

## Respuesta de dos especies arbustivas de suelos mineros: bioacumulación y translocación de elementos traza

TRIGUEROS VERA, D.<sup>1</sup>, ROSSINI OLIVA, S.<sup>2</sup>, VALDÉS, B.<sup>2</sup>, MONACI, F.<sup>3</sup>, BARGAGLI, R.<sup>3</sup>, MINGORANCE, M.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Prof. Albareda 1, 18008 Granada, España

<sup>2</sup> Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes s/n, 41080 Sevilla, España

<sup>3</sup> Department of Environmental Sciences, University of Siena, Via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena, Italia

### Resumen

La mayoría de las especies vegetales que se han establecido en el área minera de Riotinto se han adaptado a las condiciones edafo-climáticas de la zona que son hostiles para muchas plantas. Para la revegetación de estas áreas se requiere información acerca de la respuesta de las comunidades vegetales nativas a las condiciones de estrés existentes. En este trabajo se ha evaluado la respuesta de *Erica australis* y *Nerium oleander*, especies espontáneas y abundantes en el área de Riotinto, frente a elementos traza presentes en los suelos (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn) en concentraciones espacialmente variables, y en algunos casos superiores a los niveles de referencia. Se evaluó la distinta capacidad de acumulación/translocación de dichos metales en las dos especies mediante los factores de bioacumulación ( $FB = M_{\text{hoja}} / M_{\text{suelo}}$ ) y de translocación ( $FT = M_{\text{hoja}} / M_{\text{raíz}}$ ). En general, ninguna especie muestra acumulación de metales en las hojas ( $FB < 1$ ). Un caso a señalar es el del Pb, que a pesar de las elevadas concentraciones en las que se encuentra en el suelo, no es translocado a la parte aérea de ninguna de las especies debido a mecanismos de exclusión. En cambio, cantidades significativas de Ni se translocan de la raíz a la parte aérea en *N. oleander*. Los valores de Cr, Ni y Pb encontrados en la parte aérea de *E. australis* y de Cd, Ni, Pb y Zn en *N. oleander* son superiores a los que se consideran normales para las plantas. Los resultados indican que, aunque las dos especies presentan diferente comportamiento frente a los elementos traza, ambas muestran propiedades adecuadas para su uso en fitorremediación.

### Palabras clave

*Erica australis*, *Nerium oleander*, minera, metal, acumulación, translocación.

### 1. Introducción

El área minera de Riotinto (SO de España, provincia de Huelva) se encuentra situada en una zona que geológicamente se denomina Faja Pirítica Ibérica, que es rica en yacimientos de pirita y en mineralizaciones de manganeso. La cantidad de metales existentes han hecho que estas minas hayan sido explotadas desde la prehistoria; desde la época de los Romanos se han estado extrayendo cobre, plata y oro (Márquez et al., 2004). Este hecho ha influido en las características de gran parte de los suelos de la zona, que presentan una elevada acidez, unas altas concentraciones de elementos traza y unas bajas cantidades de nutrientes minerales. Sin embargo, las especies vegetales de áreas mineras poseen mecanismos que les permiten sobrevivir y son capaces de acumular o excluir metales (Abreu et al., 2008). En un trabajo reciente (de la Fuente et al., 2010) se han clasificado la mayoría de las especies de los suelos mineros de Riotinto como exclusoras. Estas especies son muy interesantes para su uso en fitorremediación (Carrillo-González & González-Chávez, 2006).



