



Acumulación de Metales Pesados en Plantas Desarrolladas en el Norte de Sinaloa para Propósitos de Fitorremediación

Accumulation of Heavy Metals in Plants Developed in Northern Sinaloa for
Phytoremediation Purposes

Florencio Moreno-Osuna^{a,b}, Carlos Soto-Robles^b, Guadalupe Rodríguez-Meza^c, Jesus
Rodríguez-Apodaca^a, Eusebio Nava-Perez^c, Wenceslao Valenzuela-Quñonez^c, Eder
Lugo-Medina^{b*}

^a Universidad Autónoma Indígena de México, C.P. 81229, Los Mochis, Sinaloa, México.

^b Tecnológico Nacional de México/IT de Los Mochis C.P.81259, Los Mochis, Sinaloa, México.

^c Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Regional- Instituto Politécnico Nacional,
C.P.81101, Guasave, Sinaloa, México

Abstract— In recent years, phytoremoving has been presented as a suitable strategy for removing heavy metals in contaminated soils. In this work, the extraction capacity of Lead (Pb) and Copper (Cu), which contains three varieties of plants that develop in the northern region of the state of Sinaloa, is evaluated: Manso herb (*Anemopsis californica*), Moringa (*Moringa oleifera*) and Junquillo (*Schoenoplectus tabernaemontani*). The study was carried out in a controlled way, adding Pb and Cu solutions, in the soil where each of the varieties under study is planted. In the treatments, 100 ml of lead nitrate and copper nitrate solution with a concentration of 2000 ppm were added daily for 70 days, in previously characterized soils. In parallel there were witnesses, which were watered throughout the period exclusively with water. After the treatment period, the concentrations of Pb and Cu in the plants and in the soils were determined by means of an atomic absorption spectrophotometer. Of the plants analyzed, *Schoenoplectus tabernaemontani* is the one with the highest accumulation of Cu (accumulation coefficient of 192.12), while Moringa accumulates the highest concentration of Pb (accumulation coefficient of 45.77).

Keywords— *Anemopsis californica*, Copper, Lead, *Moringa oleifera*, Phytoremediation, *Schoenoplectus tabernaemontani*.

Resumen— En los últimos años la fitorremediación se presenta como una estrategia adecuada para la remoción de metales pesados en suelos contaminados. En este trabajo se evalúa la capacidad extractora de Plomo (Pb) y Cobre (Cu) que poseen tres variedades de plantas que se desarrollan en la región norte del estado de Sinaloa en México, como lo son: Hierba del manso (*Anemopsis californica*), Moringa (*Moringa oleifera*) y Junco gigante (*Schoenoplectus tabernaemontani*). El estudio se llevó a cabo de manera controlada, adicionando soluciones de Pb y Cu al suelo donde se plantaron cada una de las variedades en estudio. En los tratamientos se adicionó 100 ml diarios de solución de nitrato de plomo y nitrato de cobre con una concentración de 2000 ppm durante 70 días, en suelos previamente caracterizados. De las plantas analizadas el *Schoenoplectus tabernaemontani* es el que presenta la mayor acumulación de Cu (coeficiente de acumulación de 192.12), mientras que la *Moringa oleifera* acumula mayor concentración de Pb (coeficiente de acumulación de 45.77).

Palabras Claves— *Anemopsis californica*, Cobre, Fitorremediación, *Moringa oleifera*, Plomo, *Schoenoplectus tabernaemontani*.

I. INTRODUCCIÓN

Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran generalmente en bajas concentraciones en el medio ambiente, sin embargo, en los últimos años sus niveles de concentración en los suelos han ido aumentando como resultado de distintas actividades antropogénicas. Así, se considera que existe contaminación del suelo cuando la composición del mismo se desvía de su composición “normal”, denominado nivel o fondo biogeoquímico [1]. Los metales pesados han sido ampliamente utilizados en muchas actividades, tales como la agricultura, la minería, la fundición y el refinado del oro [2]. Por lo tanto, se han documentado serios problemas asociados a la contaminación de los suelos en estas actividades. La toxicidad de los metales no depende solamente de su concentración total, sino de su disponibilidad y reactividad con otros componentes del sistema. La disponibilidad de los metales en los suelos está estrechamente relacionada con el pH, el tipo de materia orgánica (sustancias húmicas en forma soluble o insoluble) e incluso la temperatura del suelo [3]. Estos materiales suponen un riesgo por: su lixiviación hacia aguas superficiales y subterráneas, absorción por las plantas, y finalmente, el paso a la cadena trófica. Cuando se dan niveles muy altos de biodisponibilidad, tanto de los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, etc.) como de los no esenciales (Cd, Pb, Hg, Cr, etc.) pueden llegar a resultar tóxicos [4].

En la actualidad sigue existiendo la necesidad de tecnologías para remediar los suelos contaminados. Las principales técnicas de remediación incluyen extracción de vapor, desorción térmica, lixiviación del suelo, solidificación, degradación enzimática, incineración, adsorción e intercambio iónico. Estos métodos dan como resultado la contaminación secundaria del aire o las aguas subterráneas, reducen la fertilidad del suelo y los hacen inadecuados para la agricultura. Además, su costo suele ser muy elevado [5]. Por lo anterior, distintos investigadores han prestado atención a la fitorremediación de suelos contaminados, como una alternativa. Esta técnica 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 [6]. Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes [7].

Las especies de plantas ideales para la fitoextracción son aquellas que poseen la capacidad de acumular y tolerar altas concentraciones de metales en el tejido cosechable, y exhiben una rápida tasa de crecimiento [8]. La acumulación de metales pesados en las plantas inhibe o activa algunos procesos enzimáticos que afectan su productividad tanto

cualitativa como cuantitativamente [9]. El plomo (Pb), el arsénico (As) [10], el cadmio (Cd) y el zinc (Zn) [11], y otros metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas. Algunas plantas cultivadas y silvestres se han usado como medio en el proceso de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, por ejemplo: *Melia azedarach* L. [12], *Jatropha curcas* [13], *Phyllostachys pubescens* [14], *Zea mays* L. [15], *Sesuvium portulacastrum* L. [16], *Sagittaria montevidensis* [17], *Hydrocotyle ranunculoides* [18], *Solanum nigrum* L. [19], entre otros. En México, se han identificado especies vegetales con capacidad de absorción de metales pesados y capaces de establecer relaciones mutualistas con microorganismos, mejorando así su capacidad de fitorremediación. Algunos de los géneros vegetales más estudiados son *Thypha*, *Crassipes*, *Acaccia*, *Amaranthus*, *Prosopis* y *Helianthus*, por otro lado, entre las bacterias más estudiadas están los géneros *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Curtobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthomonas* y *Pseudomonas*, así como hongos del género *Glomus* [20].

Hasta ahora, son pocos los estudios realizados con plantas adaptadas a las zonas áridas y semiáridas en la fitoextracción de metales pesados; a pesar de que la región árida y semiárida comprende aproximadamente 103 millones de hectáreas, es decir el 52 % de la superficie continental de México [21]. En estas regiones existe un reservorio natural de plantas con un potencial poco estudiado y se hace interesante experimentar con plantas que están perfectamente adaptadas a las condiciones climáticas y de humedad que prevalecen en la región de estudio. Por lo tanto, en este trabajo se propone, evaluar la capacidad que presentan el tallo y las hojas de la Hierba del manso (*Anemopsis californica*), Moringa (*Moringa oleifera*) y Junco gigante (*Schoenoplectus tabernaemontani*) para extraer Cu y Pb de suelos contaminados.

Algunas de estas plantas ya se han utilizado en la fitorremediación de metales pesados; de las que más estudios ha mostrado es la *Moringa oleifera* [22-26], la cual ha tenido resultados positivos al igual que la *Anemopsis californica* [27-29]. Sin embargo, el objetivo de este trabajo es poder observar el comportamiento de estas tres especies en el tipo de suelo de la región y comparar *Schoenoplectus tabernaemontani* respecto a las otras especies que han mostrado resultados positivos, bajo distintas condiciones. Por lo tanto, se considera viable el estudio y comparación de estas tres especies para la absorción de Pb y Cu en el tallo y hojas.

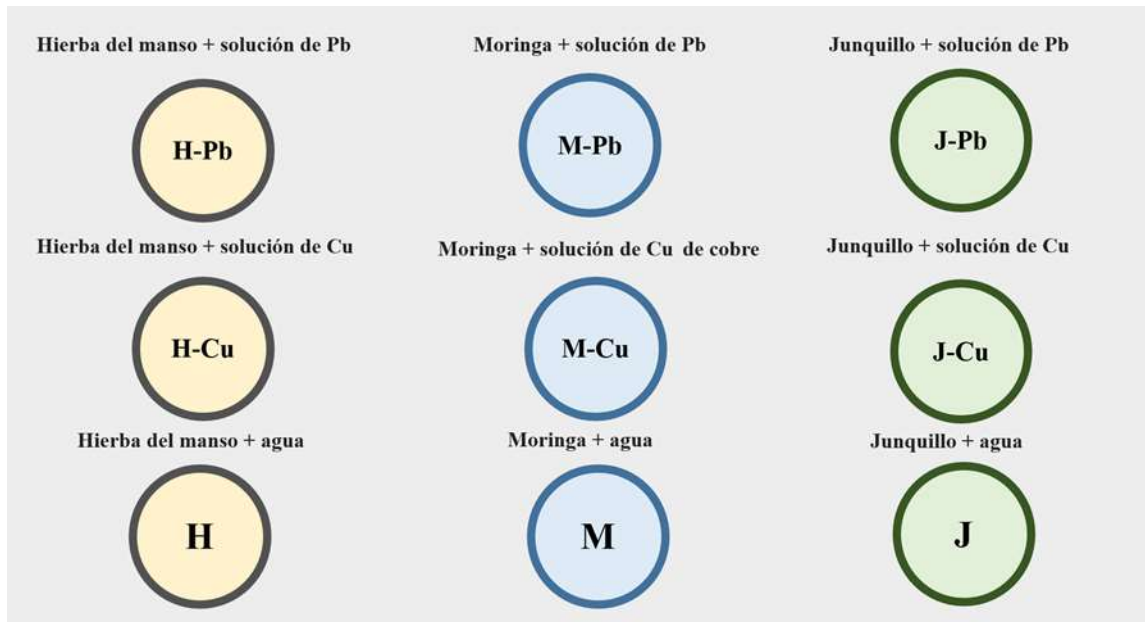


Fig. 1. Distribución de los contenedores en el espacio de experimentación.

