



Arsénico y plomo en flora semiárida que crece dentro de un jale reforestado en Zacatecas

Miguel Ángel Salas-Luévano

Unidad Académica de Agronomía | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

María Luisa González-Rivera

Unidad Académica de Ciencias Químicas | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

Consuelo Letechepía-de León | Víctor Martín Hernández-Dávila | Héctor René Vega-Carrillo

Unidad Académica de Estudios Nucleares | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS

correo-e: masalas@uaz.edu.mx

Resumen

En México los sitios de disposición de relaves son comunes en las regiones áridas y semiáridas, donde metales pesados (MPs) ocasionan problemas a la salud humana y medio ambiente. No obstante, estos sitios presentan vegetación adaptada para sobrevivir y reproducirse con potencial para fitorremediación. Una mina de Fresnillo, Zacatecas fue inspeccionada para identificar especies de plantas para fitoextracción y fitoestabilización de arsénico y plomo. El plan de muestreo se desarrolló conforme a la NMX-AA-132-SCFI-2006. Previo al análisis del contenido de As y Pb el proceso de digestión se realizó según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, directamente de cada solución final, mediante Espectrometría de Absorción Atómica. Las familias mejor representadas son *Asteraceae*, *Poaceae*, *Cactaceae*, *Fabaceae*. Respecto a los niveles de MPs, el factor de bioconcentración, para *Plantago lanceolata* destacó para Pb (0.99). Asimismo, *Casuarina equisetifolia* después de 35 años de haber sido reforestado en el jale, presenta atributos para fitoestabilización de los metales pesados analizados.

Palabras clave: fitoestabilización, As, Pb, relaves mineros, Casuarina.

Introducción

En el ámbito mundial, los jales de minas inactivas o abandonadas son frecuentes en las regiones áridas y semiáridas el suroeste de España, el oeste de la India, Sudáfrica y Australia, del oeste de Estados Unidos, la costa pacífica de América del Sur y el norte de México (Mendez y Maier, 2008); donde los lodos residuales pueden liberar elementos tóxicos, cuyas concentraciones elevadas ocasionan problemas a la salud humana y medio ambiente (Kabata-Pendias y Pendias, 1992).

Una alternativa sustentable y ambientalmente amigable es la fitorremediación, que engloba técnicas emergentes basadas en el uso de especies vegetales y sus microorganismos asociados (Pilon-Smits, 2005). Entre éstas la fitoextracción emplea plantas capaces de absorber, extraer y acumular el contaminante en sus brotes (Salt *et al.*, 1998). Mientras que la fitoestabilización es utilizada para inmovilizar y reducir la biodisponibilidad del contaminante *«in situ»* mediante la revegetación (Vangronsveld y Cunningham, 1998).

Las antiguas áreas mineras con plantas tolerantes también pueden ser consideradas como fuente potencial para la fitorremediación (Molitor *et al.*, 2005). Por consiguiente, es importante usar plantas nativas y endémicas adaptadas al medio y que colonizan naturalmente suelos mineros, porque tienen capacidad para acumular y estabilizar metales pesados. El propósito de este estudio fue identificar las especies de plantas con potencial para fitoextracción y fitoestabilización de As y Pb dentro de un jale en Fresnillo, Zacatecas.

Metodología

El plan de muestreo y el análisis de textura, materia orgánica, pH y conductividad se determinaron de acuerdo con la norma oficial mexicana: NOM-021-SEMARNAT-2000. Mientras que la interpretación de los resultados fue conducida según el National Soil Survey Handbook del USDA (2013).

La identificación de las plantas fue realizada al nivel de Familia, género y especie mediante claves botánicas (Calderón y Rzedowski, 2004). Previo a la determinación del contenido de As y Pb el proceso de digestión se realizó por el método húmedo conforme a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, directamente sobre la solución final, a través de Espectrometría de Absorción Atómica.

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis del jale muestran que el pH de los suelos promediaron valores de 7.7 y fueron clasificados como ligeramente alcalinos. La conductividad eléctrica promedió de 1.4 a 13 con un promedio de 2.6 dS m⁻¹. Asimismo, este jale fue el único cuyo contenido de materia orgánica mostró promedio de 1.2%. La arena fue la textura más abundante con porcentajes mayores que el 50%.

El color de los residuos varió de amarillo a rojo, lo que sugiere un proceso de oxidación de Fe-sulfuro y la posible generación de drenaje de mina ácida (Castro-Larragoitia *et al.*, 2013). En términos generales, es conocido que el pH y la CE son los factores más importantes y se relacionan porque bajo condiciones ácidas en la matriz de los relaves más sales se disuelven (Conesa *et al.*, 2007b).

Contenido de metales pesados en los suelos rizosféricos del jale

El contenido de los MPs en las muestras de suelo del jale (TBC) se presentan en el cuadro 1. El análisis de los resultados revela que son significativamente diferentes para estos elementos, probablemente debido a la naturaleza de las diferentes operaciones mineras (Barrutia *et al.*, 2011). El As mostró un nivel particularmente alto para los tres elementos analizados.