La fitorremediación es una práctica de remediación de suelos contaminados que se define como el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente o para convertirlos en inocuos (Salt et al., 1998). Se suele dividir en 5 subgrupos: fitoextracción, las plantas remueven metales del suelo y los concentran en las partes cosechables (Kumar et al., 1995); fitoestabilización, las plantas reducen la movilidad y la biodisponibilidad de contaminantes, ya sea a través de procesos de inmovilización o de migración (Smith & Bradshaw, 1972; Vangronsveld et al., 1995); fitodegradación, el uso de plantas y microbios asociados para degradar los contaminantes orgánicos (Burken & Schnoor, 1997); rizofiltración, donde las raíces de las plantas absorben metales de los desechos (Dushenkov et al., 1995); y la fitovolatilización, que consiste en la volatilización de contaminantes a la atmósfera a través de las plantas (Burken & Schnoor, 1999; Bañuelos et al., 1997). La implantación de una cubierta vegetal tolerante evita además la erosión y mejora las características edáficas a la vez que reduce el impacto visual. Para la revegetación de áreas degradadas se requiere información acerca de la respuesta de las comunidades vegetales nativas a las condiciones de estrés del medio. Entre las especies arbustivas más representadas en la zona minera de Riotinto se encuentran *Nerium oleander*, *Erica australis*, *Erica andevalensis*, *Cistus ladanifer*, *Cistus populifolius*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius* y *Ulex eryoclaudus* (Trigueros Vera et al., 2010). De todas ellas, debido a su abundancia en toda el área, se han elegido *E. australis* y *N. oleander* para estudiar su comportamiento frente a algunos de los elementos traza presentes en los suelos de Riotinto.

Con el fin de evaluar el potencial fitorremediador de dichas especies vegetales se han utilizado dos factores: el de bioacumulación (FB) y el de translocación (FT). Las plantas que translocan una mayor cantidad de metales a la parte aérea ( $FT > 1$ ) podrían presentar mayor potencialidad para ser empleadas en técnicas de fitoextracción. Las especies que inmovilizan los metales preferentemente en las raíces ( $FT < 1$ ) podrían ser interesantes por su uso en fitoestabilización o fitoinmovilización. Las plantas que poseen un  $FB > 1$  pueden ser consideradas buenas candidatas para su uso en fitoextracción, puesto que son acumuladoras (Baker, 1981). Así, el uso de estos dos factores nos permitirá caracterizar el potencial fitorremediador de *E. australis* y *N. oleander*.

## 2. Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del comportamiento de dos especies vegetales ampliamente representadas en la zona minera de Riotinto, *Erica australis* y *Nerium oleander*, frente a Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn. Para ello se estudiará la acumulación de dichos elementos en sus raíces y hojas y se calcularán los factores de translocación (FT) y de bioacumulación (FB.) Dichos factores, a su vez, nos darán una información acerca del potencial fitorremediador de cada una de las especies.

## 3. Metodología

### 3.1. Área de estudio y material vegetal

*Erica australis* L. es una especie arbustiva perenne, de hasta 2,5 m de altura, que presenta potencialidad para colonizar áreas degradadas formando densos matorrales (Cruz et al., 2003). En la cuenca minera de Riotinto es frecuente encontrarla formando comunidades de tipo *Ericetum australi-andevalensis* (Rivas-Martínez et al., 2001) con especies como *E. andevalensis* y *C. ladanifer*. El material vegetal y los suelos de *E. australis* fueron recolectados en los puntos Z, RT1, PHG, PHC y PH que se describen a continuación.



*N. oleander* es un arbusto perenne esclerófilo, de hasta 6 m, nativo de regiones Mediterráneas europeas y de Oriente Medio (Rivas Goday y Piniés, 1949). Es de gran interés para prácticas de revegetación de áreas degradadas debido a su valor ornamental y a su capacidad para aclimatarse a condiciones ambientales adversas (Abdolzadeh et al., 2008). Las muestras vegetales y de suelos de *N. oleander* fueron tomadas en los puntos N, RT, PO, NA.

El material se ha muestreado en diferentes sitios dentro del área minera de Riotinto. En Peña de Hierro, una zona muy próxima al nacimiento del río Tinto, se muestrearon tres sitios: PHG, un brezal de *E. australis* y *Erica umbellata* (5%), con manchas de *Cistus ladanifer* junto con plantaciones de eucaliptos y pinos sobre una antigua masa de gossan; PHC, próxima a la anterior formado por un núcleo principal de *E. australis* y plantación de *Pinus pinea*, *P. pinaster* y eucaliptos; y PH, que representa un brezal a menor altitud. Los puntos RT y RT1 se encuentran a orillas del río Tinto, próximos a su nacimiento, siendo RT la zona en contacto directo con el agua del río. El punto Z se encuentra próximo a la localidad de Zaranda sobre una escombrera con plantaciones mixtas de *E. australis* y *E. andevalensis*. El punto N, próximo al municipio de Nerva representa un sitio muy degradado con restos de pizarras y cuarcita y manchas de vegetación aislada. En NA se encuentran las adelfas de mayor porte, formando densas comunidades junto a diversas especies que crecen a orillas de un pequeño arrollo contaminado con residuos líquidos urbanos. Por último el punto PO, se encuentra en las orillas del río Odiel. De cada punto se tomaron muestras de hojas y raíces de, al menos, 3 plantas y muestras de suelo cercano a cada una de las plantas. Las muestras control se obtuvieron de poblaciones presentes en la misma unidad geológica, en áreas alejadas de posibles fuentes de contaminación (Linares de la Sierra para *E. australis* y Alanís para *N. oleander*).

### 3.2. Parte experimental

El material vegetal se llevó al laboratorio y se lavó primero con agua del grifo y luego con agua destilada. Se separaron hojas y raíces, se secaron a 60 °C durante 48 h, se molieron y se sometieron a digestión con HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en un digestor de microondas (MarsXpress, CEM). Las muestras de suelo se secaron al aire, fueron tamizadas (< 2mm) y digeridas con *aqua regia* en digestor de microondas (Milestone MLS 1200 mega). Posteriormente se determinó la cantidad de elementos traza por ICP-OES (Thermo ICAP 6000SERIES). Para el control de calidad de los métodos analíticos se usaron las muestras de referencia Pine Needle (NBS 1575) y *Olea europea* (BCR 62), para plantas, y Montana Soil (NIST 2111) y Amended Soil (BCR 143) para suelos, con una recuperación del 90 al 105%.

Se calculó FT como la concentración de un elemento en hojas respecto a la concentración de dicho elemento en raíces:  $FT = M_{\text{hoja}} / M_{\text{raiz}}$ ; y FB como la concentración de un elemento en hojas respecto a la concentración total de dicho elemento en el suelo donde crece la planta:  $FB = M_{\text{hoja}} / M_{\text{suelo}}$ . El factor de enriquecimiento (FE) se definió como la relación entre la concentración de un elemento traza en el suelo minero y la concentración de dicho elemento en el suelo control correspondiente:  $FE = M_{S,\text{minero}} / M_{S,\text{control}}$ .

### 3.3. Tratamiento estadístico de los datos

El tratamiento estadístico se llevó a cabo con SPSS 15.0 (SPSS Inc.). Se contrastó la normalidad de los datos (test de Shapiro-Wilks) y la homogeneidad de varianzas (test de



Levene). En el caso de no cumplirse estas premisas se utilizó el test no paramétrico de la U de Mann-Whitney. Se determinaron las correlaciones existentes entre los elementos traza determinados en suelo, hojas y raíces de las dos especies mediante el coeficiente de Pearson. La significación que se eligió para aceptar la hipótesis nula fue de 0,05.

## 4. Resultados

### 4.1. Contenido de elementos traza en los suelos de Riotinto y de las zonas control

Al compararse con sus respectivos controles, los suelos de Riotinto presentaron mayores concentraciones de Cd, Cu y Pb (Tablas 1 y 2). En los suelos donde crece *N. oleander* el enriquecimiento en elementos traza es más notable como puede apreciarse en los altos valores de los FE (Tabla 1). En relación al contenido en metales de los puntos muestreados dentro del área minera, los valores de Ni en los suelos donde crece *N. oleander* son significativamente superiores ( $p = 0,03$ ) a los de los suelos en los que crece *E. australis*. Ambos suelos no presentan diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en el contenido de los demás elementos traza analizados.