II. METODOLOGÍA

(1) Materiales

Como precursores de los metales en la preparación de las soluciones se utilizó Nitrato de Cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) y Nitrato de Plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ambos marca Jalmex Científica. En las digestiones se utilizó Ácido Clorhídrico al 37 % (HCl) y Ácido Nítrico al 69% (HNO_3) marca J. T. Baker. Se empleó agua destilada para las soluciones concentradas en tanto que las diluciones y el regado diario de las plantas se llevó a cabo con agua potable.

Para las curvas de calibración del espectrofotómetro atómico se utilizaron soluciones patrón certificadas: Adquiridas en Perkin Elmer de 1000 ppm para Cobre (Cu en HNO_3 al 2%) y de 1000 ppm para Plomo (Pb en HNO_3 al 2%).

(2) Preparación del suelo

El suelo donde son cultivadas las distintas especies de plantas para la acumulación de metales fue extraído en el municipio de Ahome, Sinaloa, México (lat. 109.048611, lon. 25.948056). Al suelo recolectado se le eliminan componentes ajenos y se tritura, para proceder a la caracterización del mismo.

(3) Caracterización del suelo

Para conocer algunas de las propiedades y corroborar el tipo de suelo con el cual se está trabajando se realizaron algunas pruebas, entre las cuales encontramos: determinación de pH, conductividad eléctrica, Ca soluble, Na intercambiable, % de

materia orgánica, relación de adsorción de Na, % C, % de arena, % de limo, Pb Total, Zn Total, Cd Total y Cu Total. Los análisis se llevaron a cabo siguiendo las metodologías establecidas en USDA (por sus siglas en inglés, United States Department of Agriculture) [30].

(4) Cultivo de las plantas y suministro de Cu y Pb

El cultivo de Hierba del manso (*Anemopsis californica*), Moringa (*Moringa oleifera*) y Junco gigante (*Schoenoplectus tabernaemontani*) se llevó a cabo en contenedores de plástico, los cuales, contenían 2 kg de suelo homogeneizado y previamente caracterizado.

El área de cultivo se encontraba a espacio abierto (25° 53' 31.99" latitud norte, 103° 36' 11.23" longitud oeste). Las plantas de cada variedad tenían un desarrollo aproximado de un mes en su estado natural cuando se trasplantaron para iniciar el tratamiento con Pb y Cu. En total se utilizaron nueve contenedores para cada cultivo; seis para ser tratadas con los metales (tres para Pb; tres para Cu) y tres que servirían como testigos o blancos (solo en contacto con agua, y los factores bióticos y abióticos del entorno). En la Fig. 1 se muestra la distribución en el espacio de los recipientes.

Para el suministro de Cu y Pb, primeramente, prepararon soluciones acuosas de Nitrato de Cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) y Nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) a 2000 ppm. En los tratamientos se adicionó 100 ml diarios de solución en suelos previamente caracterizados, durante 70 días. En paralelo se tuvieron testigos las cuales fueron regadas durante todo el periodo exclusivamente con agua potable, como se observa en la Fig. 1.

(5) *Determinación de acumulación de Pb y Cu*

$$(y=ax+b) \tag{1}$$

Para el análisis de acumulación de metales en el suelo, primeramente, se tomaron muestras de aproximadamente 100 g de cada uno de los contenedores. Posteriormente se trituraron y homogeneizaron de manera independiente y se dejaron secar durante 7 días a 60 °C. Para el proceso de digestión se tomó 0.5 g de cada muestra y se le adicionó 5 ml de agua regia, colocándose en un plato de calentamiento a 80 °C durante 180 minutos. Después de transcurrido este tiempo y una vez fría las muestras, lo restante se diluyó (aforándose a 50 ml) con agua destilada para dar lugar a las lecturas en un espectrofotómetro de absorción atómica por aspiración, marca GBC Modelo Savanta a base de flama por acetileno y aire.

Siendo; (y) la medida de la absorbancia, (a) la pendiente de la recta, (x) la concentración del analito y (b) el cruce de la recta con la ordenada.

El volumen de extracto digerido diluido (v) fue de 50 ml en todos los casos y el peso de cada muestra (w) osciló en 0.5 g. Así la concentración en ppm (mg/kg) presente de Cu y Pb está dada por la siguiente ecuación:

$$x=((y-b)/a*v)/w \tag{2}$$

Para el análisis de acumulación de metales en las plantas. Las muestras de planta se trocearon incluyendo hojas y tallos a partes proporcionales; después se secaron a 60 °C durante 7 días y finalmente se homogeneizaron y trituraron. Se pesó 0.5 g de cada muestra para proceder a su digestión. Este proceso se llevó a cabo adicionando únicamente 5 ml de ácido nítrico (HNO₃ concentrado), se dejó igualmente en calentamiento a 80 °C, durante 150 minutos, hasta la desaparición del color rojizo inicial y aparición de color miel. Para las lecturas se siguió el mismo procedimiento que en el caso de los suelos.

