

# ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS EN JALES MEDIANTE VEGETACIÓN ENDÉMICA E INTRODUCIDA EN FRESNILLO, ZACATECAS

Miguel Ángel Salas-Luévano\*

UNIDAD ACADÉMICA DE AGRONOMÍA

María Luisa González-Rivera

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Consuelo Letechepía de León,

Victor Martín Hernández-Dávila,

Héctor René Vega-Carrillo

UNIDAD ACADÉMICA DE ESTUDIOS NUCLEARES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS.

\*Autor responsable

masalas@uaz.edu.mx

## STABILIZATION OF HEAVY METALS IN MINE-TAILINGS THROUGH ENDEMIC AND INTRODUCED VEGETATION AT FRESNILLO, ZACATECAS

### R E S U M E N

El objetivo de este estudio fue identificar las especies de plantas que crecen en los relaves mineros y su capacidad para acumular y estabilizar As y Pb con el propósito de valorar la aplicación en programas de fitorremediación. Muestras de suelo y plantas recolectadas conjuntamente en una mina reforestada hace aproximadamente 15 años y localizada en Fresnillo, Zac. fueron recolectadas conforme a la norma oficial mexicana: NMX-AA-132-SCFI-2006. El análisis del contenido de As y Pb se realizó mediante Espectrometría de Absorción Atómica. Las familias mejor representadas fueron *Asteraceae*, *Poaceae* y *Chenopodiaceae*. Las concentraciones de As en los brotes de las plantas, promediaron 499 ppm, y para Pb fueron 7.2 ppm. Con base en el factor de bioconcentración (FBC), únicamente *Bouteloua gracilis* (FBC=1.0) tiene atributos para fitoextracción de As. Asimismo, *Amaranthus hybridus*, *Arundo donax*, *Pennisetum clandestinum* y *Botriochloa barbinodis* mostraron valores de FBC= 0.8. Los árboles reforestados después de 15 años que muestran atributos para contener As y Pb, son *Schinus molle* y *Fraxinus uhdei*, los cuales pueden ser considerados para programas de fitoestabilización en el Estado y las regiones semiáridas.

Palabras clave:

Fitorremediación, As, Pb, jales, reforestación, *Schinus molle*.

**ABSTRACT:** The aim of this study was to identify the species of plants growing in mining tailings and to determine their capacity to accumulate and stabilize As and Pb with the purpose of evaluating their application in phytoremediation programs. Soil samples and plants were collected together in a reforested mine, approximately 15 years old, located in Fresnillo, Zacatecas. Items were collected following the Mexican standard NMX-AA-132-SCFI-2006. The concentration of As and Pb was determined by Atomic Absorption Spectrometry. The best represented families were *Asteraceae*, *Poaceae* and *Chenopodiaceae*. In the shoots of the plants the average concentrations of As and Pb were 499 ppm and 7.2 ppm respectively. Based on the Bioconcentration factor (BCF) only the *Bouteloua gracilis* (BCF = 1.0) has the attribute for As phytoextraction. *Amaranthus hybridus*, *Arundo donax*, *Pennisetum clandestinum* and *Botriochloa barbinodis* showed relatively good features for As phytoextraction having a BCF = 0.8. Fifteen year old reforested trees that show attributes to contain As and Pb are *Schinus molle* and *Fraxinus uhdei*, therefore they can be considered for phytostabilization programs in the State and semi-arid regions.

Key words: phytoremediation, As, Pb, mine-tailings, reforestation, *Schinus molle*.

## INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, la minería en el pasado, fue y continúa siendo, una de las principales causas de la contaminación del medio ambiente (Batty y Younger, 2004). Los jales de minas inactivas o abandonadas, son frecuentes en las regiones áridas y semiáridas del norte de México, el oeste de Estados Unidos, la costa pacífica de América del Sur, el suroeste de España, el oeste de la India, Sudáfrica y Australia (Mendez y Maier, 2008). Las concentraciones elevadas de metales pesados (MPs), ocasionan problemas a la salud humana y al medio ambiente (Kabata-Pendias y Pendias, 1992). En este contexto la degradación de las tierras requieren medidas de remediación y restauración ambiental (Bradshaw y McNeilly, 1984). Una alternativa sustentable y de bajo costo, es el uso de plantas o fitorremediación (Reeves *et al.*, 1995). Esta tecnología comparada con otros métodos físicos y químicos, es menos perjudicial para el medio ambiente (Cunningham y Berti, 2000), e incluso, ha mejorado las estrategias de cierre y rehabilitación de zonas mineras (Gunn, 1995). El propósito de este estudio fue identificar las especies de plantas que crecen en un jale reforestado y su potencial para acumular y estabilizar As y Pb para su valoración y aplicación futura en programas de fitorremediación.

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó en sitios de disposición de relaves reforestados hace 15 años en Fresnillo, Zacatecas. El plan de muestreo y el análisis de los parámetros físico-químicos se desarrolló según la NOM-021-SEMARNAT-2000. La identificación de las plantas fue realizada al nivel de familia, género y especie mediante claves botánicas (Calderón y Rzedowski, 2001). Previo a la cuantificación del contenido de As y Pb el proceso de digestión se realizó por el método húmedo conforme a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, y la cuantificación de los MPs por Espectrometría de Absorción Atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LOS SUELOS

Los resultados de los análisis físico-químicos de los suelos del extracto saturado, presentaron pH con promedio de 7.7 clasificados como ligeramente alcalinos. La conductividad eléctrica registró

promedio de 3.6 dS m<sup>-1</sup> considerada ligeramente salina. Asimismo, este jale junto con el jale 1 (TCV) fueron los únicos cuyo contenido de materia orgánica no registraron valor alguno. Del mismo modo, la arena y el limo presentaron casi los mismos porcentajes 44%. Por último, de acuerdo al color de los residuos este varió de gris claro a amarillo rojizo, lo que sugiere un proceso de oxidación de Fe-sulfuro y la posible generación de drenaje de mina ácida (Castro-Larragoitia *et al.*, 2013).

#### **CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN LOS SUELOS RIZOSFÉRICOS DEL JALE**

El contenido de los MPs en las muestras de suelo rizosférico (TBC) se presentan en el cuadro 1. El análisis revela que las concentraciones del sustrato registraron el siguiente orden As> Pb. Por otro lado, los contenidos totales de los MPs en suelo promedió 882 mg kg<sup>-1</sup> para As y 477 mg kg<sup>-1</sup> para Pb. Esto debe tomarse en cuenta en trabajos de revegetación, porque el tiempo en que fue reforestado se puede considerar reciente, el suelo infértil y los parches de alta concentración de metales pueden afectar el crecimiento de las plantas, lo que resulta en áreas sin vegetación (Conesa *et al.*, 2007).

#### **CONTENIDO DE As Y Pb EN LA VEGETACIÓN ASOCIADA AL JALE**

A partir de las plantas recolectadas dentro del jale reforestado, se observó heterogeneidad y abundancia de la comunidad vegetal, particularmente, de especies de las familias *Asteraceae* y *Poaceae*, vegetación adaptada a las condiciones áridas y semiáridas de la región (Balleza y Villaseñor, 2011). Respecto a la concentración promedio para As acumulado en los brotes de las plantas, fue de 499 µg/g. Por otro lado, con relación a la vegetación con potencial para fitoextracción de MPs y de acuerdo al Factor de Bioconcentración (Mattina *et al.*, 2003), la proporción entre la concentración del metal en los brotes y la concentración del metal en el suelo (FBC = 1.0), solo *Bouteloua gracilis* excedió ligeramente el valor de 1.0, por consiguiente, tienen características para la fitoextracción de As. En cambio las concentraciones en *Amaranthus hybridus*, *Arundo donax* y *Pennisetum clandestinum* mostraron valores cercanos al FBC =0.8 para este mismo contaminante. Mientras que *Bothriochloa barbinodis* y *Chenopodium ambrosioides*, fue 0.7 y 0.6, respectivamente.