Tabla 1. Valores de FE para los elementos traza analizados en los suelos de Riotinto donde crece *Nerium oleander*. Sólo se muestran los valores de  $FE > 1$ .

	N	RT	PO	NA
<b>Cd</b>	57	44	6,8	4,1
<b>Cu</b>	23	4,4	9,9	10
<b>Pb</b>	89	15	7,6	7,0
<b>Zn</b>	6,4	5,6	10	12

Tabla 2. Valores de FE para los elementos traza analizados en los suelos de Riotinto donde crece *Erica australis*. Sólo se muestran los valores de  $FE > 1$ .

	Z	RT1	PHG	PHC	PH
<b>Cd</b>		5,9	4,8	29	5,5
<b>Cu</b>		3,1	3,9	3,8	
<b>Pb</b>	3,2	11	7,7	15	7,3
<b>Zn</b>					

### 4.2. Contenido de elementos traza en las plantas de Riotinto y de las zonas control

Los contenidos de elementos traza determinados en hojas y raíces de las plantas y en sus suelos acompañantes se muestran en la tabla 3. Los ejemplares de adelfa muestreados en Riotinto presentan cantidades superiores de Cu ( $p = 0,04$ ) y Pb ( $p = 0,02$ ) en raíces y de Cu ( $p = 0,04$ ), Ni ( $p = 0,04$ ) y Zn ( $p = 0,04$ ) en hojas en comparación con el control. Las plantas de erica de Riotinto presentan mayores cantidades de Cr ( $p = 0,03$ ), Ni ( $p = 0,01$ ) y Pb ( $p = 0,01$ ) en hojas y de Cr ( $p = 0,01$ ), Cu ( $p = 0,01$ ), Ni ( $p = 0,01$ ) y Pb ( $p = 0,01$ ) en raíces, y menores de Cd en raíz ( $p = 0,01$ ), en comparación con el control. Por lo que se refiere a las diferencias entre las dos especies, los ejemplares de *N. oleander* presentan cantidades significativamente superiores de Cd en raíces ( $p = 0,03$ ) y Zn ( $p = 0,01$ ) en hojas en comparación con *E. australis*, aunque esta última presenta mayores contenidos ( $p = 0,01$ ) de Pb en raíces.



Tabla 3. Contenidos medios (expresados como mediana; mg/kg) de elementos traza determinados en hojas, raíces y suelos de *E. australis* y *N. oleander*, tanto de la zona minera como de los puntos control. ld.d., límite de detección. .

		<i>E. australis</i>		<i>N. oleander</i>		
		Punto control	Zona minera	Punto control	Zona minera	
Elemento traza	<b>Cd</b>	<b>Hoja</b>	0,50	< l.d.d.	0,50	0,40
		<b>Raíz</b>	0,50	0,15	0,50	0,87
		<b>Suelo</b>	0,68	5,05	0,14	3,66
	<b>Cr</b>	<b>Hoja</b>	0,75	3,10	0,80	1,21
		<b>Raíz</b>	2,25	4,86	8,35	2,85
		<b>Suelo</b>	43,4	< l.d.d.	39,8	33,3
	<b>Cu</b>	<b>Hoja</b>	4,30	4,10	3,95	10,3
		<b>Raíz</b>	8,60	71,0	4,30	41,9
		<b>Suelo</b>	21,3	164	22,3	224
<b>Ni</b>	<b>Hoja</b>	0,80	2,30	0,70	4,29	
	<b>Raíz</b>	1,05	5,20	3,85	2,80	
	<b>Suelo</b>	11,8	< l.d.d.	17,3	15,5	
<b>Pb</b>	<b>Hoja</b>	0,90	1,40	0,85	1,75	
	<b>Raíz</b>	10,4	77,7	1,40	12,6	
	<b>Suelo</b>	7,92	318	26,0	290	
<b>Zn</b>	<b>Hoja</b>	32,9	25,7	24,0	66,2	
	<b>Raíz</b>	27,4	31,6	23,8	84,4	
	<b>Suelo</b>	32,1	34,6	21,2	176	

