



EXPLORACIÓN DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES EN SISTEMAS DE REHABILITACIÓN DE ESCOMBRERAS DE SULFUROS

Santos, E.S.^{1*}; Arán, D.^{2,3}; Balseiro-Romero, M.^{2,3}; Abreu, M.M.¹; Macías, F.^{2,3}

¹Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Centre (LEAF), Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

²Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, España

³Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, España

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivos: i) evaluar el desarrollo de plantas aromáticas y medicinales sobre sistemas de rehabilitación de escombreras de sulfuros basados en la aplicación superficial de Tecnosoles; ii) identificar los compuestos de valor añadido existentes en los bioextractos vegetales. Fueron testados, en condiciones controladas, dos sistemas: A) Tecnosol espólico, barrera de residuos alcalinos y escombrera de sulfuros (mina de São Domingos); B) Tecnosol ándico y escombrera de sulfuros (mina Fé). En el Tecnosol espólico se sembró *Cistus ladanifer* y *Lavandula pedunculata* mientras que en el Tecnosol ándico se plantó *Rosmarinus officinalis*. Durante el ensayo fueron evaluados parámetros asociados al desarrollo de las plantas (germinación, altura, cantidad de biomasa producida). La composición orgánica de los bioextractos de *C. ladanifer* y *L. pedunculata* fue determinada.

El suceso germinativo o tasa de sobrevivencia de las plantas fue significativa en los Tecnosoles. Los Tecnosoles usados en ambos los ensayos soportaron un crecimiento significativo de las plantas a medio-largo plazo, las cuales no presentaron cualquier señal visible de fitotoxicidad o deficiencia nutricional. Varios compuestos con interés económico para la industria farmacéutica/cosmética fueron identificados en los bioextractos de *L. pedunculata* y *C. ladanifer*. El aumento de la evapotranspiración por la cobertura vegetal y el efecto de los Tecnosoles (con o sin barrera alcalinizante) disminuyeron la oxidación de los sulfuros de la escombrera y, consecuentemente, la generación de drenaje ácido y dispersión de elementos potencialmente contaminantes. Los sistemas de rehabilitación son eficientes contribuyendo a que áreas improductivas y contaminadas sean recuperadas e exploradas económicamente.

PALABRAS CLAVE

Tecnosol; Productividad; Bioextractos



XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, la explotación de Ag, Au, Cu, U, entre otros elementos, es una actividad importante para el desarrollo económico y social. Muchas áreas mineras de la Península Ibérica, así como por todo el Mundo, tienen significativa peligrosidad ambiental que está asociada a los grandes volúmenes de escombreras que además de presentar características físico-químicas extremas (ej. pH ácido y altas concentraciones totales de elementos potencialmente tóxicos) generan drenaje ácido debido a que los residuos están compuestos por fases sólidas reactivas, especialmente sulfuros polimetálicos (ej. Abreu et al., 2010; Arán et al., 2016; Matos y Martins, 2006; Monterroso et al., 1998; Sánchez-España et al., 2005). Este lixiviado, además de tener contaminación multielementar, conduce a la disolución de fases sólidas de suelos u otras escombreras promoviendo la dispersión de los contaminantes para áreas adyacentes que, consecuentemente, afectan negativamente la supervivencia y el desarrollo de la biodiversidad y de las funciones ecológicas (Abreu et al., 2010; Arán et al., 2016; Sánchez-España et al., 2005; Santos et al., 2016a). Así, es nítida la necesidad de recuperación de este tipo de escombrera.

Teniendo en cuenta las características de las escombreras de sulfuros, la estrategia de rehabilitación habitual diseñada implica su cubierta. Usualmente la cubierta se hace con geotextiles o materiales similares lo que encarece el proceso de rehabilitación, puede no ser efectivo a largo plazo y necesita de la aplicación de una camada superficial para el soporte de vegetación.