Clave de la muestra	Especies de plantas	Niveles de As [µg/g]		Niveles de Pb [µg/g]	
		B	S	B	S
TPF01	<i>Amaranthus hybridus</i>	669	828	2	272
TPF02	<i>Arundo donax</i>	920	1078	4	253
TPF03	<i>Baccharis neglecta</i>	394	793	2	800
TPF04	<i>Baccharis salicifolia</i>	412	726	3.8	615
TPF05	<i>Bothriochloa bardinodis</i>	585	822	6.8	253
TPF06	<i>Bouteloua gracilis</i>	1053	1049	12	417
TPF07	<i>Brickellia secundiflora</i>	420	681	16	783
TPF08	<i>Brickellia vernicosa</i>	474	714	10	628
TPF09	<i>Brickellia graveolens</i>	395	697	8	497
TPF10	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	563	949	12	492
TPF11	<i>Chenopodium graveolens</i>	213	621	2	405
TPF12	<i>Fraxinus uhdei</i>	450	717	2	767
TPF13	<i>Dalea bicolor</i>	447	747	9	368
TPF14	<i>Nicotiana glauca</i>	292	424	1	291
TPF15	<i>Opuntia ficus-indoca</i>	345	543	12	376
TPF16	<i>Pennisetum clandestinum</i>	659	822	6	354
TPF17	<i>Shinus molle</i>	306	753	6	411
TPF18	<i>Typha angustifolia</i>	380	2916	16	608

Por otro lado, respecto a la vegetación con potencial para fitoestabilización de MPs, *Schinus molle* y *Fraxinus uhdei*, este estudio ha demostrado que han logrado sobrevivir 15 años después de la reforestación del jale. Particularmente, *S. molle* presenta tolerancia extrema ambiental a suelos pobres, ácidos, alcalinos, con metales pesados y contaminación ambiental. Entre los usos de esta planta destacan su capacidad formadora de materia orgánica, mejora de la fertilidad y conservación del suelo, recuperación de terrenos degradados y control de la erosión (CONABIO, 2014). Además, tiene sistema radicular profundo y una tasa rápida de crecimiento (Punshon *et al.*, 1996). Por consiguiente, una estrategia para la recuperación de áreas con alto contenido de elementos tóxicos, es el uso de la flora resistente a tales condiciones y con potencial de interés económico (Alvarenga *et al.*, 2004). Los atributos señalados en la literatura y los observados en este jale, son indicaciones de que dicho árbol es un pionero en la ocupación de suelos contaminados por MPs, con potencial para su aplicación en programas de fitoestabilización para las zonas áridas y semiáridas de la región, incluso para el cierre de minas para prevenir problemas de contaminación por metales pesados.

**CUADRO 1.**

Concentraciones de As y Pb en plantas que crecen dentro de un jale (TPF) reforestado en una mina de Fresnillo, Zacatecas.

## C O N C L U S I O N E S

Se han identificado especies de plantas con potencial para fitoextracción y fitoestabilización de As y Pb dentro de un jale reforestado en Fresnillo, Zacatecas. Con base en los resultados obtenidos se demuestra que el sustrato del jale está contaminado principalmente con As y Pb. El contenido de estos metales pesados en la vegetación asociada, sugiere que algunas especies de plantas tienen buena capacidad para tolerar y acumular As. Con base en la capacidad para acumular metales pesados determinada por el FBC, entre la vegetación estudiada solo *Bouteloua gracilis* fue la más eficiente para absorber As. Igualmente, *A. hybridus*, *A. donax* y *P. clandestinum* (FBC = 0.8), también demostraron ser capaces de acumular As. Para el resto de la vegetación representada por especies de las familias *Asteraceae* y *Poaceae*, fue observada tolerancia para As y muestran comportamiento de “excluidoras” para dicho metal. Asimismo, *S. molle* después de su reforestación puede ser considerada para propósitos de fitoestabilización en la región. No obstante, futuras investigaciones son requeridas para evaluar el potencial de estas especies para fitorremediación de suelos contaminados por MPs, originados de las actividades mineras en el estado de Zacatecas y la región.

