis granulométrico se realizó por tamizado y sedimentación mediante el método de la pipeta y la clase textural se estimó según la clasificación del USDA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La textura del suelo fue predominantemente franco arenosa en todas las parcelas de ensayo (tratadas y no tratadas). En los suelos sin tratar, la densidad aparente fue muy elevada y limitante para un adecuado desarrollo vegetal (1,4-1,6 g/cm<sup>3</sup>), pero la aplicación de enmienda orgánica y el desarrollo vegetal tuvieron un impacto muy positivo sobre este parámetro (Figura 1). Después de 6 años, en las parcelas tratadas la densidad se redujo a 0,95-1,15 g/cm<sup>3</sup> (valores medios), y además, se observó una reducción posterior después de 10 años (valores medios de 0,60-0,88 g/cm<sup>3</sup>), encontrándose los valores más bajos en las parcelas enmendadas y plantadas con *S. viminialis*. Esto se reflejó también en un importante incremento de la porosidad del suelo, llegando a alcanzar con algunos tratamientos valores propios de los suelos naturales de la zona.

De forma paralela, las enmiendas edáficas y la vegetación tuvieron un impacto positivo sobre el comportamiento hídrico del suelo, aumentando la capacidad máxima de almacenamiento de agua (hasta valores medios de 0,55 a 0,68 gcm<sup>-3</sup>). La enmienda hizo aumentar la fracción de agua capilar, y un incremento adicional se observó en las parcelas plantadas. Por el contrario, la fracción de agua



**Figura 1** - Densidad aparente del suelo (valores medios, g/cm<sup>3</sup>) después de 6 y 10 años del establecimiento de las parcelas de ensayo. UNT=parcela no tratada; UNP=parcela tratada, no plantada; PC, PT1, PT2 = parcelas tratadas con enmiendas edáficas.

gravitacional descendió en los suelos plantados (con respecto a los suelos enmendados no plantados) y este descenso fue consistentemente más marcado en los suelos con *S. viminialis* en las tres enmiendas. Este comportamiento refleja un efecto positivo de la vegetación, especialmente con la incorporación de *S. viminialis*, sobre la porosidad efectiva del suelo.

Los suelos sin tratar presentaron un 45% de agregados estables. Este porcentaje aumentó hasta valores medios en torno al 70% tras la aplicación de las enmiendas orgánicas y la vegetación produjo un incremento adicional de hasta un 15%. La estabilidad de los agregados hace referencia a su resistencia a la ruptura cuando son sometidos a fuerzas externas. Afecta al movimiento de agua, la erosión y crecimiento de las raíces de las plantas y, por tanto, determina la sensibilidad del suelo frente al sellado y la capacidad para almacenar carbono a través de la protección física de las moléculas orgánicas.

Los factores que más afectan a la estabilidad de los agregados son: la cantidad/tipo de materia orgánica, el contenido en óx(hidro)idos de hierro, las poblaciones microbianas y el crecimiento de micelios fúngicos (e.g., Amézketa, 1999). Además, la formación de complejos C-Al (órgano-alumínicos), puede ser un mecanismo importante de estabilización de la MOS en suelos ácidos (Calvo de Anta *et al.*, 2020). Todos estos factores justificarían el incremento de estabilidad inducido con el aporte de las enmiendas y el desarrollo vegetal observado.

## CONCLUSIONES

Las condiciones físicas del suelo eran muy negativas en los suelos de mina sin tratar, con texturas gruesas, elevada densidad, baja porosidad y baja capacidad de almacenamiento de agua. La combinación de aplicación de enmiendas orgánicas y desarrollo de una cubierta vegetal (distintos patrones de cultivo) generaron un efecto muy positivo sobre las condiciones físicas del suelo. El uso de enmiendas orgánicas favoreció la formación de agregados estables y aumentó la porosidad y la capacidad de retención de agua, permitiendo el establecimiento de los cultivos. Una mejora adicional fue obtenida tras el desarrollo vegetal (especialmente con el

cultivo de *S. viminalis*), probablemente gracias al crecimiento de las raíces y un aporte extra de biomasa. En conjunto, las técnicas de fitogestión mejoraron la agregación, redujeron la compactación y la densidad del suelo, y aumentaron su porosidad y la capacidad de retención de agua, recuperando las características de los suelos naturales del entorno.

## AGRADECIMENTOS

Financiado con fondos FEDER, Programa Intereg-SUDOE (Proyectos PhytoSUDOE-SOE1/P5/E0189 y Phy2SUDOE-SOE4/P5/E1021).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amézketa, E. (1999) - Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 14, n. 2-3, p. 83-151. [https://doi.org/10.1300/J064v14n02\\_08](https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08)
- Calvo de Anta, R.C.; Luís, E.; Febrero-Bande, M.; Galiñanes, J.; Macías, F.; Ortíz, R. & Casás, F. (2020) - Soil organic carbon in peninsular Spain: influence of environmental factors and spatial distribution. *Geoderma*, vol. 370, art. 114365. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114365>
- IUSS Working Group WRB (2006) - *IUSS World Reference Base for Soil Resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Kemper, W.; Rosenau, R. & Nelson, S. (1986) - Gas Displacement and Aggregate Stability of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 49, n. 1, p. 25-28. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900010004x>
- Kidd, P.; Mench, M.; Alvarez-Lopez, V.; Bert, V.; Dimitriou, I.; Friesl-Hanl, W.; Herzig, R.; Janssen J.O.; Müller, I.; Neu, S.; Renella, G.; Ruttens, A.; Vangonsveld, J. & Puschenreiter, M. (2015) - Agronomic practices for improving gentle remediation of trace element-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 17, n. 11, p. 1005-1037. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.1003788>
- Macías, F.; Bao, M.; Macías-García, F. & Camps Arbestain, M. (2007) - Valorización biogeoquímica de residuos por medio de la elaboración de Tecnosoles con diferentes aplicaciones ambientales. *Agua & Residuos*, vol. 5, p. 12-25.
- Pierzynski, G.M.; Schnoor, J.L.; Youngman, A.; Licht, L. & Erickson, L.E. (2002) - Poplar trees for phytostabilization of abandoned Zinc-Lead smelter. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, vol. 6, n. 3, p. 177-183.
- Tandy, S.; Healey, J.R.; Nason, M.A.; Williamson, J.C. & Jones, J.L. (2009) - Remediation of metal polluted mine soil with compost: Co-composting versus incorporation. *Environmental Pollution*, vol. 157, n. 2, p. 690-697. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.08.006>
- Touceda-González, M.; Álvarez-López, V.; Prieto-Fernández, Á.; Rodríguez-Garrido, B.; Trasar-Cepeda, C.; Mench, M.; Puschenreiter, M.; Quintela-Sabarís, C.; Macías-García, F. & Kidd, P. (2017) - Aided phytostabilisation reduces metal toxicity, improves soil fertility and enhances microbial activity in Cu-rich mine tailings. *Journal of Environmental Management*, vol. 186, part 2, p. 301-313. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.019>
- Wong, M.H. (2003) - Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, vol. 50, n. 6, p. 775-780. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1)
- Zhang, Y.; Liu, S. & Ma, J. (2006) - Water-holding capacity of ground covers and soils in alpine and sub-alpine shrubs in western Sichuan, China. *Acta Ecologica Sinica*, vol. 26, n. 9, p. 2775-2781. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(06\)60041-3](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(06)60041-3)