El aislamiento de los materiales ricos en sulfuros con una capa considerable de Tecnosol o de materiales alcalinos tiene demostrado una ventaja clara al retardar la generación de drenaje de mina y mejorar la calidad química de los lixiviados (Arán et al., 2016; Asensio et al., 2013; Monterroso et al., 1998; Pérez-López et al., 2007; Santos et al., 2016a). Sin embargo, sólo la aplicación de algunos Tecnosoles puede contribuir para el establecimiento de una cobertura vegetal a largo plazo que además de estimular la actividad biológica del suelo puede reducir la lixiviación de los materiales reactivos. De hecho, el uso combinado de Tecnosoles con el desarrollo de una cobertura vegetal acelera y asegura la sostenibilidad a largo plazo de los procesos de recuperación física, química y biológica de las áreas contaminadas, mediante la complementariedad de los componentes (Santos et al., 2014). Sin embargo, hoy en día, la implementación de un proceso de rehabilitación tiene que incluir no sólo aspectos de mejoría medioambiental, sino también un enfoque económico. Esto puede ser conseguido con el uso de residuos orgánicos/inorgánicos, sin cualquier valor económico o valoración, en la elaboración de los Tecnosoles y de plantas tolerantes autóctonas con valor comercial debido a sus propiedades medicinales y aromáticas, uso como leña, etc...



XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la
Ciencia del Suelo

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



Este estudio tuvo como objetivos: i) evaluar el desarrollo de plantas aromáticas y medicinales sobre sistemas de rehabilitación de escombreras de sulfuros basados en la aplicación superficial de Tecnosoles; ii) identificar los compuestos de valor añadido existentes en los bioextractos vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras compuestas de escombrera rica en sulfuros fueron recogidas en las minas de São Domingos (SE de Portugal) y Fé (W de España). Ambas las escombreras presentan valores de pH y fertilidad muy bajos (Tabla 1) y elevadas concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (g/kg; São Domingos – Al: 42,2; As: 1,0; Cu: 2,0; Pb: 8,7; S: 62,8; Zn: 0,9; Fé – Al: 45,7; As, Cu o Pb: $\approx 0,02$; Mn: 1,3; S: 3,0; Zn: 0,2). Para la elaboración de los Tecnosoles fueron usados varios residuos agro-industriales (ej. escombrera de *gossan*, biomasa de diversos cultivos de bayas, residuo resultante de la destilación de un licor regional, entre otros) sin valorización o destino económicamente rentable y que existen en grandes cantidades disponibles. Las características de las escombreras de sulfuros y Tecnosoles usados están indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características químicas de las escombreras ricas en sulfuros y Tecnosoles usados en los ensayos (media \pm DE; $n=3$).

	Sistema A		Sistema B	
	Esc. Sulfuros Mina de São Domingos	Tecnosol espólico	Esc. Sulfuros Mina Fé	Tecnosol ándico
pH (H ₂ O)	1,9 \pm 0,04	5,8 \pm 0,2	4,3 \pm 0,01	7,7 \pm 0,01
CE (mS/cm)	10,0 \pm 0,1	0,7 \pm 0,4	—	—
C _{total} (g/kg)	165,3 \pm 26,0	12,7 \pm 2,0*	0,8 \pm 0,1	48,4 \pm 2,3
N _{Tot} (g/kg)	2,8 \pm 0,3	0,5 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	2,2 \pm 0,4
P _{Ext} (mg/kg)	<17,4	162,6 \pm 84,1	1,0 \pm 0,1	97,9 \pm 1,2

CE: conductividad eléctrica; *corresponde a C orgánico

Fueron testados dos sistemas de rehabilitación. El sistema A se constituyó por una capa superficial de Tecnosol espólico (≈ 20 cm), en el cual se sembró 0,5 g/maceta de *Lavandula pedunculata* (Mill.) Cav. o *Cistus ladanifer* L. (semillas pre-tratadas 100 °C durante 30 min; Corral et al., 1990), y una barrera de residuos alcalinos (≈ 4 cm de



XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



cenizas de biomasa + grava de piedra caliza) que recubrían los materiales ricos en sulfuros de la mina de São Domingos (≈ 6 cm). En el sistema B, los materiales ricos en sulfuros de la mina Fé (≈ 20 cm) sólo se recubrieron con capa superficial de Tecnosol ándico (≈ 20 cm) donde se plantó *Rosmarinus officinalis* L. ($n=3$ por maceta). Para evaluar la eficiencia de los Tecnosoles se establecieron controles compuestos únicamente por materiales la escombrera. Todas las macetas se mantuvieron a 70 % de la capacidad máxima de retención de agua y bajo condiciones controladas en invernadero.

Durante el ensayo fueron evaluados parámetros asociados al desarrollo de las especies vegetales (germinación, altura de las plantas, biomasa). Al final de un y tres años de crecimiento de la *L. pedunculata* y de *C. ladanifer*, respectivamente, la parte aérea de las plantas fue recogida, lavada con agua destilada, secada a 40 °C, homogeneizada y molida finamente. Estas muestras fueron usadas para la obtención de los bioextractos a través de una extracción con agua (*L. pedunculata*) o hexano (*C. ladanifer*) en un extractor acelerado de solventes. En estos bioextractos se determinó la composición orgánica por GC-MS (Santos et al., 2016b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Tecnosoles usados en ambos los ensayos soportaron el desarrollo de las especies vegetales a medio-largo plazo. Mismo con más de 90 % de materiales de otro tipo de escombrera existente en la mina de São Domingos (*gossan*), el Tecnosol elaborado para el sistema A presentó estructura y características químicas que estimularon la germinación (*L. pedunculata*: 3-18 %; *C. ladanifer*: 5–11 %) y crecimiento de las plantas. De hecho, la germinación de ambas las especies en el control (sólo escombrera de *gossan*) fueron inferiores a 3 %, siendo que las plántulas murieron ≈ 40 días después de su siembra (altura <4 cm). Las plantas de *C. ladanifer* después de tres años de crecimiento tuvieron alturas medias de 80 cm, aunque algunas plantas alcanzaron los 127 cm, mientras las de *L. pedunculata* alcanzaron una altura media de 37 cm después de un año. Para los mismos períodos de crecimiento, fueron obtenidas 76,4 y 52,2 g de peso fresco de *C. ladanifer* y *L. pedunculata*, respectivamente, lo que corresponde a 6,7 y 4,6 ton en peso seco/ha.

Los bioextractos vegetales obtenidos de ambas las especies presentaron varios compuestos con interés para la cosmética, perfumería y/o farmacéutica. Por ejemplo, en los bioextractos de *C. ladanifer* se identificaron 25 compuestos orgánicos, siendo el ácido becenopropanoico el componente principal (15–42%). El ácido becenopropanoico (también llamado ácido fenilpropiónico o ácido fenilpropanoico) es un aroma floral usado frecuentemente en productos cosméticos. Otros compuestos con interés para la cosmética, perfumería y/o farmacéutica también fueron



XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la Ciencia del Suelo

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



identificados en los bioextractos (ej. viridiflorol, óxido de cariofileno, verbenona) aunque en menores cantidades (<2 %).

En el sistema B, las plantas de *R. officinales* trasplantadas para el Tecnosol tuvieron 100 % de sobrevivencia estando a desarrollar-se en pleno a 12 meses. Sin embargo, las plantas que se trasplantaron para el control (escombrera rica en sulfuros) se murieron en la primera semana. Al final de 12 meses es posible observar que las plantas creciendo en el Tecnosol están produciendo cantidades significativas de biomasa (más de 2 veces la biomasa producida por la misma especie creciendo en turfa) alcanzando alturas entre 34 y 50 cm (plantas en turfa con alturas < 36 cm).

Todas las especies estudiadas no presentaron durante su desarrollo cualquier señal visible de fitotoxicidad o deficiencia nutricional.

El aumento de la evapotranspiración por la cobertura vegetal y los sistemas de rehabilitación con Tecnosoles (con o sin barrera alcalinizante) disminuyeron la oxidación de los sulfuros de la escombrera y, consecuentemente, la generación de drenaje ácido y dispersión de elementos potencialmente contaminantes. El desarrollo de una cobertura vegetal por las especies estudiadas acelera los procesos de recuperación química y biológica de los suelos además de permitir el crecimiento de las especies vegetales que permiten una exploración económica.

