

Gradientes edáficos y microbiológicos en balsas mineras de la Sierra de Cartagena-La Unión

I. Párraga-Aguado⁽¹⁾, M.N. González-Alcaraz^(1,3), J. Álvarez-Rogel⁽¹⁾, F.J. Jiménez-Cárceles⁽²⁾, H.M. Conesa⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena España. isabel.parraga@upct.es

⁽²⁾ Tecoma Ingeniería y Ambiente S.L. C/Acisclo Díaz, N°9 4°K. 30005 Murcia (España)

⁽³⁾ (*current address*) Department of Ecological Science, Faculty of Earth and Life Sciences, VU University of Amsterdam. De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam (The Netherlands)

RESUMEN

Las balsas de lodos de flotación, resultado de la actividad minera en la Sierra de Cartagena-La Unión, suponen un riesgo de contaminación para el entorno y los seres humanos debido a las elevadas concentraciones de metal(oid)es que contienen. Las técnicas de 'fitoestabilización' aparecen como una alternativa viable a las técnicas convencionales de recuperación de suelos contaminados. El objetivo de este estudio fue describir los gradientes edáficos y microbiológicos presentes en una balsa minera abandonada de la Sierra de Cartagena-La Unión, con el fin de plantear medidas para su fitoestabilización. Para ello, se realizó un muestreo de suelo a lo largo de un transecto desde una zona no contaminada hasta el interior de la meseta de la balsa. Los principales parámetros que determinaron inicialmente la distribución de la vegetación espontánea en la balsa fueron la conductividad eléctrica y el pH, mientras que la concentración de metal(oid)es jugó un papel secundario.

Palabras clave: fitoestabilización; metal(oid)es; vegetación espontánea

1. Introducción

Las balsas o pantanos de lodos de flotación presentes en la Sierra de Cartagena-La Unión constituyen uno de los principales impactos generados por la intensa actividad minera que ha sufrido la zona. Los problemas ambientales asociados a la presencia de dichas balsas se deben a la dispersión de partículas con elevada concentración de metal(oid)es por el viento, el colapso de la estructura, la generación de drenajes ácidos y el transporte de sedimentos contaminados por las aguas de escorrentía a través de la red natural de drenaje hasta zonas topográficamente más bajas [1].

Las técnicas de 'fitoestabilización' (empleo de vegetación para estabilizar suelos contaminados) se presentan como una alternativa viable a las técnicas convencionales de recuperación de suelos contaminados, pero su puesta a punto requiere una mejor comprensión de los factores edáficos y ecológicos que condicionan el establecimiento de la vegetación en suelos degradados.

Las balsas de lodos de flotación presentan unas características que dificultan el establecimiento de la vegetación: ausencia de estructura, pHs extremos, baja capacidad de retención de agua y nutrientes, escaso contenido en materia

orgánica, elevada concentración de metal(oid)es. A pesar de esto, algunas especies vegetales (pioneras) son capaces de crecer sobre estos materiales y desencadenar un proceso de sucesión natural [2].

El objetivo del trabajo fue caracterizar los gradientes edáficos y microbiológicos asociados a la distribución y características de la vegetación espontánea en una balsa minera abandonada de la Sierra de Cartagena-La Unión, con el fin de determinar los factores edáficos limitantes que condicionan su establecimiento.

2. Materiales y Métodos

2.1 Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en una balsa minera de la sierra de Cartagena-La Unión ubicada en el Parque Natural de Calblanque, Monte de las Cenizas y Peña del Águila.

Se realizó un muestreo de suelo a lo largo de un transecto desde una zona no contaminada hasta el interior de la balsa, distinguiendo diferentes zonas: zona control (B-C), bosque externo (B-EXT), bosque interno (B-INT), talud inferior (T-INF), talud superior (T-SUP), costra (CST), meseta sin grietas (M-SG), meseta con grietas (diferenciando entre muestras arenosas, M-G-

AR, y limosas, M-G-LM) e islas de vegetación (ISLAS) (Figura 1).

2.2 Caracterización del gradiente edáfico y microbiológico

Se tomaron de 3 a 4 muestras por zona del transecto. Los análisis físico-químicos realizados sobre las muestras de suelo fueron los siguientes: pH y conductividad eléctrica (CE) en el extracto 1:5, porcentaje de CaCO_3 equivalente (calcímetro de Bernard), granulometría (densímetro de Bouyoucos), iones en el extracto 1:5, nitrógeno total (NT, método Kjeldahl), carbono orgánico total (CO, oxidación por dicromato potásico), carbono orgánico disuelto (COD, extracto 1:5), concentración total de metal(oid)es (fluorescencia de Rayos X) y metal(oid)es extraíbles en H_2O (extracto 1:5).