#### 4.3. Relaciones entre los elementos traza en suelo y planta

Para comprobar si la cantidad de metales en suelo influye sobre los niveles en las partes vegetales se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 4). Tan sólo los niveles de Pb y Zn en el material vegetal analizado se encuentran relacionados significativamente ( $p < 0,05$ ) con los niveles totales de elementos traza en los suelos donde crecen las plantas.

Tabla 4. Correlaciones entre los elementos en suelo y los presentes en tejidos vegetales ( $n \geq 11$ ) a través del coeficiente de Pearson. Se muestran sombreados los casos en los que el coeficiente de Pearson resultó ser significativo ( $p < 0,05$ ).

	Hojas	Raíces
<b>Cd</b>	-0,501	-0,323
<b>Cr</b>	-0,498	0,191
<b>Cu</b>	0,557	-0,077
<b>Ni</b>	-0,053	-0,102
<b>Pb</b>	0,899	0,103
<b>Zn</b>	0,716	0,673

#### 4.4. Coeficientes de bioacumulación y de translocación

Dado que las cantidades de Cr y Ni en los suelos muestreados donde crece *E. australis* se encontraron por debajo del límite de detección, no se calculó FB para dichos metales en estos puntos. Los ejemplares de erica presentaron valores de FB  $< 1$ , o se encuentran próximos a la unidad, para todos los elementos estudiados (Fig. 1). Esta especie no transloca elementos traza a su parte aérea (Fig. 2).

Como se puede observar en la figura 1, los valores de FB en *N. oleander* para todos los elementos estudiados son menores a 1 o se encuentran próximos a la unidad. En esta especie se han observado valores de FT  $> 1$  para el Ni, Cr y Zn en dos de los sitios muestreado (N y RT, Fig. 2).



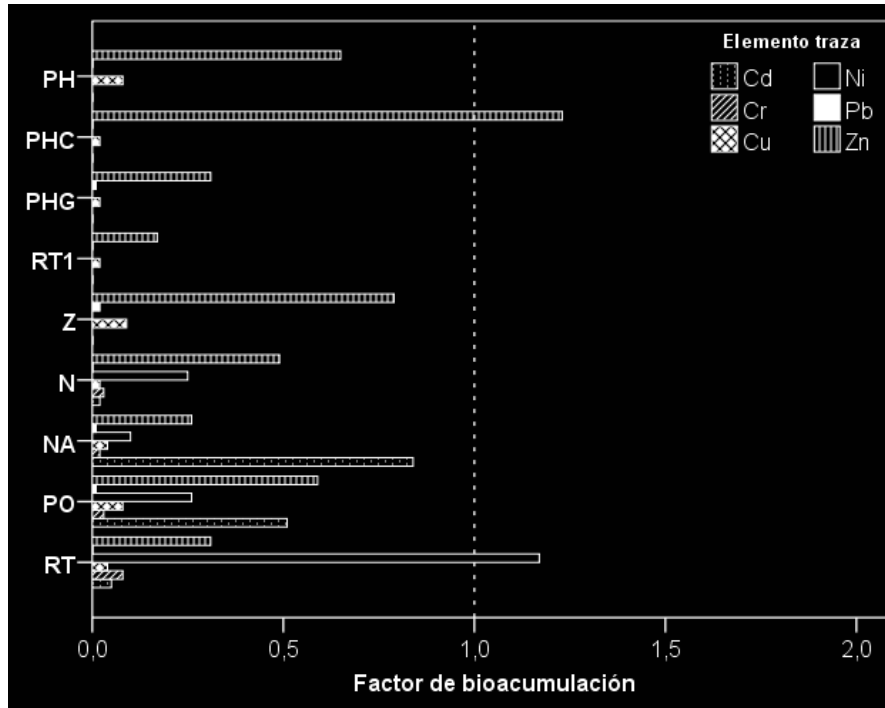


Figura 1. Factores de bioacumulación determinados para *Erica australis* (PH, PHC, PHG, RT1 y Z) y *Nerium oleander* (N, NA, POP y RT) en la zona minera de Riotinto.