Por otro lado, los contenidos totales de los MPs en suelo variaron de 2066 a 4387 mg kg⁻¹ para As, y 418 a 830 mg kg⁻¹ de Pb (cuadro 1). Esto debe tomarse en cuenta en trabajos de revegetación porque

los parches de alta concentración de metales pueden afectar el crecimiento de las plantas, lo que resulta en áreas sin vegetación (Conesa *et al.*, 2007a).

Identificación y contenido de As y Pb en la vegetación asociada al jale

Las plantas recolectadas en el jale reforestado, se enlistan en el cuadro 1. Fueron identificadas un total de 23 especies pertenecientes a 12 diferentes familias. Entre éstas la familia *Asteraceae* fue la que registró la mayor diversidad con cinco especies, seguida por *Cactaceae* y *Fabaceae* con tres especies, respectivamente y *Poaceae* con dos. *Botriochloa barbinoides*, *Casuarina equisetifolia*, *Haplopappus venetus* fueron encontradas en suelos con pH ligeramente alcalino y moderadamente ácido. Al respecto, es conocido que la distribución de los metales en los jales no suele ser homogénea (Ernst, 2005).

Al respecto, Alloway *et al.* (1990) indican que el contenido de los metales en las plantas varía con la especie, lo que significa que están presentes en formas químicas que son lo suficientemente móviles para ser biodisponibles en la interface suelo/raíz (Uruioc *et al.*, 2011). Además, estos resultados demuestran que la vegetación endémica y nativa, así como la introducida, se adapta a la toxicidad del As y el Pb.

Por otro lado, Yoon *et al.* (2006) destacan que el factor de bioconcentración (FBC=proporción de concentración de metales de la planta con el suelo) puede ser utilizado para estimar el potencial de las especies para propósitos de fitorremediación. Con base en la expresión de este atributo *P. lanceolata* registró un valor cercano a 1.0 de Pb (FBC = 0.99) para Pb. Adicionalmente, muestras para Cu en *C. equisetifolia* registraron en planta y suelo de 3117 µg/g y 1082 µg/g, respectivamente, y con un FBC de 2.88. Quizá este hallazgo es el primero en zonas de México. También fue encontrada *Tillandsia recurvata* una epífita muy empleada para biomonitoriar fuentes potenciales de contaminación atmosférica (Zambrano *et al.*, 2009), cuyas concentraciones fueron 1245 µg/g para As.

Cuadro 1
Concentraciones de As, Pb y Cd en plantas que crecen dentro del jale 2 reforestado en una mina del municipio de Fresnillo, Zacatecas

Clave de la muestra	Forma de vida	Especies de plantas	Niveles de As (µg/g)		Niveles de Pb (µg/g)	
			B	S	B	S
TBC01	Arb	<i>Acacia schaffneri</i>	268	3838	26	534
TBC02	Her	<i>Asphodelus fistulosus</i>	921	4387	31	512
TBC03	Ár	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2197	3982	37	652
TBC04	Arb	<i>Baccharis salicifolia</i>	788	2378	55	723
TBC05	Her	<i>Biotriochloa barbinodis</i>	818	2368	47	818
TBC06	Arb	<i>Brickellia veroncifolia</i>	956	2454	63	572
TBC07	Her	<i>Choloris virgata</i>	78	2066	24	589
TBC08	Her	<i>Croton dioicus</i>	682	2742	45	772
TBC09	Arb	<i>Dalea bicolor</i>	717	3651	55	624
TBC10	Ár	<i>Eucalyptus globulus</i>	1809	3799	10	826
TBC11	Ár	<i>Fraxinus uhdei</i>	1452	4009	22	830
TBC12	Her	<i>Haplopappus venetus</i>	617	2683	42	689
TBC13	Her	<i>Machaeranthera pinnatifida</i>	80	3805	82	418
TBC14	Arb	<i>Nicotiana glauca</i>	379	3384	36	683
TBC15	Arb	<i>Opuntia leucotricha</i>	479	3805	54	525
TBC16	Arb	<i>Opuntia robusta</i>	1941	3205	27	639
TBC17	Arb	<i>Opuntia streptacantha</i>	414	3805	21	598
TBC18	Her	<i>Plantago lanceolata</i>	1999	4150	554	556
TBC19	Ár	<i>Prosopis laevigata</i>	1332	4049	40	778
TBC20	Her	<i>Sphaeralcea angustifolia</i>	2214	3385	0	512
TBC21	Arb	<i>Typha angustifolia</i>	380	2916	16	608
TBC22	Her	<i>Thymophyllia setifolia</i>	2380	3805	40	525
TBC23	Epi	<i>Tillandsia recurvata</i>	1245		81	

Abreviaciones: Ar=Árbol; Arb=Arbusto; He=Herbácea

Referente a los propósitos de fitoestabilización, este estudio pone de relieve el papel de *C. equisetifolia* después de 30 años de haber sido reforestado presenta características excepcionales para la aplicación de dicha tecnología en los jales estudiados. Este árbol registró una altura de casi 13 m en promedio, con abundante hojarasca de hasta 40 cm en algunas áreas. El éxito de esta especie arbórea puede establecer asociación simbiótica y formar nódulos en las raíces con *Frankia*, un actinomiceto

con capacidad para realizar altas tasas de nitrógeno comparable a las leguminosas (Franché *et al.*, 2009).