Además, para evaluar el gradiente microbiológico se determinaron el carbono de la biomasa microbiana (CBM, método de extracción-fumigación [3]) y la actividad deshidrogenasa [4].

3. Resultados y Discusión

El pH fue similar a lo largo del gradiente estudiado (Figura 2), excepto en el caso de la costra ácida, donde fue más bajo ($\sim 4,5$), explicándose así el menor porcentaje de CaCO_3 y las altas concentraciones de metales y arsénico extraíbles en esta zona (Tabla 2). Los valores CE estuvieron entre 2,5 y 5 dS m^{-1} , a excepción de las muestras limosas de la zona con grietas (M-G-LM), donde se alcanzaron hasta 12 dS m^{-1} (Figura 2). Las islas mostraron una CE significativamente menor al resto de las muestras de la balsa.

El nitrógeno y carbono orgánico totales mostraron una dinámica similar a lo largo del gradiente (Figura 3), con valores muy bajos en las muestras de la balsa. Las islas mostraron un valor intermedio entre los más bajos que se encontraron en la balsa y los máximos que se encontraron en el bosque control y el borde externo. Los parámetros microbiológicos analizados mostraron una alta correlación con los contenidos en materia orgánica del suelo: mayores en bosque control y borde externo.

En cuanto al contenido total de metales y arsénico, el bosque control mostró en general los valores más bajos (Tabla 1). A partir del borde externo, el contenido de metal(oid)es aumentó, pero sin seguir un patrón de variación a lo largo del transecto. Los máximos se dieron indistintamente en el talud (Zn), la costra (Pb y

As) o la meseta (Mn). Los contenidos máximos de As, Pb y Zn encontrados en las muestras de la balsa superaron los niveles genéricos de referencia (NGRx100) determinados en zonas cercanas a la Sierra Minera [5].

Las muestras de la balsa (con excepción de la costra) mostraron valores muy bajos de metal(oid)es extraíbles. El valor máximo de As extraíble se observó en el bosque control, debido posiblemente al mayor pH [6]. Las concentraciones de Pb y Cu extraíbles fueron mayores en el bosque control, borde externo e ISLAS que en el resto de zonas. Esto se puede deber a la alta afinidad que existe entre estos metal(oid)es y la materia orgánica del suelo [7].

El Análisis de Componentes Principales (PCA) (Figura 5) reveló la existencia de dos gradientes principales: uno relacionado con el contenido extraíble de Cl^- y Na^+ (salinidad) y otro relacionado con el nitrógeno total (NT), el carbono orgánico (CO) y los parámetros microbiológicos. El gradiente de salinidad estaría condicionado por características propias de los residuos que conforman la balsa y podría tener influencia en la distribución de la vegetación oportunista (sucesión primaria). El gradiente de fertilidad sería consecuencia de los cambios en el suelo que produce la presencia de la vegetación existente y por tanto tendría influencia en etapas más avanzadas de la sucesión [8].

4. Conclusiones

El estudio edáfico y microbiológico del gradiente considerado ha permitido determinar que la presencia y distribución de la vegetación en la balsa podría estar relacionada inicialmente con la salinidad y el pH, y no tanto por el contenido en metal(oid)es. Además, la existencia de zonas muy salinas o de pH ácido aumenta la heterogeneidad ya de por sí elevada de estos ambientes. Esto habría que tenerlo en cuenta a la hora de plantear labores de fitoestabilización tales como la adición de enmiendas que puedan elevar la conductividad eléctrica o el laboreo en superficie.

5. Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER (CTM2011-23958) y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (15296/PI/10). El Doctor Héctor M. Conesa agradece al Ministerio de Economía y Competitividad y a la Universidad

Politécnica de Cartagena por la financiación a través del Programa Ramón y Cajal (Ref. RYC-2010-05665). María Nazaret González-Alcaraz disfruta de una beca post-doctoral de la Fundación Ramón Areces.

6. Referencias bibliográficas

- [1] Conesa H.M., Schulin R. 2010. The Cartagena-La Unión mining district (SE Spain): a review of environmental problems and emerging phytoremediation solutions after fifteen years research. *J Environ Monitor* 12: 1225-1233.
- [2] Conesa H.M., García G., Faz A., Arnaldos R. 2007. Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Unión Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. *Chemosphere* 68: 1180-1185.
- [3] 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.
- [4] García C., Hernández T., Costa F., Ceccanti B., Masciandaro G. 1993. The dehydrogenase activity of soil as an ecological marker in processes of perturbed system regeneration. En: Gallardo-Lancho, J. (Ed.), *Proceedings of the XI International Symposium of Environmental Biogeochemistry*. Salamanca, España. Págs: 89-100.
- [5] Martínez-Sánchez M.J., Pérez-Sirvent C. 2007. Niveles de fondo y niveles genéricos de referencia de metal(oid)es pesados en suelos de la Región de Murcia. Universidad de Murcia y Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia. Murcia, Spain.
- [6] Smith E., Naidu R., Alston A.M. 1998. Arsenic in the soil environment: a review. *Adv Agron* 64: 149-195.
- [7] Khokhotva O., Waara S. 2010. The influence of dissolved organic carbon on sorption of heavy metals on urea-treated pine bark. *J Hazard Mater* 173: 689-696.
- [8] Párraga-Aguado I., González-Alcaraz M.N., Álvarez-Rogel J., Jiménez-Cárceles F.J., Conesa H.M. 2013. The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings. *Env Poll* 176: 134-143.

misma columna indican diferencias significativas entre zonas (p<0,05).

Zona	Metal(oid)es extraíbles en H ₂ O (mg kg ⁻¹)													
	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
B-C	0,086±0,006	a <0,01	* 0,086±0,071	b 0,097±0,075	b 0,014±0,006	b 0,042±0,027	b 0,127±0,082	c						
B-EXT	0,025±0,002	bc <0,01	* 0,057±0,011	b 0,077±0,013	b <0,01	* 0,026±0,004	b 0,242±0,035	bc						
B-INT	<0,01	* <0,01	* <0,01	* 0,127±0,046	b <0,01	* <0,01	* 0,239±0,019	bc						
T-INF	<0,01	* 0,010±0,003	b <0,01	* 0,084±0,015	b <0,01	* <0,01	* 0,523±0,067	b						
T-SUP	<0,01	* <0,01	* <0,01	* 0,039±0,003	b <0,01	* <0,01	* 0,134±0,035	bc						
CST	0,064±0,029	ab 1,048±0,201	a 1,155±0,295	a 626,298±199,20	a 1,074±0,411	a 2,607±1,740	a 234,611±61,59	a						
M-SG	0,011±0,002	c <0,01	* <0,01	* 0,111±0,022	b <0,01	* <0,01	* 0,105±0,024	bc						
M-CG-AR	0,011±0,002	c <0,01	* <0,01	* 0,091±0,027	b <0,01	* <0,01	* 0,156±0,063	bc						
M-CG-LM	0,017±0,004	bc <0,01	* <0,01	* 0,080±0,010	b <0,01	* <0,01	* 0,110±0,083	bc						
ISLA	0,031±0,014	bc <0,01	* 0,069±0,033	b 0,207±0,066	b <0,01	* 0,049±0,045	b 0,097±0,054	bc						

Zona	Metal(oid)es totales (mg kg ⁻¹)													
	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
B-C	60±3	c 9±3	a 55±2	d 2,370±95	c 35±2	a 1,315±165	f 675±100	e						
B-EXT	555±50	b 34±11	a 110±10	abc 9,820±215	a 33±1	a 6,490±290	bc 8,660±280	a						
B-INT	645±80	b 34±3	a 125±8	ab 10,140±270	a 27±1	a 5,065±590	cd 7,370±760	ab						
T-INF	480±70	b 38±11	a 120±6	abc 8,740±500	a 29±4	a 9,555±900	bc 10,780±655	a						
T-SUP	695±190	b 16±6	a 100±4	abc 9,745±1,610	a 24±2	ab 3,840±515	cde 5,830±530	abc						
CST	2,290±590	a 13±7	a 135±7	a 5,020±1,540	bc 17±1	b 19,835±3,721	a 3,210±880	d						
M-SG	635±90	b 17±6	a 100±10	bc 10,305±1,105	a 27±1	a 3,070±475	de 3,880±550	cd						
M-CG-AR	515±40	b 9±3	a 90±7	c 12,280±1,115	a 29±3	a 2,685±145	e 3,880±245	cd						
M-CG-LM	370±35	b 6±0	a 110±10	abc 7,790±980	ab 27±2	a 3,005±455	de 3,040±230	d						
ISLA	700±35	b 23±8	a 95±1	bc 10,060±1,110	a 28±2	a 2,875±240	de 4,355±285	bcd						

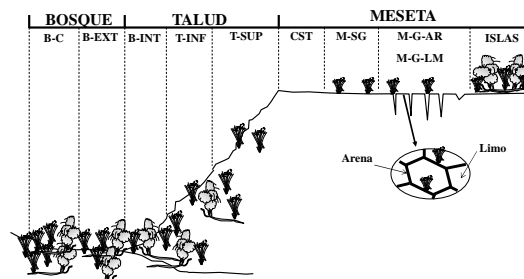


Figura 1. Esquema del transecto muestreado en el que se indican las diferentes zonas consideradas.