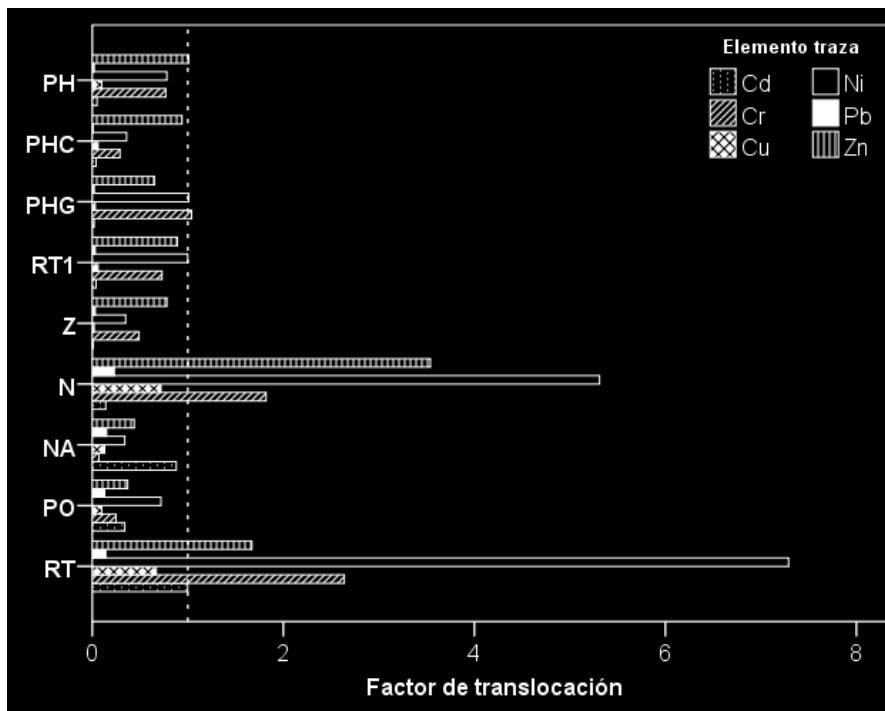


Figura 2. Factores de translocación determinados en *Erica australis* (PH, PHC, PHG, RT1 y Z) y *Nerium oleander* (N, NA, POP y RT) en la zona minera de Riotinto.

## 5. Discusión

Los niveles de Cd, Cu y Pb de los suelos muestreados en el área de estudio, y los de Zn en los suelos donde crece *N. oleander*, exceden los niveles máximos permitidos (Alloway,



1995). De hecho, estos elementos traza son los que presentan mayor enriquecimiento en el área de estudio. Por otra parte, al compararse con los puntos donde crece *E. australis*, los suelos próximos a *N. oleander* se encuentran más contaminados por los elementos estudiados respecto al control.

