

USO DE *Cenchrus ciliaris* L. y *Setaria verticillata* L. EN LA FITOESTABILIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO Y CADMIO

Cenchrus ciliaris L. USE AND *Setaria verticillata* L. PHYTOSTABILIZATION IN CONTAMINATED SOIL LEAD AND CADMIUM

A. D. Galaviz Lozano¹, R. Trejo Calzada¹

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.
Autor de correspondencia: rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx

RESUMEN. En Bermejillo, Durango, se localiza una planta metalúrgica de la industria minera, representando una de las fuentes emisoras de compuestos de plomo más grandes en el país, provocando contaminación al medioambiente y riesgos a la salud. El objetivo de este estudio fue evaluar las especies de pastos *Setaria verticillata* L. y *Cenchrus ciliaris* L. como fitoestabilizadoras de metales pesados al desarrollarse en suelos con diferentes concentraciones de Pb y Cd. En junio 2009 se estableció un experimento de diseño factorial 2x3x2 en bloques al azar con cuatro repeticiones en condiciones de invernadero. Los factores variables fueron: especie (*Cenchrus ciliaris* L. y *Setaria verticillata* L.), dosis de plomo (0,100 y 200 mg Kg⁻¹) y dosis de cadmio (0 y 10 mg Kg⁻¹). A los 40 días después de la siembra (dds) se cosechó, se separó parte aérea y raíz y se prepararon muestras en digestión húmeda para la determinación de plomo y cadmio mediante espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito. Se encontró que *Setaria verticillata* L. acumuló significativamente mayor cantidad de plomo y cadmio en la raíz, y mayor concentración de cadmio en tejidos aéreos que *Cenchrus ciliaris* L. La acumulación de plomo y cadmio en ambas especies es reducida con respecto a la concentración de los metales presentes el sustrato.

Palabras clave: Suelos contaminados, Plomo, Cadmio, fitoestabilización, *Setaria verticillata* L., *Cenchrus ciliaris* L.

SUMMARY. In Bermejillo, Durango, a metallurgical plant is located in the mining industry, representing one of the largest emission sources of lead in the country, causing pollution to the environment and health risks. The aim of this study was to evaluate the grass species *Setaria verticillata* L. and *Cenchrus ciliaris* L. for phytostabilization of heavy metals as they develop in soils with different concentrations of Pb and Cd. An experiment in 2x3x2 factorial randomized block with four replications was carried out in a greenhouse. The variable factors were: species (*Cenchrus ciliaris* L. and *Setaria verticillata* L.), dose of lead (0.100 and 200 mg kg⁻¹) and dose of cadmium (0 and 10 mg kg⁻¹). Grass was harvested at 40 days after sowing (das), separating shoot and root samples which were prepared by wet digestion for determination of lead and cadmium by atomic absorption spectrophotometer with graphite furnace. *Setaria verticillata* L. accumulated significantly higher amount of lead and cadmium in the root, and higher concentration of cadmium in aboveground tissues than *Cenchrus ciliaris* L. The accumulation of lead and cadmium in both species is reduced with respect to the concentration of metals present on the substrate.

Keywords: contaminated soils, lead, cadmium, phytostabilization, *Setaria verticillata* L., *Cenchrus ciliaris* L.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe en Torreón Coahuila, una compañía metalúrgica que es la única fundidora primaria y refinadora de plomo en México, siendo la principal fuente emisora de compuestos de plomo en el país (Valdés y Cabrera, 1999), que provoca una grave contaminación ambiental y un gran riesgo para la salud de los pobladores de esta región.

La contaminación de suelos es un problema muy serio, debido a que los contaminantes pueden ser absorbidos por las plantas y trasladados a los animales y a las personas a través de la cadena alimenticia (Sauerbeck, 1982). Además, los fuertes vientos característicos de este lugar y suelos desprovistos de vegetación favorecen el arrastre de los metales peligrosos como el caso del plomo y el cadmio a poblaciones aledañas.