Los atributos señalados en la literatura y los observados en este jale son evidencias de que dicho árbol es pionero en la ocupación de suelos contaminados, con potencial para fitoestabilización de metales pesados para su aplicación favorable en zonas áridas y semiáridas de la región.

Conclusiones

Se han identificado especies de plantas con potencial para fitoextracción y estabilización de As y Pb dentro de un jale reforestado en Fresnillo, Zacatecas. Con base en los resultados obtenidos se demuestra que el substrato del jale está contaminado principalmente con As y Pb.

El contenido de estos metales pesados en las plantas sugiere que algunas tienen buena capacidad para tolerar y acumular Pb y As. Entre la vegetación analizada *Plantago lanceolata* y *Casuarina equisetifolia* fueron las más eficientes para absorber Pb y Cu, con valores del FBC (0.99) y (2.88), respectivamente. No obstante, el potencial de estas especies de plantas para la fitoextracción tiene que ser más investigado.

Referencias

- Alloway, B.J., Jackson, A.P., Morgan, H. (1990). The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources. *Science of the Total Environment*, 94:223-36.
- Baker, A., Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Bio-recovery*, 1:84-126.
- Barrutia, O., Artetxe, U., Hernández, A., Olano, J., M., García-Plazaola, J.I., Garbisu, C., Becerril, J.M. (2014). Native plant communities in an abandoned Pb-Zn mining area of Northern Spain: Implications for phytoremediation and germplasm preservation. *International Journal of Phytoremediation*, 13(3):256-270.
- Calderón, R.G., Rzedowski, J. (2004). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. México: Instituto de Ecología, A.C./CONABIO.
- Castro-Larragoitia, J., Kramar, U.M., Monroy-Fernández, M., Viera-Décida, F., García-González, E.G. (2013). Heavy metal and arsenic dispersion in a copper-skarn mining district in a Mexican semi-arid environment: sources, pathways and fate. *Environmental Earth Sciences*, 69(6):1915-1929.
- Conesa, H.M., Faz, Á., García, G., Arnaldos, R. (2007a). Heavy metal contamination in the semiarid area of Cartagena La Unión (SE Spain) and its implications for revegetation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(9a):1076-1081.
- Conesa, H.M., García, G., Faz, A., Arnaldos, R. (2007b). 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(6):1180-1185.
- Ernst W., H.O. (2005). Phytoextraction of mine wastes. Options and impossibilities. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 65(S4):29-42.
- Franché, C., Lindström, K., Elmerich, C. (2009). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant Soil*, 321(1-2):35-59.
- Freitas, H, Prasad, M.N., Pratas, J. (2004). Plant community tolerant to trace elements growing on the degraded soils of Sao Domingos mine in the south east of Portugal: environmental implications. *Environment International*, 30(1):65-72.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1992). *Trace elements in soil and plants* (2nd Ed.). Boca Raton, Fla, USA: CRC Press.
- Mendez, M., Maier, R. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments. An emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, 116(3):278-283.
- Molitor, M., Dechamps, C., Gruber, W., Meerts, P. (2005). *Thlaspi caerulescens* on nonmetalliferous soil in Luxembourg: ecological niche and genetic variation in mineral element composition. *New Phytologist*, 165(2): 503-512.

- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56:15-39.
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49:643-668.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, *Diario Oficial*. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255-pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, *Diario Oficial*. Recuperado de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/4392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf
- Tordoff, G., Baker, J., Willis, A. (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous wastes. *Chemosphere*, 41(1-2):219-228.
- United States Department of Agriculture (USDA) (2014). Natural Resources Conservation Service. National soil survey handbook, title 430-VI. Recuperado de <http://soils.usda.gov/technical/handbook/>
- Uruioc, E., Măsu, S., Albulescua, M., Krstić, V., Stanković, S., Obradović, L. (2011). Bioaccumulation of heavy metals in spontaneous plants, developed on mining area from SW Romania. *Annals of West University of Timisoara. Series of Chemistry*, 20(4):81-88.
- Vangronsveld, J., Cunningham, S. (1998). *Metal-Contaminated Soils: In situ Inactivation and Phytoremediation*. Georgetown, Texas: R. G. Landes Company.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, O., Ma, Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 2-3:456-464.
- Zambrano, G.A., Medina, C.C., Rojas, A.A., López, V.D., Chang, M.L. y Sosa, I.G. (2009). Distribution and sources of bioaccumulative air pollutants at Mezquital Valley, Mexico, as reflected by the atmospheric plant *Tillandsia recurvata* L. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(17):6479-6494.