

Efecto de compuestos de Aluminio, Bismuto, Hierro y Plomo sobre la germinación y crecimiento de plántula de sandía de ratón (*Melothria scabra*)

RESUMEN: En el presente estudio, se determinó el efecto toxicológico de cuatro metales pesados (Al, Bi, Fe y Pb) en la germinación y el crecimiento de plántulas de la especie vegetal "sandía de ratón" (*Meritoria scabra*), la cual produce frutos comestibles no convencionales. Se empleó la técnica de papel húmedo bajo condiciones ambientales de iluminación, humedad y temperatura, utilizando un diseño experimental de bloques.

Para la variable porcentaje de germinación, se observaron cambios marginales debido a la presencia de aluminio, mientras que el bismuto redujo el tiempo de inicio de la germinación. En contraste, las concentraciones de hierro a 1500 mg/L y plomo a concentraciones superiores a 22.5 mg/L mostraron una disminución significativa en el porcentaje acumulado de germinación.

En la etapa de crecimiento de las plántulas, evaluada a través de la longitud del tallo y la raíz, así como el peso de la plántula, se observaron variaciones moderadas en presencia de aluminio, bismuto y plomo en comparación con el grupo de control. Por otro lado, la presencia de hierro a concentraciones de 1500 mg/L inhibió el desarrollo de las plántulas. Es importante destacar que *M. scabra* exhibió una relativa alta tolerancia a la presencia de los metales pesados evaluados.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento de la plántula, Germinación, *Melothria scabra*, Metales pesados, Fitotoxicidad.



Colaboración

Rubén Enrique Cuevas Alarcón; Gabriel Grosskelwing Nuñez; Arturo Cabrera Vazquez; Escuela de Bachilleres Artículo Tercero Constitucional, Jose Guillermo Franzua Perdomo; Arturo Cabrera Hernandez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianzila

Fecha de recepción: 21 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 15 de diciembre de 2023

ABSTRACT: In the present study, the toxicological effect of four heavy metals (Al, Bi, Fe and Pb) was determined on the germination and growth of seedlings of the plant species "mouse watermelon" (*Melothria scabra*), which produces edible fruits. not conventional. The wet paper technique was used under environmental conditions of lighting, humidity, and temperature, using a block experimental design.

For the germination percentage variable, marginal changes were observed due to the presence of aluminum, while bismuth reduced the germination start time. In contrast, iron concentrations at 1500 mg/L and lead at concentrations higher than 22.5 mg/L showed a significant decrease in the cumulative percentage of germination.

In the seedling growth stage, evaluated through stem and root length, as well as seedling weight, moderate variations were observed in the presence of aluminum, bismuth and lead compared to the control group. On the other hand, the presence of iron at concentrations of 1500 mg/L inhibited the development of seedlings. It is important to highlight that *M. scabra* exhibited a relatively high tolerance to the presence of the heavy metals evaluated.

KEYWORDS: Seedling growth, Germination, *Melothria scabra*, Heavy metals, Phytotoxicity.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación del suelo por metales pesados (MP) es un problema a escala global, relacionado a la actividad geológica y antropogénica que se desarrolla alrededor del mundo [1]. Diversos estudios en los 5 continentes han demostrado que los niveles de metales pesados han aumentado en la atmósfera, agua y tierra, convirtiendo a la humanidad en el principal factor global en el ciclo bio-geoquímico de estos elementos [2]. Un estudio realizado por la

Unión Europea (UE) en el año 2016 menciona que el 6.24% de la superficie de Europa está contaminada por algún metal pesado [3].

La ONU en su reporte del 2015 sobre “Los Recursos Del Suelo En El Mundo”, estima que la contaminación química es uno de los factores responsables de la degradación del suelo, especialmente en países de desarrollo rápido, con alto índice demográfico y bajo ingreso económico, como lo es China, India y Latinoamérica debido a que la regulación, gestión y mitigación han tenido serias dificultades para seguir el ritmo de la liberación de estos metales al suelo [4].

Aunque algunos metales pesados, denominados micronutrientes presentan función biológica y son vitales para diferentes organismos, tales como: zinc (Zn), arsénico (As), cromo (Cr), níquel (Ni) y cobre (Cu), otros carecen de función biológica definida como mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), sin embargo todos ellos a altas concentraciones causan desordenes adversos en el funcionamiento celular de toda forma de vida [5], incluyendo la interacción con las plantas y los cultivos agrícolas, los cuales durante su desarrollo se comportan como estaciones de bombeo impulsadas por energía solar que pueden acumular contaminantes de su entorno inmediato, dentro de los límites de tolerancia de la planta [6], [7].

Diversos estudios han demostrado efectos positivos y negativos de los MP sobre la germinación en forma dependiente de la concentración, manifestándose en anomalías y disminución en los porcentajes de germinación [8]. Sin embargo, los modelos empleados se han limitado al estudio de semillas convencionales de valor agrícola, nutricional o medicinal. El estudio de semillas no convencionales no ha sido estudiado a profundidad, aunque desempeñan un papel fundamental en la preservación de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas [9].

El estado de Veracruz, México cuenta con una gran riqueza de plantas silvestres. La “sandía de ratón” (*Melothria scabra*) es una planta enredadera que produce un fruto comestible ovoide, llamado coloquialmente “melón de ratón”, “cucamelón” o “sandía de ratón” con sabor a pepino fresco, de 1 a 3 cm de largo, de color verde moteado y en su interior contiene semillas ovaladas de color blanco-amarillo muy apreciada en la región centro del estado de Veracruz, donde crece favorablemente en bosques tropicales y bosque mesófilo de montaña [10], [11].

En el presente estudio se evaluarán los efectos de cuatro metales pesados: aluminio, bismuto, hierro y plomo sobre la germinación de semillas de *M. scabra* y el crecimiento de sus plántulas, a fin de determinar la susceptibilidad de esta especie silvestre frente a tales insultos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Frutos de *M. scabra* fueron adquiridos en un mercado de productos vegetales en la ciudad de Xalapa, Veracruz, en el mes de noviembre del 2021. Cada fruto fue lavado, cortado, despulpado manualmente, y las semillas recuperadas por medio de un tamiz plástico, en donde se lavaron hasta eliminar la pulpa y solo dejar la semilla. La semilla se secó sobre papel filtro a temperatura ambiente y fue almacenada a una temperatura de 4°C hasta su empleo.

Preparación de soluciones de metales pesados

A fin de evaluar cada uno de los metales en estudio, se prepararon soluciones con sales para las diferentes concentraciones evaluadas. Se prepararon 150 ml de soluciones acuosas de cloruro de aluminio (AlCl_3) a 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L, nitrato de bismuto ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) a 0, 7.5, 30, 52.5, 75, 150 mg/L., cloruro férrico (FeCl_3) a 0, 1.5, 15, 150, 1500 mg/L, acetato de plomo $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ a 3.75, 7.5, 15, 22.5, 37.5 mg/L.

Ensayos de germinación

Para la realización de los ensayos se usaron cajas petri, en las cuales se colocó papel filtro impregnado con 12 ml de cada una de las soluciones de los cuatro metales evaluados, además de un control negativo de agua purificada comercial.

Sobre el papel se colocaron 25 semillas espacialmente distribuidas y se dejaron germinar bajo condiciones ambiente de humedad, iluminación y temperatura. Para compensar el agua evaporada, se adicionaron 1ml de agua cada cuatro días. Cada caja fue rotulada apropiadamente y se realizaron tres replicas en paralelo de acuerdo con un diseño experimental por bloques. Las cajas petri fueron distribuidas al azar en la superficie donde se realizó el experimento, a fin de homogeneizar las condiciones de iluminación. Se consideraron semillas germinadas aquellas donde la radícula alcanzó un tamaño de 2 mm. Al día once posterior a la germinación, se tomaron las medidas de longitud de tallo y raíz, así como el peso de cada plántula.