Para el cálculo de los coeficientes de acumulación de metales pesados se consideraron las concentraciones iniciales y finales para el suelo y cada tipo de planta referidas a Cu o Pb. Sea (C1) la concentración de la muestra testigo (suelo o planta) y (C2) la concentración de la muestra tratada (suelo o planta). El coeficiente de absorción (CA) del material analizado se determina mediante la siguiente ecuación simple:

$$CA=C2/C1 \tag{3}$$

En paralelo se experimenta con las muestras testigo para cada procedimiento, (exclusivamente los reactivos, sin suelo ni planta), para garantizar la confiabilidad de la determinación.

III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

(6) *Análisis por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica Acetileno-Aire*

(1) *Caracterización del suelo*

Para conocer la concentración de Pb y Cu presente en cada una de las muestras se utiliza el espectrofotómetro de absorción atómica con lámparas de cátodo hueco. En este caso se colocaron las muestras para la determinación y se posiciona el monocromador en la longitud de onda correcta. Para el caso de Pb la longitud recomendada es de 283.3 nm y para el Cu es de 324.7 nm. Se selecciona el ancho de la ranura del monocromador y se ajusta la corriente, para luego encender la llama y regular el flujo del acetileno y del oxidante. Es importante ajustar el mechero y el flujo del nebulizador hasta obtener absorción y estabilidad máximas, para llevar a cabo las lecturas y construir la curva de calibración y obtener la concentración de los estándares contra la absorbancia.

Tabla 1. Caracterización inicial del suelo

Características	Valor	Interpretación
pH	7.2	Prácticamente neutro
Conductividad eléctrica (milli Mhos/cm)	1.24	No salino
Calcio soluble (Ca ⁺² meq/litro)	4.0	Bajo
Porcentaje de sodio intercambiable	5.26	Normal
Materia orgánica (%)	2.4	Medio
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	2.99	Normal
C (%)	1.3	
Arena (%)	41.88	Normal
Limo (%)	35.0	Excelente
Pb Total (ppm)	23.68	Niveles permisibles
Zn Total (ppm)	92.66	Niveles permisibles
Cd Total (ppm)	0.007	Niveles permisibles
Cu Total (ppm)	20.60	Niveles permisibles

Para obtener la eficiencia de remediación de cada elemento se elaboró una curva de calibración con soluciones de concentración conocida, utilizándose la ecuación:

El tipo de suelo utilizado corresponde a la categoría de los fluvisoles de acuerdo a sus características morfológicas y fisicoquímicas, como se muestran en la tabla 1. Comúnmente

los valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos; El valor de la conductividad eléctrica representa una muy baja salinidad (rango entre 0.98 y 1.71). Los valores para % de arena y limo están dentro de los parámetros establecidos en suelos agrícolas y los contenidos de metales pesados se encuentran dentro de las especificaciones de las normas nacionales e internacionales (NOM-147-SEMARNAT/SSA1/2004) [31].

Es un suelo propio para la agricultura y se entiende bajo este concepto, que el investigador puede centrar su atención en el control de las otras variables de interés desentendiéndose de la aplicación de nutriente y/o mejoradores de suelos para el sano crecimiento de las plantas.

(2) Análisis de acumulación de Pb y Cu

El estudio se llevó a cabo por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica; los resultados referentes a la acumulación de Pb y Cu se muestran en la tabla 2, Fig. 2 y Fig. 3. Los valores muestran un potencial muy interesante en lo relativo a la tasa de acumulación de ambos contaminantes.

Al evaluar la concentración de Pb y Cu en los suelos de cada planta, estos muestran resultados distintos para cada uno de los contaminantes en estudio. Los datos reportados indican mayor presencia de Cu en el suelo donde se plantó *Moringa oleifera* sosteniendo una concentración de 1161.690 ppm, mientras que el suelo que resulto menos contaminado de Cu, después de 70 días de tratamiento, fue el suelo de la *Anemopsis californica*, finalizando con una concentración de 467.520 ppm, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Concentración del Pb y Cu en hojas y suelos.