Los ejemplares de *Nerium oleander* muestreados en Riotinto presentan unos niveles foliares de Cd, Ni y Pb superiores a los valores de referencia (Markert, 1992). En su trabajo, de Jesús et al. (2000) encontraron unas concentraciones de Cu, Pb y Zn en hojas inferiores a las obtenidas en los ejemplares muestreados en Riotinto, mientras que Mingorance & Rossini Oliva (2006) observaron valores similares de Cu y Pb, aunque menores de Zn y Cr en adelfas muestreadas en sitios afectados por diferentes fuentes de contaminación. Como queda patente en los datos obtenidos en este y otros estudios, *N. oleander* es una especie que presenta variabilidad en sus contenidos foliares de elementos traza. Considerando la variabilidad de los datos, las adelfas de Riotinto, a pesar de crecer en suelos cinco veces más contaminados, poseen unas cantidades de Cd, Cr y Pb en hojas similares al control. Esto hecho nos indica que esta especie actúa como exclusora para dichos metales. De hecho, presenta unos niveles de elementos traza en hojas que no pueden ser considerados tóxicos (Kabata-Pendias, 2001). Además, los bajos valores de bioacumulación obtenidos, sobre todo para Cr, Cu y Pb ( $FB < 0,1$ ), reflejan la capacidad de *N. oleander* para limitar las concentraciones de metales en su parte aérea, apta para usar en programas de fitoestabilización. Además, *N. oleander* puede presentar potencial para fitoextraer Ni, aunque estos resultados necesitan un estudio más detenido ya que los valores de  $FT > 1$  tan sólo han sido observados en dos de los puntos. Esta especie presenta cierto valor ornamental, una elevada biomasa y un extenso sistema radicular que la hacen aún más interesante desde un punto de vista fitoremediador.

Los niveles de Cr, Ni y Pb en hojas de *E. australis* muestreadas en Riotinto, superan los valores de referencia (Markert, 1992). Sin embargo, ninguno de estos niveles puede ser considerado tóxico (Kabata-Pendias, 2001). Las hojas de erica recolectadas en el área minera presentan unas concentraciones de Pb mayores a las encontradas en las plantas control; estos mayores niveles se corresponden con unas mayores concentraciones de Pb en suelos. Aún así, los bajos niveles de bioacumulación obtenidos para dicho elemento ( $FB < 0,1$ ) reflejan cierta capacidad para limitar las concentraciones de Pb en su parte aérea (1,1-3,2 mg/kg) a pesar de la existencia de unas elevadas concentraciones en suelo (135-620 mg/kg). Los valores de Zn y Ni en hojas de erica son similares a los obtenidos en la parte aérea de ejemplares de la misma zona (de la Fuente et al., 2010) y en la de ejemplares de la mina de Sao Domingo (S Portugal) (Abreu et al., 2008). El hecho de que *E. australis* no transloque ninguno de los elementos traza sugiere que posee una estrategia exclusora (Baker, 1981) frente a todos los elementos estudiados, por lo que puede resultar muy útil en programas de fitoestabilización de áreas degradadas.

## 6. Conclusiones

*N. oleander*, debido a su elevada tolerancia a los elementos traza y a su valor ornamental, puede ser usada en planes de revegetación de zonas degradadas, favoreciendo la inmovilización de contaminantes y disminuyendo la erosión e impacto visual en el área minera.

*E. australis* sigue estrategias de exclusión para hacer frente a las elevadas cantidades de ciertos elementos potencialmente tóxicos. Esta especie no bioacumula ninguno de los



elementos traza analizados. Por sus características, *E. australis* se presenta como buena candidata para realizar labores de fitoestabilización en los suelos mineros de Riotinto.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Fundación Ramón Areces (Título del proyecto: Mecanismos de Resistencia a Metales Pesados en Especies Significativas de la Cuenca Minera de Riotinto). Se agradece al personal técnico del Invernadero de la Universidad de Sevilla la ayuda prestada.

## 8. Bibliografía

ABDOLZADEH, A., SHIMA, K., LAMBERS, H., CHIBA, K., 2008: Change in uptake, transport and accumulation of ions in *Nerium oleander* (Rosebay) as affected by different nitrogen sources and salinity. *Ann Bot* 102, 735-746.

ABREU, M.M., TAVARES, M.T., BATISTA, M.J., 2008: Potential use of *Erica andevalensis* and *Erica australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *J Geochem Explor* 96, 210-222.

ALLOWAY, B.J., 1995. Heavy metals in soils. 2<sup>nd</sup> ed. Blackie academic and profesional. Suffolk.