La Fitorremediación es una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados que se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney *et al.*, 1997).

La fitorremediación contempla seis procesos básicos a través de los cuales las plantas pueden contribuir a la recuperación de suelos, sedimentos y aguas contaminadas. dependiendo de la estrategia de recuperación, estos procesos darán lugar a la contención o a la eliminación de los contaminantes del suelo. La fitoestabilización y la fitoinmovilización corresponden a la primera de las dos estrategias, mientras que la fitoextracción, fitodegradación, fitovolatilización y rizofiltración representan procesos de eliminación (Bernal *et al.*, 2007).

La fitoestabilización es el uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio (Carpena y Pilar, 2007).

A diferencia de otras técnicas de fitorremediación, el objetivo de la fitoestabilización no es para remover el metal de los sitios contaminados, sino lograr su estabilización y reducir el riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Flathman y Lanza, Schnoor, 2000 citado por Vara *et al.*, 2003).

Las plantas elegidas para realizar fitoestabilización deben ser pobres traslocadores de metales contaminantes a los tejidos aéreos, debido a que podrían ser consumidos por los seres humanos o animales (Flathman y Lanza, 1998).

El objetivo de esta investigación fue identificar especies de pastos tolerantes y no acumuladoras de metales pesados para ser utilizadas como especies fitoestabilizadoras de suelos contaminados con plomo y cadmio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación sitio experimental

El experimento fue desarrollado en el invernadero de investigación de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Mapimí, Durango.

Muestreo y recolección de pastos

Para identificar los pastos más abundantes distribuidos en la zona se realizaron muestreos en cuatro sitios, utilizando la línea de Canfield con una longitud de 100 metros, con cinco transectos en cada sitio, a una distancia aproximada de 10 metros entre cada transecto.

Se detectaron los pastos más abundantes, se colectaron ejemplares y sus semillas. Los pastos fueron identificados con ayuda de claves botánicas (Rodríguez, 2000).

Pruebas de germinación

Primera prueba de germinación. Se estableció la primera prueba, colocando 100 semillas de cada una de estas cuatro especies en trozos de papel de estraza, se enrollaron los cuatro pliegos, se colocaron dentro de una bolsa de plástico y se pusieron dentro de una incubadora a 25 °C.

Segunda prueba de germinación. Esta prueba fue realizada en cajas petri utilizando algodón como sustrato. De cada especie se llevaron a cabo cuatro repeticiones, en cada caja fueron colocadas 50 semillas por lo que en total se pusieron a germinar 200 semillas de cada especie.

Tercera prueba de germinación. En esta prueba se aplicó un tratamiento previo a la semilla utilizada, mediante remojo por 20 horas, antes de ser puesta a germinar. Utilizando como sustrato arena, se colocaron 100 semillas de cada especie en forma de surco en una charola.

Especies evaluadas. *Cenchrus ciliaris* y *Setaria verticillata* se eligieron para ser evaluadas en este experimento por presentar mayores porcentajes de germinación.

Diseño del experimento. Cada unidad experimental fue representada por una maceta, el experimento fue realizado en bloques al azar, con un arreglo factorial de 2 x 3 x 2 con cuatro repeticiones. Los factores variables fueron: especie (*Cenchrus ciliaris* y *Setaria verticillata*), dosis de Plomo (0, 100 y 200 mg Kg⁻¹) y dosis de Cadmio (0 y 10 mg Kg⁻¹).

Establecimiento del experimento. Se utilizó suelo como sustrato con bajo contenido de metales pesados, fue colocado en macetas a razón de 12.5 kg, las macetas fueron regadas con agua purificada mediante ósmosis inversa, y el 7 de junio de 2009 se realizó la siembra.

Se utilizaron Nitrato de Plomo Pb y Cloruro de Cadmio como agentes contaminantes.

La adición de los metales pesados al suelo se hizo en forma fraccionada, la primera fracción con una cuarta parte de la dosis final fue aplicada a los 4 días después de la siembra (dds), otra cuarta parte se aplicó a los 7 dds, y la última mitad se aplicó a los 10 días dds.

Medición de fotosíntesis. A los 39 dds, se midió la tasa fotosintética utilizando un medidor portátil de fotosíntesis (IRGA LI-6400).

Cosecha. El 17 de julio del 2009 (40 dds) se extrajeron los pastos completos con raíz, luego de extraídos, se separó la parte aérea y su raíz

Cuantificación de metales. La determinación de Pb y Cd, se llevó a cabo con base en la Norma Oficial Mexicana NOM117-SSA1-1994 para la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica. Las muestras de raíz y parte aérea fueron digeridas en una mezcla ácido perclórico y ácido nítrico en una relación 3:2. Las muestras digeridas fueron leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo 210 VGP acoplado a horno de grafito de la marca Buck Scientific modelo 220-GF, con automuestreador modelo 220-AS. Se determinó La concentración de plomo y cadmio en tejidos de raíz y aéreos.

Análisis estadístico. Se llevó a cabo un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey con el paquete estadístico SAS 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Pastos germinados

Las especies de pasto más abundantes fueron: *Cenchrus ciliaris* L., *Setaria verticillata*, *Eragrostis pilosa* y *Bouteloua gracilis*. Las especies *Cenchrus ciliaris* L. y *Setaria verticillata* L. tuvieron los mayores porcentajes de germinación (79% y 84%, respectivamente) en las diferentes pruebas frente a *Eragrostis pilosa* y *Bouteloua gracilis* (8% y 9%, respectivamente), la última prueba de germinación en arena previo remojo de semillas fue la que mayores porcentajes de germinación presentó.

Acumulación de plomo

Acumulación de plomo en raíz. El análisis de varianza muestra que los tratamientos de *Setaria verticillata* L. con concentraciones de 100 y 10 (mg kg⁻¹) y 200 y 0 (mg kg⁻¹) de plomo y cadmio respectivamente tuvieron un efecto significativo (P<0.05) en la acumulación de Pb en raíz; sin embargo la prueba de rangos múltiples de medias no detectó diferencias significativas entre tratamientos.

Efectos de interacción: Se presentó un efecto de interacción significativo (P<0.05) entre la acumulación de plomo en raíz y las especies evaluadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acumulación de plomo en raíz de las especies evaluadas

Especie	Media* (mg kg ⁻¹)
<i>Setaria verticillata</i> L.	10.613 ^a
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	2.224 ^b

*Vabres con la misma letra no son significativamente diferentes, (Tukey, $\alpha=0.00$, $n=4$)

Acumulación de plomo en tejidos aéreos. La prueba de rango múltiple de medias arrojó que los tratamientos de *Cenchrus ciliaris* L. crecidos en concentraciones de 100 y 0, y 200 y 0 mg kg⁻¹ de plomo y cadmio respectivamente, y *Setaria verticillata* L. en concentraciones de plomo y cadmio (mg kg⁻¹) de 100 y 10, 20 y 0, y 200 y 10, acumularon una cantidad estadísticamente mayor de plomo en tejidos aéreos que el resto de los tratamientos.

Efectos de interacción: Existió efecto de interacción significativo (P<0.05) de la concentración de Pb aéreo con las concentraciones de plomo siendo estadísticamente más alta la acumulación de plomo en tejidos aéreos al desarrollarse en sustrato con 200 mg kg⁻¹ de plomo. Sin existir diferencia significativa en la concentración de plomo en tejidos aéreos de las especies evaluadas.

Acumulación de cadmio

Acumulación de cadmio en raíz. La prueba de rango múltiple de medias arrojó que los tratamientos de *Setaria verticillata* L. a concentraciones de 200 y 10, 100 y 10, y 0 y 10 mg kg⁻¹ de plomo y cadmio respectivamente acumularon estadísticamente mayor cantidad de cadmio en la raíz, siendo los tratamientos de *Setaria verticillata* L. donde se aplicó cadmio.