Especie	Muestra	[en suelos]		[en hojas y tallos]	
		Cu	Pb	Cu	Pb
<i>Moringa oleifera</i>	M	1161.690	3197.870	38.343	205.201
	M-Testigo	7.228	24.769	6.8572	4.482
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	J	609.390	1930.890	211.179	75.189
	J- Testigo	9.550	13.187	1.999	11.003
<i>Anemopsis californica</i>	H	467.520	4004.980	20.835	76.090
	H- Testigo	19.912	26.929	6.771	4.091

Todas las concentración en ppm

En la Fig. 2 se observan los coeficientes de absorción del suelo, donde se mantienen el mismo comportamiento, siendo el suelo de *Moringa oleifera* la de mayor coeficiente de absorción, seguida de los suelos de *Schoenoplectus tabernaemontani* y *Anemopsis californica*, en ese orden respectivamente. En los suelos contaminados por Pb las tres especies presentan coeficientes de absorción muy similares, sin embargo, la concentración de Pb en *Anemopsis californica* fue la que mayor concentración presentó con un valor de 4004.980 ppm, seguida por los suelos de *Moringa*

oleifera y *Schoenoplectus tabernaemontani*, con una concentración de 3197.870 y 1930.890 ppm, respectivamente.

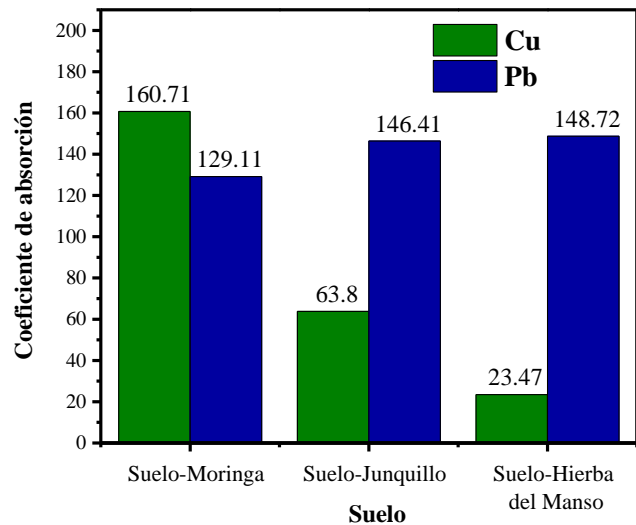


Fig. 2. Gráfica de coeficiente de acumulación de Cu y Pb en el suelo

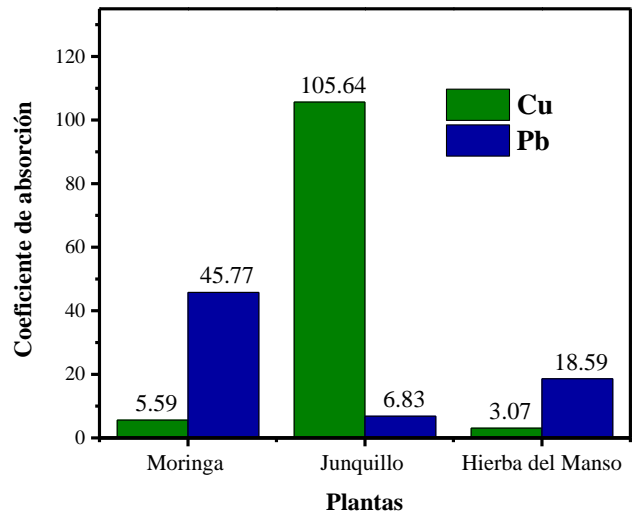


Fig. 3. Gráfica de coeficiente de acumulación de Cu y Pb en la planta

Para el caso de las plantas analizadas, Fig. 3, se debe aclarar que las concentraciones obtenidas son únicamente de los tallos y hojas. Los datos reportados indican mayores coeficientes de absorción de Cu en *Schoenoplectus tabernaemontani*, absorbiendo 105.64 veces más que sus condiciones naturales, teniendo una concentración acumulada de 211.179 ppm después de los 70 días de tratamiento. Para el caso de *Anemopsis californica* y *Moringa oleifera* el coeficiente de absorción y la

concentración de acumulación de Cu fue relativamente bajo, como se observa en la tabla 2.

La tabla 3 presenta los resultados obtenidos relativos a la acumulación de metales pesados (Cu y Pb) comparada con otros tipos de plantas. Del análisis simple de la información se nota que solamente *Physalis angulata L.* y *Lolium italicum* superan en capacidad de absorción de plomo, obteniéndose resultados prometedores.

Tabla 3. Comparación de coeficiente de acumulación de diferentes trabajos para la acumulación de Cu y Pb en el tallo y hojas de la planta.

Planta	Metal	Concentración acumulada (ppm)	Referencias
<i>Solanum nigrum L.</i>	Pb	87.4	[32]
	Cu	16.8	
<i>Physalis angulata L.</i>	Pb	331.3	[32]
	Cu	47.9	
<i>Ambrosia trifida L.</i>	Pb	111.9	[32]
	Cu	26.4	
<i>Lolium italicum</i>	Pb	218	[33]
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	Cu	211.17	Este trabajo
	Pb	75.18	
<i>Moringa oleifera</i>	Cu	38.34	
	Pb	205.2	
<i>Anemopsis californica</i>	Cu	20.83	
	Pb	76.09	

Respecto a la capacidad de absorción de cobre, *Schoenoplectus tabernaemontani* arroja una absorción muy superior a tres de las cuatro especies de referencia. *Physalis angulata L.* con 47.9 ppm es la planta que más se aproxima al valor que reportó el *Schoenoplectus tabernaemontani*, aún sin embargo queda bastante lejos de cualquier consideración ya que su nivel de absorción es entre 4 y 5 veces menor. Por tal razón esta planta especialmente es muy prometedora para fines de fitorremediación de suelos contaminados con este tipo de componentes.