MÁRQUEZ, B., HIDALGO, P.J., HERAS, M.A., VELASCO, R., CÓRDOBA, F., 2004. *Erica andevalensis*: un brezo endémico de la zona minera de Huelva. II Jornadas técnicas de ciencias ambientales, Madrid.

BAKER, A.J.M., 1981. Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals. *J Plant Nutr* 3, 643-654.

BAÑUELOS, G.S., AJWA, H.A., TERRY, N., ZAYED, A., 1997. Phytoremediation of selenium laden soils: a new technology. *J Soil Water Conserv* 52, 426-430.

BURKEN, J.G., SCHNOOR, J.L., 1997. Uptake and metabolism of atrazine by poplar trees. *Environ Sci Technol* 31, 1399-1406.

BURKEN, J.G., SCHNOOR, J.L., 1999. Distribution and volatilization of organic compounds following uptake by hybrid poplar trees. *Intl J Phytoremediat* 1, 139-151.

CARRILLO-GONZÁLEZ, R., GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M.C.A., 2006. Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environ Pollut* 144, 84-92.

CRUZ, A., PÉREZ, B., VELASCO, A., MORENO, J.M., 2003. Variability in seed germination at the interpopulation, intrapopulation and intraindividual levels of the shrub *Erica australis* in response to fire-related cues. *Plant Ecol* 169, 93-103.

DE JESÚS, E.F.O., SIMABUCO, S.M., DOS ANJOS, M.J., LOPES, R.T., 2000. Synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis of trace elements in *Nerium oleander* for pollution monitoring. *Spectrochim Acta Pt B-At Spec*, 55, 1181-1187.





DE LA FUENTE, V., RUFO, L., RODRÍGUEZ, N., AMILS, R., ZULUAGA, J., 2010. Metal accumulation screening of the Río Tinto flora (Huelva, Spain). *Biol Tr Elem Res* 134, 318-341.

DUSHENKOV, V., KUMAR, P.B.A.N., MOTTO, H., RASKIN, I., 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams, *Environ Sci Technol* 29, 1239-1245.

KABATA-PENDIAS, A., 2001: Trace elements in soils and plants, 3<sup>rd</sup> ed. CRC, Boca Raton. Florida.

KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, V., MOTTO, H., RASKIN, I., 1995. Phytoextraction- the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ Sci Technol* 29, 1232-1238.

MARKERT, B., 1992. Establishing of 'Reference Plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. *Water Air Soil Pollut* 64, 533-538.

MINGORANCE, M.D., ROSSINI OLIVA, S., 2006. Heavy metals content in *N. oleander* leaves as urban pollution assessment. *Environ Monit Assess* 119, 57-68.

RIVAS-MARTÍNEZ, S., DE LA FUENTE, V., RODRÍGUEZ, N., ORTÚÑEZ, E., AMILS, R., 2001. Mineral composition of the soils and *Erica andevalensis* plants community in the Tinto river (Southwest Spain). Libro de resúmenes XVIII *Jornadas de Fitosociología*. p. 163. León.

RIVAS GODAY, S., MANUEL PINIES, C., 1949. Acerca del área ecológica de la adelfa (*Nerium oleander* L.). *Farmacognosia* 15, 223-230.

SALT, D.E., SMITH, R.D., RASKIN, I., 1998. Phytoremediation. *Annu Rev Plant Physiol* 49, 643-668.

SMITH, R.A.H., BRADSHAW, A.D., 1972, Stabilization of toxic mine wastes by the use of tolerant plant populations. *Trans Inst Min Metall A-Min I* 81, 230-237.

TRIGUEROS VERA, D., PARRA MARTÍN, R., ROSSINI OLIVA, S., 2010. Effect of chemical and physical treatments on seed germination of *Erica australis*. *Ann Bo Fenn* 47, ISSN 0003-3847.

VANGRONSVELD, J., VAN ASSCHE, F., CLIJSTERS, H., 1995. Reclamation of a bare industrial area contaminated by non ferrous metals- in situ metal immobilization and revegetation. *Environ Pollut* 87, 51-59.