CONCLUSIÓN

Los sistemas de rehabilitación estudiados fueron adecuados y pueden contribuir para que áreas improductivas y contaminadas con características semejantes puedan ser recuperadas y exploradas económicamente. La producción significativa de biomasa de las tres especies desarrolladas en los Tecnosoles puede contribuir a un mayor ingreso económico durante el proceso de recuperación, a través de su uso en diferentes industrias, en especial cosmética y/o farmacéutica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen: a ENUSA la cooperación técnica y por facilitar el acceso a todas sus instalaciones y a la área de estudio; el apoyo técnico de Carmen Pérez, David Romero y José Correia; el financiamiento de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia al LEAF (FCT-UID/AGR/04129/2013), y de la Xunta de Galicia al Grupo de Excelencia Competitiva AMBISOL (GRC2014/003).

BIBLIOGRAFÍA



**XVII Congreso Nacional y VIII Internacional de la
Ciencia del Suelo**

“Crianza del suelo para el buen vivir”

Ayacucho, Perú – 22 al 25 de mayo de 2017



Abreu, MM; Batista, MJ; Magalhães, MCF & Matos, JX 2010. Acid mine drainage in the Portuguese Iberian Pyrite Belt. En: Brock, CR (ed). Mine drainage and related problems. Pp. 71-118. Nova Science Publishers, Inc. New York,.

Arán, D; Antelo, J & Macías, F 2016. Uso de Tecnosuelos para la mejora en la calidad química de aguas de escorrentía de la mina Fé (Cuidad Rodrigo, Salamanca). En: Sociedade Portuguesa de Ciência do Solo (ed.). Solos e Água: fontes (esgotáveis) de vida e de desenvolvimento - Livro de Actas do VII Congresso Ibérico das Ciências do Solo/VI Congresso Nacional de Rega e Drenagem. Pp. 337-340.

Asensio, V; Vega, FA; Andrade, ML & Covelo, EF 2013. Technosols made of wastes to improve physico-chemical characteristics of a copper mine soil. *Pedosphere* 23(1):1-9.

Corral, R; Pita, JM & Pérez-García, F 1990. Some aspects of seed germination in four species of *Cistus* L. *Seed Science and Technology* 18:321-325.

Matos, JX & Martins, L 2006. Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas mineiras. *Boletín Geológico Minero* 117:289-304.

Monterroso, C; Macías, F; Gil Bueno, A & Val Caballero, C 1998. Evaluation of the land reclamation project at the As Pontes Mine (NW Spain) in relation to the suitability of the soil for plant growth. *Land Degradation & Development* 9:441-451.

Pérez-López, R; Nieto, JM & Almodóvar, GR 2007. Immobilization of toxic elements in mine residues derived from mining activities in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain): Laboratory experiments. *Applied Geochemistry* 22:1919-1935.

Sánchez-España, J; Pamo, EL; Santofimia, E; Aduvire, O; Reyes, J & Baretino, D 2005. Acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (Odiel river watershed, Huelva, SW Spain): Geochemistry, mineralogy and environmental implications. *Applied Geochemistry* 20:1320-1356.

Santos, ES; Abreu, MM; Macías, F & de Varennes, A 2016a. Chemical quality of leachates and enzymatic activities in Technosols with *gossan* and sulfide wastes from the São Domingos mine. *Journal of Soil and Sediments* 16(4):1366-1382.

Santos, ES; Balseiro-Romero, M; Abreu, MM & Macías, F 2016b. Bioextracts of *Cistus ladanifer* L. growing in São Domingos mine as source of valuable compounds. *Journal of Geochemical Exploration* 174:84-90.

Santos, ES; Abreu, MM; Macías, F & de Varennes, A 2014. Improvement of chemical and biological properties of *gossan* mine wastes following application of amendments and growth of *Cistus ladanifer* L.. *Journal of Geochemical Exploration* 147:173-181.