(3) Modificaciones morfológicas en hojas y tallos de las plantas

A las dos semanas de aplicación se empezó a notar la influencia de los contaminantes en algunas plantas. Inicialmente se apreció un deterioro en el aspecto de la *Anemopsis californica* (principalmente aquellas tratadas con plomo). La *Moringa oleifera* tratada con plomo adoptó inicialmente un aspecto blanquecino en las hojas y, en general se notó que es más susceptible a la adición de cualquiera de los dos tipos de contaminantes.

La *Anemopsis californica* a 70 días de aplicación continua de Nitrato de Plomo presenta un desarrollo espectacular con inflorescencias y follaje profuso, manteniéndose fresca y sana. *Schoenoplectus tabernaemontani* se desarrolló en simbiosis con Hierba del Manso de manera normal; así mismo al final del tratamiento con plomo, la primera presenta una apariencia sana y robusta sin aparente pérdida de coloración en sus tallos, como se muestra en la Fig. 4.

Al inicio de las dosificaciones se notó un decaimiento en las plantas (principalmente en *Moringa oleifera*), pero una vez transcurrido el periodo de adaptación los tres tipos en general tuvieron un comportamiento normal. En general en las macetas tratadas con soluciones de metales pesados Pb y Cu no existieron diferencias significativas entre los niveles de desarrollo de biomasa de las plantas sembradas en los tratamientos con metales y el testigo o control, obteniéndose un porcentaje de crecimiento normal para las tres especies ensayadas.

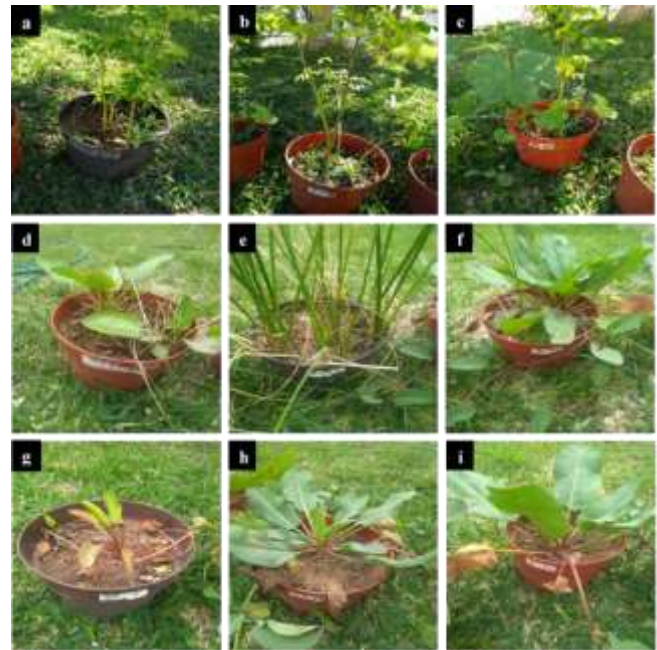


Fig. 4. Aspecto físico de todas las plantas a los 70 días de iniciado el tratamiento: *Moringa oleifera* tratada con a) agua potable, b) solución de plomo y c) solución de cobre; *Schoenoplectus tabernaemontani* con d) agua potable, e) solución de plomo y f) solución de cobre; *Anemopsis californica* con g) agua potable, h) solución de plomo y i) solución de cobre.

Se considera importante en este punto señalar que la presencia de Nitrógeno y Oxígeno en las soluciones de Pb y Cu, pudieran ser la razón de algunos de sus cambios morfológicos, los cuales pueden observarse hasta favorables en relación con los testigos quienes fueron regados solo con agua potable en el transcurso de la prueba [34]. Aquí se deja abierta la posibilidad de realizar futuras investigaciones

suplantando las sales nitrogenadas con algún otro elemento que sea absorbible por las plantas como por ejemplo en forma de cloruros o sulfatos.