Análisis estadístico

Para la recolección y el análisis descriptivo de datos se utilizó el programa EXCEL® 2013. Se analizó el comportamiento normal de las variables aplicando la prueba de Shapiro-Wilks y para el análisis de varianzas se aplicó la prueba de Levene. A fin de determinar diferencias significativas entre grupos se aplicó el análisis ANOVA y como prueba post-hoc la prueba de Tukey empleando el programa minitab® 2017.

RESULTADOS

Resultados de pruebas de Germinación

En la Figura 1 se presenta el porcentaje de germinación de *M. scabra* en presencia de concentraciones crecientes de aluminio (Figura 1A), bismuto (1B), hierro (1C)

y plomo (1D). En presencia de agua (control negativo), el inicio de la germinación es el día 4 alcanzando al día 11 valores cercanos al 100% de germinación (Tabla 1). En un reporte previo, Cuevas-Alarcón R.E. et al, 2022, reportan un tiempo de inicio de la germinación de 10 días para *M. scabra* y 20 días para alcanzar el 100% de germinación [13]. La diferencia entre los valores reportados y los encontrados en este estudio estarían asociados a las condiciones de temperatura, iluminación y humedad donde se llevaron a cabo los ensayos, ya que en ambos casos se llevaron a cabo bajo condiciones ambiente, lo cual promovería una gran fuente de variación en las condiciones de incubación al desarrollar ambos estudios.

La adición de aluminio no tuvo efectos significativos en el porcentaje acumulado de germinación alcanzando valores cercanos al 100%. Solo se observó un ligero incremento en el porcentaje de germinación a la concentración de 25 mg/L de aluminio (Figura 1A). Aunque se ha reportado sensibilidad en trigo [14], arroz y garbanzo [15] a aluminio, bajo similares concentraciones *M. scabra* manifiesta tolerancia a las concentraciones evaluadas.

La presencia de Bi reduce el tiempo de inicio de la germinación a dos días y se alcanza el 100% de la germinación al día 7 a concentraciones menores a 52.5 mg/L en contraste a 10 días para el control negativo; por lo tanto, el Bi promueve la germinación de *M. scabra* (Figura 1B y Tabla 1).

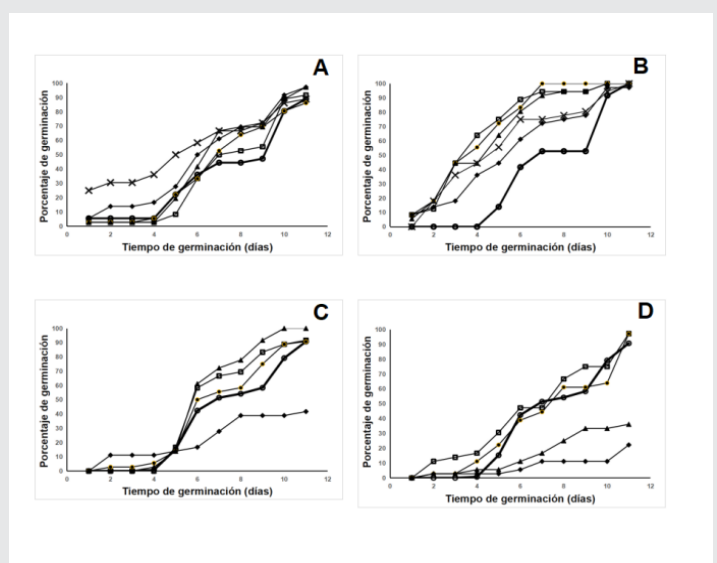


Figura 1: Gráfica del porcentaje acumulado de germinación de *M. scabra* en presencia de diversas concentraciones de metales pesados. Semillas de *M. scabra* fueron germinadas en presencia de 0 (●), 5 (●), 10 (■), 15 (▲), 20 (◆) y 25 (X) mg/L de $AlCl_3$ (panel A); 0 (●), 7.5 (●), 30 (■), 52.5 (▲), 75 (◆) y 150 (X) mg/L de $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ (panel B), 0 (●); 1.5 (●), 15 (■), 150 (▲), 1500 (◆) mg/L de $FeCl_3$ (panel C) y 0 (●), 3.75 (●), 7.5 (■), 15 (▲), 22.5 (◆), 37.5 (X) mg/L de $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (panel D). Fuente: Elaboración propia.