Efectos de interacción. Existió un efecto significativo (P<0.05) en la interacción con especie (Cuadro 2), y concentraciones de cadmio en el sustrato siendo estadísticamente mayor la acumulación de cadmio a la concentración de 10 mg kg⁻¹ con respecto a los tratamientos que no se aplicó cadmio (testigo).

Cuadro 2. Acumulación de cadmio en raíz de las especies evaluadas

Especie	Media (mg kg ⁻¹)
<i>Setaria verticillata</i> L.	1.1834 ^a
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	0.6388 ^b

*Vabres con la misma letra no son significativamente diferentes, (Tukey, $\alpha=0.00$, $n=4$)

Acumulación de cadmio tejidos aéreos. La mayor acumulación de cadmio con un valor mayor, y estadísticamente diferente por la prueba de rango múltiple de medias se presentó en *Setaria verticillata* L. crecido en sustrato con 100 y 10 mg kg⁻¹ de plomo y cadmio.

Efectos de interacción

Existió un efecto significativo (P<0.05) en la interacción con especie, concentración de plomo y concentración

de cadmio en el sustrato. Acumulándose estadísticamente ($\alpha=0.05$) una mayor cantidad de cadmio en tejidos aéreos al desarrollarse a una concentración de plomo de 100 mg kg⁻¹ en el sustrato con una media de 0.7156 mg Kg⁻¹.

La concentración de cadmio en el sustrato también generó un efecto significativo en la interacción ($P<0.05$) acumulándose una mayor cantidad de cadmio en tejidos aéreos al desarrollarse a una concentración de 10 mg Kg⁻¹ de cadmio en el sustrato. Siendo más acumuladora *Setaria verticillata* L. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Acumulación de cadmio en tejidos aéreos de especies evaluadas

Especie	Media (mg kg ⁻¹)
<i>Setaria verticillata</i> L.	0.64698 ^a
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	0.35345 ^b

*Valores con la misma letra no son significativamente diferentes, (Tukey, $\alpha=0.00$, $n=4$)

Fotosíntesis

La prueba de medias muestra que no existió un efecto significativo ($P<0.05$) en la tasa fotosintética como respuesta a los tratamientos.

Tampoco mostraron efectos significativos ($P<0.05$) las variables (especie, plomo y cadmio) ni sus interacciones, los mismos resultados arroja la prueba de rango múltiple de medias (Tukey).

Sierra (2006), evaluó la asimilación de plomo por el pasto Rye-grass (*Lolium multiflorum*), al desarrollarse en suelos altamente contaminados a causa de la actividad industrial adicionándole diferentes fuentes de materia orgánica, un suelo declarado con severa contaminación al encontrarse una concentración de plomo de 4,800 mg kg⁻¹, se evaluó la capacidad fitoextractora de esta especie, encontrando que la mayor acumulación de plomo se dio en el testigo donde no se adicionó materia orgánica, sin embargo era un suelo con menor salinidad, al compararlo con los restantes, encontrando concentraciones de 2,438.89 mg g⁻¹, siendo concentraciones muy altas, las cuales contrastan con los resultados en esta investigación, ya que se encontró que *Cenchrus ciliaris* L. y *Setaria verticillata* L. muestran un umbral de asimilación y ya no responden en la acumulación a pesar de encontrarse a niveles más altos de metales en el sustrato.

Particularmente, en este trabajo el incremento en la concentración de plomo en el sustrato no mostró tener efecto significativo sobre la acumulación de plomo en

tejidos de raíz. Sin embargo numéricamente la concentración de 100 mg kg⁻¹ mostró una mayor acumulación, siendo incluso superior los resultados obtenidos en sustrato a 200 mg kg⁻¹, en el caso de la concentración de plomo en tejidos aéreos si hubo una respuesta significativa al incrementar la concentración del metal en el sustrato pero sin apartarse de la media general, sucediendo lo mismo en el caso de la acumulación de cadmio en tejidos de la raíz y tejidos aéreos.