IV. CONCLUSIONES

Se estableció un sistema de tratamiento con soluciones contaminantes de plomo y cobre en el crecimiento y desarrollo de Moringa (*Moringa oleifera*), Hierba del manso (*Anemopsis californica*) y Junco gigante o junquillo (*Schoenoplectus tabernaemontani*), con suelos del tipo fluvisol. El proceso de crecimiento se llevó a cabo en condiciones controladas de cantidad de agua de riego, concentración de contaminantes aplicada, insolación y tiempo de aplicación. Después de 70 días los análisis demuestran que las plantas en estudio pueden considerarse dentro de la categoría de acumuladoras de Pb y Cu, aunque estaría a discusión darles la categoría de hiperacumuladoras ya que se ocuparían otras condiciones y también sustratos con mucha mayor concentración de metales pesados sobre los cuales desarrollar estas especies. El análisis espectrofotométrico revela que *Schoenoplectus tabernaemontani* posee la más alta capacidad de absorción de las tres en relación a Cu (106 veces con respecto al nivel natural de la planta testigo). *Moringa oleifera* acumuló una mayor cantidad de Pb (46 veces más con respecto al nivel natural de la planta testigo). En tercer lugar, se presenta *Anemopsis californica* bioacumulando en mayor cantidad Pb (19 veces más con respecto al nivel natural de la planta testigo correspondiente). Finalmente es importante aclarar que la inclusión de las raíces dentro de las muestras de plantas analizadas, potencialmente hubieran incrementado las cuotas de absorción de Pb y Cu en cada una de ellas. Sin embargo, el experimento se limitó a tallos y hojas por lo que sigue latente la posibilidad de que estas variedades pertenezcan a las hiperacumuladoras de metales pesados.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) unidad Sinaloa, por las facilidades prestadas para la realización de todos los análisis de laboratorio sobre los que descansa esta investigación. Así mismo a IBC Analytic de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Los Mochis, por facilitarnos las herramientas para la caracterización inicial de los suelos.

REFERENCIAS

- [1] Y.C. Reyes, I. Vergara, O.E. Torres, M. Díaz, E.E. González, Heavy metals contamination: implications for health and food safety, *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 16, pp. 66-77, 2016.
- [2] J.L. Lara Mireles, G.D. Lira Reyes, J. Martínez de la Cerda, H. Rodríguez Fuentes, J.C. Rodríguez Ortiz, Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados, *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 29, pp. 239-245, 2006.
- [3] J.G. Cabezas, J. Alonso, J. Pastor Piñeiro, I. Sastre Conde, M.C. Lobo, Absorción y acumulación de metales pesados en tres especies vegetales en suelos enmendados con lodos de depuradora, *Environmental Biotechnology and Engineering Proceedings in the First International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering Mexico City*, pp.1-13, 2004.
- [4] J.P. Méndez, C.A.G. Ramírez, A.D.R. Gutiérrez, F.P. García, Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 10, pp. 29-44, 2009.
- [5] S. Muthusarayanan, N. Sivarajasekar, J.S. Vivek, T. Paramasivan, M. Naushad, J. Prakashmaran, O.K. Al-Duaij, Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements, *Environmental chemistry letters*, vol. 16, pp. 1339-1359, 2018.
- [6] R.L. Chaney, M. Malik, Y.M. Li, S.L. Brown, E.P. Brewer, J.S. Angle, A.J. Baker, Phytoremediation of soil metals, *Current opinion in Biotechnology*, vol. 8, pp. 279-284, 1997.
- [7] S.D. Cunningham, C.R. Lee, C. R. Phytoremediation: plant-based remediation of contaminated soils and sediments, *Bioremediation: Science and applications*, vol. 43, pp. 145-156, 1995.
- [8] S.R. Tariq, A. Ashraf, Evaluación comparativa de la fitorremediación de suelos contaminados con metales de campo de tiro por cuatro especies de plantas diferentes, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, pp. 806-814, 2016.
- [9] E. Miteva, S. Maneva, D. Hristova, P. Bojinova, Heavy metal accumulation in virus-infected tomatoes, *Journal of phytopathology*, pp. 131-154, 2001.
- [10] E.E. Codling, J.C. Ritchie, Eastern gamagrass uptake of lead and arsenic from lead arsenate contaminated soil amended with lime and phosphorus, *Soil science*, vol. 170, pp. 413-424, 2005.
- [11] S.L. Brown, R.L., Chaney, J.S. Angle, A.J.M. Baker, Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and *bladder campion* for zinc and cadmium contaminated soil, *Journal of Environmental Quality*, vol. 23, pp. 1151-1157, 1994.
- [12] X. Yan, J. Wang, H. Song, Y. Peng, S. Zuo, T. Gao, J. Dong, Evaluation of the phytoremediation potential of dominant plant species growing in a chromium salt-producing factory wasteland, China, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, pp. 7657-7671, 2020.
- [13] O.P. Abioye, P. Agamuthu, Phytoaccumulation of zinc and iron by *Jatropha curcas* grown in used lubrication oil-contaminated soil, *MJS*, vol. 29, 207-213, 2010.
- [14] F. Bian, Z. Zhong, X. Zhang, C. Yang, Phytoremediation potential of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) intercropped with *Sedum plumbizincicola* in metal-contaminated soil,