El Bi es considerado un metal verde, y por su baja toxicidad un reemplazo común del plomo en ciertas aplicaciones industriales [16] promoviendo con ello un incremento en su presencia en el medio ambiente [17], sin embargo, diferentes autores han encontrado efectos fitotóxicos asociados a la presencia de Bi durante la germinación en papel o suelo de diversos modelos vegetales [17,18]; sin embargo, tales efectos son reportados a valores superiores a 242 mg/L de $BiNO_3$ para semillas de pasto perenne (*Lolium perenne* L), concentración superior al evaluado en este estudio, el cual alcanzó un valor de tolerancia de 150 mg/L de $BiNO_3$ durante su germinación. La potenciación observada podría estar asociada al metal Bi, aunque es posible la participación del contraión nitrato (NO_3^-), dado que diferentes reportes le asocian un papel de promotor de la germinación en diferentes especies vegetales, como nutriente y como molécula de señalización [19], [20].

Se deben realizar más estudios para discriminar los efectos individuales del Bi y del NO_3^- . durante la disminución del tiempo inicial y el porcentaje de germinación.

Tabla 1. Datos del porcentaje acumulado de germinación de *M. scabra* en presencia de diferentes metales pesados.

Tipo de metal pesado	Concentración (mg/ml)	Porcentaje acumulado de germinación (día 11)
Aluminio	0	88.88 ± 4.81
	5	88.88 ± 8.33
	10	97.22 ± 17.34
	15	97.22 ± 4.81
	20	86.11 ± 4.81
	25	91.66 ± 19.24
Bismuto	0	100
	7.5	100
	30	100
	52.5	100
	75	97.22 ± 4.81
	150	100
Hierro	0	90.74 ± 12.72
	1.5	91.66 ± 9.62
	15	90.74 ± 4.81
	150	100
	1500	41.66 ± 4.81 *
	Plomo	0
3.75		97.22 ± 4.81
7.5		97.22 ± 4.81
15		36.11 ± 9.62 *
22.5		22.22 ± 5.89 *
37.5		0

Fuente: Elaboración propia.

Para el hierro (Fe), la adición de éste presentó diferencias con el control por lo que se deben realizar más estudios para discriminar los efectos individuales del Bi y del NO_3^- . durante la disminución del tiempo inicial y el porcentaje de germinación. Únicamente a la mayor concentración evaluada (1500 mg/L), donde se observó una disminución significativa en el porcentaje de germinación (Figura 1C). Cabe señalar que se aplicó un

incremento geométrico en la concentración de hierro, con un incremento de diez veces la concentración previa. El hierro es un elemento esencial y participa como elemento central en procesos tales como la fotosíntesis, síntesis de clorofila, así como el funcionamiento del cloroplasto.

Sin embargo, diversos estudios demuestran que su presencia a altas concentraciones es tóxica para la planta. En tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill) [21] y *Festuca rubra* ssp. *commutata* [22] se observa un comportamiento similar, donde a concentraciones mayores a 1000 mg/L se observa una disminución severa por la presencia de $FeCl_3$ en la germinación de estas semillas.

El Plomo (Pb) es uno de los elementos tóxicos más abundantes y distribuidos únicamente en el suelo, ejerciendo diferentes efectos adversos asociados a la inhibición de las actividades enzimáticas, desequilibrio hídrico, alteraciones en la permeabilidad de la membrana y en la nutrición mineral, así como estrés oxidativo [23].

En la Figura 1D se observa una disminución significativa en la germinación a valores de 22.5 y 37.5 mg/L del acetato de plomo, tolerancia similar a los valores reportados para variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) [21], aunque por abajo de los reportados para *Festuca rubra* ssp. *Commutata* [22] y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), rábano (*Raphanus sativus* L. var. *radicola*), zanahoria (*Daucus carota* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y col de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) [24]. Es importante señalar que la disociación del acetato de plomo permite simultáneamente la liberación del contraión acetato, al cual se le ha asociado cierta capacidad de inhibición de la germinación, la cual podría presentar efecto sinérgico con los del plomo [24].

Efectos sobre la longitud de raíz y tallo, así como peso de plántula

El Al promueve un aumento moderado y significativo en la longitud de tallo (Figura 2A) y una disminución sostenida significativa en la longitud de raíz (Figura 3A). El peso de la plántula no muestra una tendencia y solo presenta una moderada variación significativa a las concentraciones evaluadas (Figura 4A).

Se ha demostrado que la tolerancia a la presencia de Al es dependiente con el tipo de semilla evaluado, sin embargo, para aquellas semillas sensibles al Al, se sugiere un incremento en los niveles intracelulares de Al en radícula y plúmula, los cuales estarían asociados a las alteraciones observadas durante el crecimiento de la plántula [19].

La presencia de Bi disminuye en forma moderada la longitud de tallo y raíz (Figuras 2B y 3B) así como un

aumento significativo en el peso de la plántula (Figura 4B), a las concentraciones evaluadas. La presencia de Bi estaría asociado a una promoción de la germinación, aunque con un efecto nocivo en el establecimiento de la plántula, sin embargo, muestra mayor tolerancia que las reportadas para pasto perenne (*Lolium perenne* L), a concentraciones similares [18].

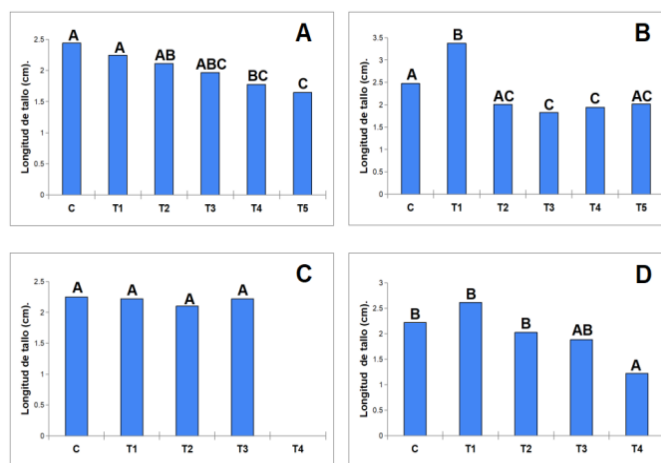


Figura 2. Gráfica de longitud de tallo de plántulas de *M. scabra* en presencia de diversas concentraciones de metales pesados. Se presenta la longitud de tallo de plántulas de *M. scabra* germinadas en presencia de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L de $AlCl_3$ (panel A); 0, 7.5, 30, 52.5, 75 y 150 mg/L de Bi (NO_3) $3 \cdot 5H_2O$ (panel B); 0, 1.5, 15, 150 y 1500 mg/L de $FeCl_3$ (panel C) y 0, 3.75, 7.5, 15, 22.5, 37.5 mg/L de $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (panel D).

Fuente: Elaboración propia.