Estos resultados muestran un potencial de *Cenchrus ciliaris* L. y de *Setaria verticillata* L. como especies aptas para la estabilización de metales pesados en suelos contaminados.

Se busca que las especies utilizadas para realizar estabilización de suelos no trasladen los metales pesados a sus tejidos aéreos de manera que no represente un peligro su aprovechamiento, y se evite el tener que dar un manejo a los residuos de cosecha (Flathman y Lanza, 1998).

Santibañez C. y Ginocchio (2007) realizaron un estudio evaluando la vegetación nativa de Coquimbo, Chile, expuesta a metales pesados por actividad minera, con el objetivo de identificar las especies vegetales con potencial para realizar estabilización de suelos contaminados con cobre (Cu), encontrando 112 especies con potencial fitoextractor, de las cuales 24 presentaron la característica de exclusión a Cu y con acumulación en la raíz, pertenecientes a las familias Asteraceae (28%) y Poaceae (11%).

Las especies evaluadas en esta investigación pertenecen a la familia Poaceae, coincidiendo con los resultados de Santibañez C. y Ginocchio (2007), al presentar diferentes características de exclusión sin acumular cantidades tóxicas de metales en tejidos de la planta, de tal manera que resulte peligroso su aprovechamiento, disminuyendo los riesgos de salud por acumulación a través de la cadena trófica.

CONCLUSIONES

Las especies evaluadas en esta investigación pueden ser apta para realizar fitoestabilización de suelos.

Se encontró que *Setaria verticillata* L. acumuló significativamente mayor cantidad de plomo y cadmio en la raíz, y mayor concentración de cadmio en tejidos aéreos que *Cenchrus ciliaris* L. La acumulación de plomo y cadmio en ambas especies es reducida con respecto a la concentración de los metales presentes el sustrato.

LITERATURACITADA

- Bernal M.P., Clemente R., Vazquez S. y Walker D.J. Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados
- Carpaena R.O. y Pilar, M. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. Ecosistemas. Asociación española de ecología terrestre.
- Chaney, R.L., Reeves, P.G., Ryan, J.A., Simmons, R.W., Welch, R.M. y Scott, Angle, J. 2004. An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks. *BioMetals* 17: 549-553. In: Aznalcóllar, 2007. Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, asociación española de ecología terrestre.
- Flathman, P.E. y Lanza, G.R. 1998. Phytoremediation: current views on an emerging green technology. *Journal of Soil Contamination, Minera y Metalúrgica, CIMM*. Santiago, Chile vol. 7 (4): 415-432.
- Rodríguez B., C. 2000, Gramíneas: características y claves. Universidad Autónoma Chapingo, Vol. 1 Estado de México, México.
- Santibañez C. y Ginocchio, R. 2007. Uso de recursos filogenéticos nativos para la fitoestabilización de relaves mineros en la región de Coquimbo. Chile. Informe.
- Sauerbeck, D. (1982) Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht ubeschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigung zu vermeiden? *Landwirtsch Forsch Sonderheft* 39:105-129
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Reporte de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, 2005. Consulta electrónica de registros, recuperado 16 de Octubre de 2010 de <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php?nra=MMP7L0503511&ano=2005>
- Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrofotometría de absorción atómica. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/117ssa14.html>. (Recuperado 15 octubre de 2009)
- Sierra R. V. Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial, 2006. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Depto. Ciencias del suelo Técnico proyecto Innove-Chile de CORFO. Centro de Investigación. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Valdez F. y Cabrera V. M. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. En *Defensa del Ambiente*, A.C. Texas center for Policy studies.
- Vara M., N. y Oliveira H., M. 2003. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2003:286-305.