- Environmental Science and Pollution Research, vol. 24, pp. 27244-27253, 2017.
- [15] S.A. Anjum, M. Tanveer, S. Hussain, M. Bao, M., L. Wang, I. Khan, B. Shahzad, Cadmium toxicity in Maize (*Zea mays L.*): consequences on antioxidative systems, reactive oxygen species and cadmium accumulation, Environmental Science and Pollution Research, vol. 22, pp. 17022-17030, 2015.
- [16] D. Ayyappan, G. Sathiyaraj, K.C. Ravindran, Phytoextraction of heavy metals by *Sesuvium portulacastrum L.* a salt marsh halophyte from tannery effluent, International Journal of Phytoremediation, vol. 18, pp. 453-459, 2016.
- [17] C.F. Demarco, T.F. Afonso, S. Pieniz, M.S. Quadro, F.A.D.O. Camargo, R. Andreazza, Phytoremediation of heavy metals and nutrients by the *Sagittaria montevidensis* into an anthropogenic contaminated site at Southern of Brazil, International Journal of Phytoremediation, vol. 21, pp. 1145-1152, 2019.
- [18] C.F. Demarco, T.F. Afonso, S. Pieniz, M.S. Quadro, F.A. Camargo, R. Andreazza, In situ phytoremediation characterization of heavy metals promoted by *Hydrocotyle ranunculoides* at Santa Bárbara stream, an anthropogenic polluted site in southern of Brazil, Environmental Science and Pollution Research, vol. 25, pp. 28312-28321, 2018.
- [19] P. Ji, Y. Song, Y. Jiang, X. Tang, Y.A. Tong, P. Gao, W. Han, A two-year field study of phytoremediation using *Solanum nigrum L.* in China, International Journal of Phytoremediation, vol. 18, pp. 924-928, 2016.
- [20] S.A. Covarrubias, J.J.P. Cabriales, Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 33, pp. 7-21, 2017.
- [21] V. Nand, M. Maata, K. Koshy, S. Sotheeswaran, Water purification using *Moringa oleifera* and other locally available seeds in Fiji for heavy metal removal, International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 2, pp. 1, 2012.
- [22] C.S. Araújo, D.C. Carvalho, H.C. Rezende, I.L. Almeida, L.M. Coelho, N.M. Coelho, V.N. Alves, Bioremediation of waters contaminated with heavy metals using *Moringa oleifera* seeds as biosorbent, Applied bioremediation-active and passive approaches, vol. 23, pp. 227-255, 2013.
- [23] P.P. Ndibewu, R.L. Mnisi, S.N. Mokgalaka, R.I. McCrindle, Heavy metal removal in aqueous systems using *Moringa oleifera*: a review, Journal of Materials Science and Engineering. B, vol. 1, pp. 843, 2011.
- [24] K. Ravikumar, A.K. Sheeja, Heavy metal removal from water using *Moringa oleifera* seed coagulant and double filtration, Contrib Pap, vol. 1, pp. 9, 2013.
- [25] T.C. Shan, M. Al Matar, E.A. Makky, E.N. Ali, The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal, Applied Water Science, vol. 7, pp. 1369-1376, 2017.
- [26] B.H. Kang, S.I. Shim, S.G. Lee, K.H. Kim, I.M. Chung, Evaluation of *Ambrosia artemisiifolia var. elatior*, *Ambrosia trifida*, *Rumex crispus* for phytoremediation of Cu and Cd contaminated soil, Korean Journal of Weed Science, vol. 18, pp. 262-267, 1998.
- [27] L.A. Contreras-Pinto, C.M. Valencia-Castro, N. De la Fuente-Salcido, M.S. Linaje-Treviño, R. Trejo-Calzada, Estudio de absorción, acumulación y potencial para la remediación del suelo contaminado por plomo usando *Ambrosia ambrosioides*, Inv. Des. Cienc. Tecnol. Alim, vol. 1, pp. 244-250, 2016.
- [28] Y. Zu, W. Wang, H. Chen, F. Yang, Z. Zhang, Gas exchange features of *Ambrosia artemisiifolia* leaves and fruits and their correlations with soil heavy metals. The journal of applied ecology, vol. 17, pp. 2321-2326, 2006.
- [29] H.G. Ortiz-Cano, R. Trejo-Calzada, R.D. Valdez-Cepeda, J.G. Arreola-Ávila, A. Flores-Hernández, B. López-Ariza, Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus L.*) y micorrizas, Revista Chapingo, Serie Horticultura, vol. 15, pp. 161-168, 2009.
- [30] USDA (United States Department of Agriculture). 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. Version 3.0. U.S. Department of Agriculture, Washington DC, USA, 693.
- [31] NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- [32] S. Cui, Q. Zhou, L. Chao, Potential hyperaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in enduring plants distributed in an old smeltery, northeast China, Environmental Geology, vol. 51, pp. 1043-1048, 2007.
- [33] S. Muthusaravanan, N. Sivarajasekar, J.S. Vivek, T. Paramasivan, M. Naushad, J. Prakashmaran, O.K. Al-Duaij, Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements, Environmental chemistry letters, vol. 16, pp. 1339-1359, 2018.
- [34] M.M. Baset, Z.H. Shamsuddin, Z. Wahab, M. Marziah, Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured 'musa' plantlets under nitrogen-free hydroponics condition, Australian Journal of Crop Science, vol. 4, pp. 85-90, 2010.

Este estudio fue financiado por los autores. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Copyright © 2022 Florencio Moreno Osuna, Carlos Alberto Soto Robles, Guadalupe Rodríguez Meza, Jesús Rodríguez Apodaca, Eusebio Nava Pérez, Wenceslao Valenzuela Quiñonez, Eder Lugo Medina



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales.

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)