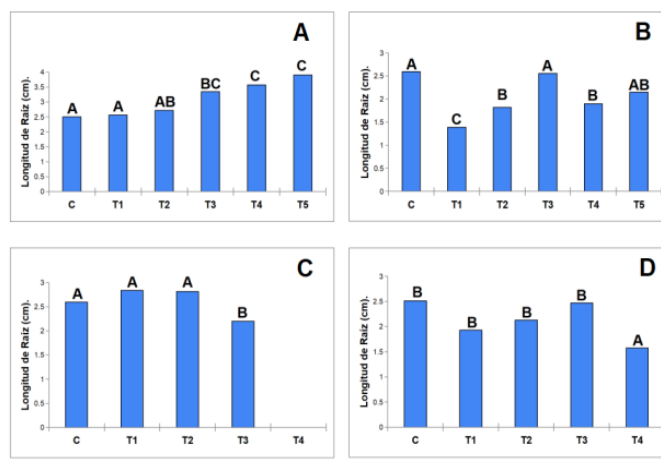


Figura 3. Gráfica de longitud de raíz de plántulas de *M. scabra* en presencia de diversas concentraciones de metales pesados. Se presenta la longitud de raíz de plántulas de *M. scabra* germinadas en presencia de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L de $AlCl_3$ (panel A); 0, 7.5, 30, 52.5, 75 y 150 mg/L de Bi (NO_3) $3 \cdot 5H_2O$ (panel B); 0, 1.5, 15, 150 y 1500 mg/L de $FeCl_3$ (panel C) y 0, 3.75, 7.5, 15, 22.5, 37.5 mg/L de $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (panel D).

Fuente: Elaboración propia.

No se observaron efectos significativos en Fe para longitud de tallo y raíz, así como peso de plántula (Figura 2C, 3C y 4C), excepto para la concentración más alta aplicada de 1500 mg/L. Un comportamiento similar se ha observado en diferentes especies donde a concentraciones elevadas de hierro, la germinación y el desarrollo de la plántula se ven severamente comprometidos [21,23].

La presencia de plomo compromete en forma significativa la germinación de *M. scabra*, sin embargo, aquellas semillas que germinan a concentraciones altas de acetato de plomo logran desarrollarse y solo presentan una ligera disminución en la longitud de tallo o raíz y peso de plántula (Figuras 2D, 3D y 4D), lo cual sugiere una alta sensibilidad de esta especie durante su germinación, tornándose más tolerante a la presencia de plomo en etapas posteriores de su desarrollo.

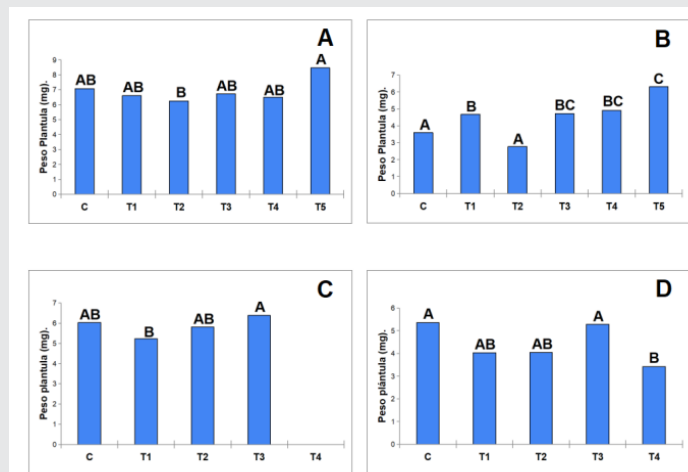


Figura 4. Gráfica de barras para peso de plántula de *M. scabra* en presencia de diversas concentraciones de metales pesados. Se presenta el peso de plántulas de *M. scabra* germinadas en presencia de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 mg/L de $AlCl_3$ (panel A); 0, 7.5, 30, 52.5, 75 y 150 mg/L de $Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ (panel B), 0, 1.5, 15, 150 y 1500 mg/L de $FeCl_3$ (panel C) y 0, 3.75, 7.5, 15, 22.5, 37.5 mg/L de $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (panel D).

Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar la prueba de Pearson a las variables de longitud de tallo, longitud de raíz y peso de tallo para cada elemento evaluado, se observaron coeficientes de correlación en el rango de -0.5 a 0.5 Tabla 2.

Estos valores indican una asociación débil entre las variables, sugiriendo que la presencia del metal podría afectarlas de manera específica. Se requieren investigaciones adicionales para explorar en detalle los factores que podrían influir en estos resultados

CONCLUSIONES

Las semillas de *M. scabra* muestran tolerancia a los elementos Al y Fe, con un efecto potenciador ante la

presencia de Bi y una marcada sensibilidad frente al Pb durante el proceso de germinación.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas para cada elemento en estudio.

		Longitud de raíz	Longitud de tallo	Peso de plántula
Aluminio	Longitud de raíz	1	-0.215	0.484
	Longitud de tallo		1	0.141
	Peso de plántula			1
Bismuto	Longitud de raíz	1	-0.268	-0.028
	Longitud de tallo		1	0.1
	Peso de plántula			1
Hierro	Longitud de raíz	1	0.109	0.147
	Longitud de tallo		1	0.329
	Peso de plántula			1
Plomo	Longitud de raíz	1	0.074	0.146
	Longitud de tallo		1	0.051
	Peso de plántula			1

Fuente: Elaboración propia.

En la fase de crecimiento de la plántula, se observa una tolerancia general a las concentraciones evaluadas, tanto en la longitud del tallo y raíz como en el peso de la plántula, con excepción a una alta concentración de Fe. Debido a su potencial como planta ornamental y su posible uso en ambientes domésticos, resulta imperativo profundizar en el estudio de su respuesta a los metales pesados a fin de determinar con mayor precisión el grado de toxicidad y acumulación de estos metales en la especie, proporcionando información valiosa para su manejo en distintos contextos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece las facilidades y el apoyo que el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Mianzla otorgó para la realización de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

[1] I. Mathews, S. N. Kantareddy, T. Buonassisi, and I. M. Peters, "Technology and Market Perspective for Indoor Photovoltaic Cells," *Joule*, vol. 3, no. 6, pp. 1415-1426, Jun. 2019.

[2] C. Schuss, T. Fabritius, B. Eichberger and T. Rahkonen, "Impacts on the Output Power of Photovoltaics on Top of Electric and Hybrid Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 5, pp. 2449-2458, May 2020.

[3] B. Commault, T. Duigou, V. Maneval, J. Gau-me, F. Chabuel, and E. Voroshazi, "Overview and Perspectives for Vehicle-Integrated Photovol-taics," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, p. 11598, Dec. 2021.

[4] S. Das, A. Sparks, E. Poves, S. Videv, J. Faki-dis and H. Haas, "Towards Energy Neutral Wire-less Communications: Photovoltaic Cells to Con-nect Remote Areas," *Energies*, vol. 12, no. 19, p. 3772, Oct. 2019.

[5] S. Das, A. Sparks, E. Poves, S. Videv, J. Faki-dis and H. Haas, "Effect of Sunlight on Photovol-taics as Optical Wireless Communication Recei-vers," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 39, no. 19, pp. 6182-6190, Oct.1, 2021.

[6] P. Baranov, I. Zatonov, and B. B. Duc, "Dual Phase Lock-In Amplifier with Photovoltaic Modu-les and Quasi-Invariant Common-Mode Signal," 2022.

[7] N. Chowdhury, C. A. Hossain, M. Longo, and W. Yaici, "Performance Investigation Of The Li-fetime Of Solar Cell Using Surface Photovoltage (Spv) Method And Efficiency Measurement," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 1403-1412, 2021.

[8] Dexin Li and P. H. Chou, "Maximizing efficien-cy of solar-powered systems by load matching," *Proceedings of the 2004 International Symposium on Low Power Electronics and Design (IEEE Cat. No.04TH8758)*, pp. 162-167, 2004.

[9] A. Ouedraogo, H. Guengane, K. B. Imbga, and D. J. Bathiebo, "Analysis of external load resis-tance influence on the single-crystalline silicon photovoltaic module (PV)", *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 663-675, Apr. 2019.