Tablas y Figuras

Tabla 1. Concentración de metal(oid)es extraíbles en H₂O y metal(oid)es totales de las muestras de suelo. Letras diferentes en la

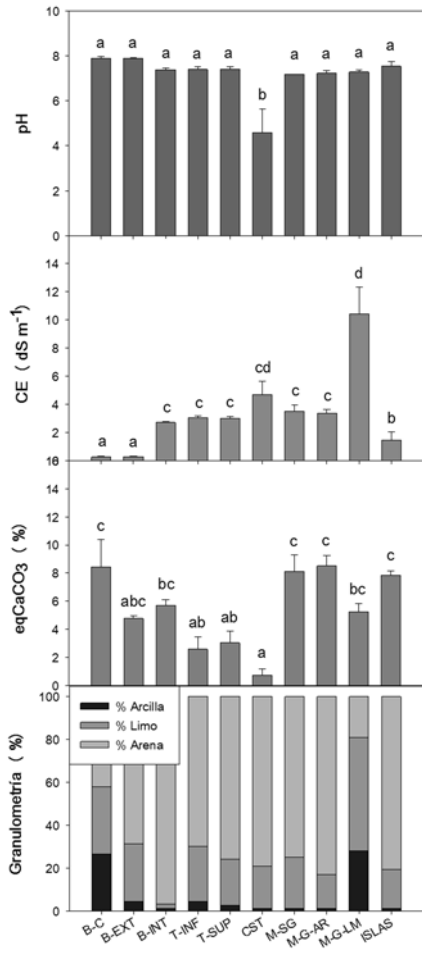


Figura 2. pH, CE, CaCO₃ y granulometría de las muestras de suelo. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre zonas ($p < 0,05$).

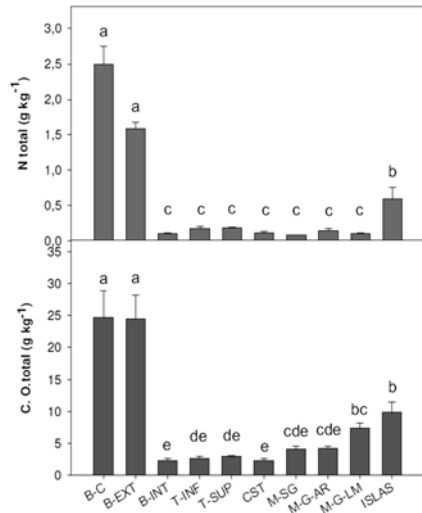


Figura 3. Nitrógeno total y carbono orgánico total de las muestras de suelo. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre zonas ($p < 0,05$).

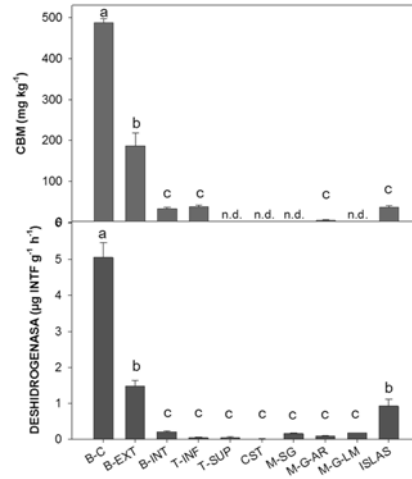


Figura 4. Carbono de la biomasa microbiana y actividad deshidrogenasa de las muestras de suelo. Diferentes letras sobre las columnas indican diferencias significativas entre zonas ($p < 0,05$). 'n.d.' = no detectado.

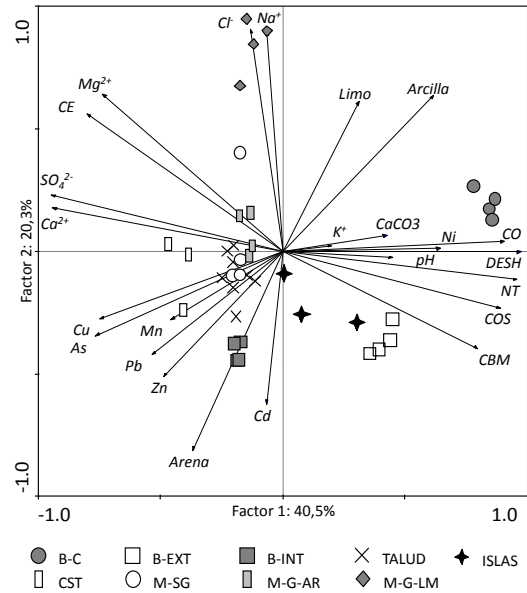


Figura 5. Análisis PCA de las muestras y los parámetros edáficos y microbiológicos.