## R E F E R E N C I A S

- ALVARENGA, P. M, Araújo, M, F, Silva, J, A, L. (2004). Elemental uptake and root-leaves transfer in *Cistus ladanifer* L. growing in a contaminated pyrite mining area (Aljustrel-Portugal). *Water, Air, Soil Pollut.*152(1-4):81–96.
- BALLEZA, J, J, Villaseñor, J, L. (2011). Contribución del estado de Zacatecas (México) a la conservación de la riqueza florística del Desierto Chihuahuense. *Acta Bot. Mex.* 94:61-89.
- BATTY, L, C, Younger, P, L. (2004). The use of waste materials in the passive remediation of minewater pollution. *Surv. Geophy.*25(1):55–67.
- BRADSHAW, A.D. y McNeilly, T. (1984). Cuadernos de Biología: Evolución y Contaminación. Ediciones Omega. Barcelona.
- CALDERÓN, R. G. y Rzedowski, J. (2001). Flora Fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A.C. CONABIO México.

- CASTRO-LARRAGOITIA, J, Kramar, U, M, G, Monroy-Fernández, M, G, F, Viera-Dé-  
cida, F, García-González, E, G. (2013). Heavy metal and arsenic dispersion in a co-  
pper-skarn mining district in a Mexican semi-arid environment: sources, pathways  
and fate. *Environ. Earth Sci.* 69(6):1915–1929.
- CONABIO (2014). *Schinus molle*. *Schinus molle* L. (1753). Recuperado de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento\(info\\_especies/arboles/doctos/3-ana-ca4m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento(info_especies/arboles/doctos/3-ana-ca4m.pdf)
- 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 Dis-  
trict (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. *Chemosphere*.  
68(6):1180–1185.
- CUNNINGHAM, S, D, Berti, W, R. (2000). Phytoextraction and phytoremediation: tech-  
nical, economic and regulatory consideration of the soil-lead issue. En N. Terry & G.  
Bañuelos (Eds.), *Phytoremediation of contaminated soils and water* (pp. 359–376).  
CRC Press, Boca Raton, FL.
- GUNN, J, M. (1995). *Restoration and recovery of an industrial region: Progress in resto-  
ring the smelter damaged landscape the near Sudbury, Canada*. Springer Series on  
Environmental Management; Springer-Verlag, New York USA.
- KABATA-PENDIAS, A, Pendias, H. (1992). *Trace elements in soil and plants*(2nd). CRC  
Press, Boca Raton, Fla, USA.
- MATTINA, M, J, I, Iannucci-Berger, W, A, Musante, C, White, J, C. (2003). Concurrent  
plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. *Environ.*  
*Pollut.* 124(3): 375–378.
- MENDEZ, M, O, Maier, R, M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semia-  
rid environments – an emerging remediation technology. *Environ. Health Perspect.*  
116(3):278-283.
- PUNSHON, T, Dickinson, N, M, Lepp, N, W. (1996). The potential of *Salix* clones for bio-  
remediating metal polluted soil. En I. Glimmerveen (Ed.) *Heavy metals and trees*  
(pp. 93-104). Proceedings of a discussion meeting, Glasgow. Institute of chartered  
foresters, Edinburgh.
- REEVES, R, O, Baker, A, J, M, Brooks, R, R. (1995). Abnormal accumulation of trace  
metals by plants. *Mining Environ. Manage.* 3:4-8.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Diario Oficial,  
Recuperado de [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255-  
pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255-<br/>pdf)
- SEMARNAT (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Dia-  
rio Oficial, Recuperado de [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/  
nom-147-semarnat\\_ssa1-2004.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/<br/>nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf)