

ESTUDIO DE ABSORCIÓN, ACUMULACIÓN Y POTENCIAL PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR NÍQUEL USANDO *Ambrosia ambrosioides*

García Carrillo M^b, Serna-Cueto A L^{a*}, De La Fuente Salcido N M^a, Valencia Castro C M^a.

a Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Biológicas, Maestría en Ingeniería Bioquímica, Ciudad Universitaria, carretera Torreón Matamoros, Km. 7.5 ejido el Águila, C. P. 27276 Torreón Coahuila, México. *lucerosrna@gmail.com

b Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, C. P. 27054 Torreón, Coahuila, México.

RESUMEN:

La presente investigación, tuvo como objetivo, evaluar la capacidad de *Ambrosia ambrosioides* para absorber y acumular níquel (Ni) en sus tejidos; e identificar cual parte de la planta acumulaba el metal en mayor cantidad. Para esto, se hizo crecer a las plantas en un suelo artificial (perlita mineral con arena) y se expusieron a 3 diferentes concentraciones de níquel durante 20 días. Los resultados demuestran que dicha planta es capaz de absorber en su raíz un promedio de 1,050 mg de níquel por cada kilogramo de planta (peso seco), cuando es expuesta a concentraciones de níquel (2, 4 y 6 g L⁻¹). En todos los tratamientos las plantas crecieron sanas y sin mostrar síntomas de toxicidad. Estos resultados indican que *Ambrosia ambrosioides* es una planta hiperacumuladora de níquel y puede ser utilizada como fitoestabilizadora de dicho metal.

Palabras clave:

Fitorremediación, níquel, *Ambrosia ambrosioides*, chicura, acumulación.

ABSTRACT:

In this investigation, the objective was to evaluate the potential of *Ambrosia ambrosioides* to absorb and accumulate nickel (Ni) in their tissues; and identify which part of the plant accumulates the metal in larger quantities. For this, was grown the plants in an artificial soil (mineral perlite and sand) and exposed to 3 different levels of nickel for 20 days. The results demonstrate that this plant is able to absorb and accumulate at its roots an average of 1,050 mg of nickel per Kilogram of plant (dry weight) when exposed to concentrations of nickel (2, 4 and 6 g L⁻¹). In all treatments the plants grew healthy and without sign of toxicity. These results indicate that *Ambrosia ambrosioides* is a nickel hyperaccumulator plant, and can be used in phytoremediation.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados están contenidos en la composición del suelo de manera natural o por fuentes antropogénicas, como la actividad industrial, doméstica, fertilizantes, rellenos sanitarios, drenaje pluvial y quema de combustible, porque tienden a acumularse (Jáuregui et al., 2012; Martin, 2012). Una de las consecuencias de la biodisponibilidad de metales pesados contra la salud humana es la introducción de dichos elementos por inhalación, contacto dérmico y a través de la ingesta, siendo esta última la más dañina (Cook, Weinstein, & Centeno, 2005; Copat et al., 2012; Zhu, Fan, Wang, Qu, & Yao, 2011; Zhuang, Zou, & Shu, 2009). Debido a su naturaleza no biodegradable, los metales pesados también pueden acumularse en los órganos del cuerpo humano, como los riñones, hígado y huesos (Cao et al., 2010; Gall, Boyd, & Rajakaruna, 2015; Singh, Sharma, Agrawal, & Marshall, 2010).

El níquel es un caso atípico de metal pesado por diversos factores, uno de ellos es porque cumple con el criterio de elemento esencial indirectamente al ser un micronutriente (Arnon & Stout, 1939), la deficiencia de Ni tiene una amplia gama de efectos sobre su crecimiento y metabolismo (Brown, Welch, & Cary, 1987), un exceso en el suelo de éste, provoca diversas alteraciones fisiológicas y síntomas de toxicidad, tales como la clorosis y la necrosis en diferentes especies de plantas por el desequilibrio de nutrientes, la composición de lípidos y de algunas funciones de la membrana celular como la H-ATPasa, ejemplo de ello se presenta en *Oryza sativa* (Yadav, 2010). Otro factor por el que el Ni se considera atípico, es el por estar presente en la ureasa, formando un compuesto que es una metaloenzima ubicua (Brown et al., 1987). Sumando a lo anterior, la contaminación de níquel en el suelo se da principalmente por fuentes naturales, por lo tanto, la actividad humana no es tan significativa como se ve con algunos otros contaminantes (Pietrini et al., 2015) y especialmente es por prácticas como la minería, la fundición de metales, la quema de carbón y petróleo, aguas residuales, fertilizantes y pesticidas (Deng et al., 2014; Yadav, 2010).

Hoy en día, los avances en la ciencia y tecnología permiten explorar nuevos métodos de remediación, que puedan brindar una mejor solución ante la acumulación, la exposición y el impacto de metales pesados y contaminantes orgánicos en los ecosistemas (Susarla, Medina, & McCutcheon, 2002). Dentro de estas nuevas alternativas se encuentra la fitorremediación, que utiliza las plantas para remover, transformar o contener de una manera menos tóxica los contaminantes en suelos, sedimentos, humedales e inclusive los contaminantes atmosféricos, solo que con menor efectividad (Susarla et al., 2002). Esta tecnología, ha sido considerada como una opción prometedora por ser un proceso sostenible, presentar ventajas de bajo costo y efectividad para remoción de contaminantes en comparación de técnicas tradicionales, además tiene la posibilidad de utilizarse *in situ* sobre grandes extensiones de suelo y agua contaminados (Cameselle, Chirakkara, & Reddy, 2013; Houben, Pircar, & Sonnet, 2012; Mench et al., 2010) o bien, *ex situ* (Cameselle et al., 2013). El éxito de la aplicación de la técnica consiste en la eficiencia de las plantas utilizadas de acuerdo a su estructura, función y composición química, a las características del contaminante, del suelo y a los métodos de remediación en los que pueden interaccionar de una manera más efectiva (Cameselle et al., 2013; Wei & Pan, 2010).

Desde que se descubrió el primer acumulador de níquel del mundo, hasta hoy, no menos de 320 especies de plantas pertenecientes a diferentes familias, han sido reportadas como hiperacumuladoras de níquel (Jiang, Lei, Duan, & Longhurst, 2015). Las familias de plantas más fuertemente representadas como tales son *Euphorbiaceae*, *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Flacourtiaceae*, *Buxaceae* y *Rubiaceae* (Álvarez-López, Prieto-Fernández, Cabello-Conejo, & Kidd, 2016; Callahan, Hare, Bishop, Doble, & Roessner, 2016).

En esta investigación se evaluó la capacidad de *Ambrosia. ambrosioides* o también llamada chicura, para la descontaminación biológica del suelo contaminado con níquel (Ni), ya que en estudio anterior, mostró tener potencial para fitorremediación de suelos con plomo (Pb) (Contreras-Pinto L. A., Valencia Castro C. M., De La Fuente Salcido N. M., Linaje Treviño M. S., & R., 2014), por lo que puede aplicarse en suelos agrícolas, de jales

mineros y en las orillas de los ríos cercanos a fuentes de contaminación. Cabe resaltar que en la literatura no hay trabajos reportados para biorremediación con *A. ambrosioides* de suelos, para níquel ni ningún otro metal pesado a excepción del plomo, he ahí la importancia del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de las plantas

Durante mayo de 2016 se realizó un muestreo en el lecho seco del Río Nazas, donde se colectaron plantas de *Ambrosia ambrosioides* también conocida como “Chicura”. Las plantas fueron seleccionadas acorde a una estatura entre 25 y 37 cm. extraídas desde la raíz y trasplantadas en macetas de plástico con aproximadamente un Kg de suelo (una planta en cada maceta. Se las dejó aclimatar durante 15 días en condiciones de invernadero, con una aplicación diaria de 20ml de agua para evitar el estrés hídrico. Después fueron trasplantadas a macetas que contenían aproximadamente 1.5 Kg de perlita mineral mezclada con 1.5 Kg de arena bien lavada con cloro.

Exposición al metal

Después de la aclimatación las plantas fueron expuestas por separado a tres soluciones de níquel con concentraciones de 2, 4 y 6 mg L⁻¹. Durante el periodo de exposición (20 días) eran aplicados 250 ml de la solución metálica, conformada por el níquel en diferentes concentraciones (2, 4 y 6 mg L⁻¹) añadido a la solución nutritiva de Steiner, la cual se aplicó cada tercer día. Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento.

Análisis de contenido de níquel

Al concluir los 20 días de tratamiento con las soluciones metálicas, las plantas fueron cosechadas, intensamente lavadas, dos veces con agua de grifo, seccionadas en raíces, tallos y hojas; secadas al sol por dos días y después secadas en un horno por 60 °C durante 3 días. El material vegetal seco fue molido en un molino vegetal y para su análisis por absorción atómica fueron pesados 1 g de cada muestra (material vegetal molido). Después, cada muestra se colocó en crisoles, y posteriormente fueron introducidos en la mufla en donde se calcinaron a una temperatura de 600°C por 4 horas, en seguida, a la ceniza resultante se le agregaron 10 mL de HCl al 37%, agitando por 10 segundos y se dejó en reposo por 20 minutos. La muestra contenida en el crisol se transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL, al cual se le agregaron 10mL de CsCl y se aforó.

La cuantificación de níquel se realizó en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380 perteneciente a la UAAAN.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (2, 4 y 6 mg L⁻¹), un blanco y cuatro repeticiones por tratamiento. Las cantidades de níquel obtenidas, fueron agrupadas acorde al diseño y posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza para separar la varianza debida a los tratamientos de la del error experimental. Cuando se obtuvo diferencia estadística entre tratamientos se realizó una prueba de comparación múltiple de medias, con el propósito de encontrar la fuente de variación que dio una diferencia significativa en el análisis de varianza. Este análisis se repitió para cada parte morfológica de la planta, esto es, raíces, tallos y hojas.

Resultados

La chicura, al ser expuesta a las soluciones de níquel, no mostró síntomas de toxicidad. Se encontró diferencia significativa ($p < .05$) entre los valores medios del contenido de níquel en las diferentes partes de la planta el mayor contenido se concentró en las hojas.

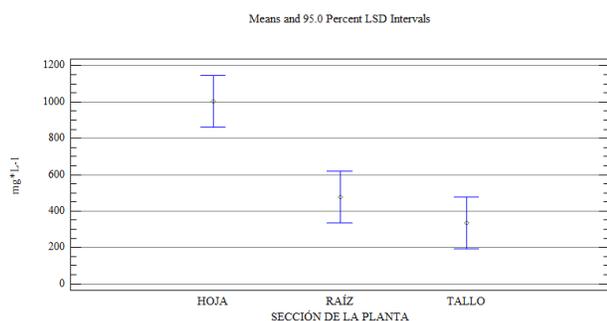


Figura 1. Contenido de níquel (mg Kg^{-1} de peso seco) presentado en las diferentes partes de la planta de chicura (*Ambrosia ambrosioides*), no se presenta diferencia significativa entre las concentraciones suministradas.

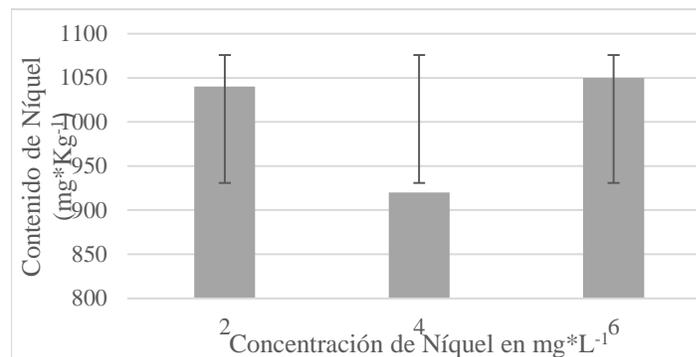


Figura 2. Contenido de níquel (mg Kg^{-1} de peso seco) presentado en las hojas de chicura (*Ambrosia ambrosioides*), no se presenta diferencia significativa entre las concentraciones suministradas.

En la figura 2 se muestra el contenido de níquel en hojas, con respecto a cada concentración de níquel que fue aplicada. Cuando se compararon las concentraciones medias de níquel en hoja en relación a los tres niveles del metal aplicados, no se encontró diferencia estadística ($p > .05$). La absorción de níquel en hojas por nivel aplicado de 2, 4 y 6 mg L^{-1} fueron 1040, 920 y 1050 mg Kg^{-1} de peso seco respectivamente (figura 2).

La acumulación del níquel en todas las secciones de la planta fue mayor cuando se aplicó el nivel alto a la planta. En la figura 3 A y B se aprecia dicho efecto tanto en tallos como en raíces, no encontrándose diferencia estadística entre ellos ($p > .05$). En el caso de la acumulación de níquel en las raíces de chicura, se presentó un incremento lineal a medida que se incrementaba la aplicación de níquel a las plantas, siendo la acumulación más alta de 660 mg de níquel Kg^{-1} de peso seco (figura 3B).

Los resultados muestran una mayor acumulación de níquel en las hojas, en el área fácilmente cosechable de la planta, alcanzando valores de hasta 1,050 mg Kg^{-1} de peso seco. Dando evidencia de que la chicura es una planta hiperacumuladora de níquel y por lo tanto puede ser utilizada en proyectos de fitorremediación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mecanismos específicos de las plantas para la absorción de níquel son muy variados, por lo que aún no son aclarados en su totalidad, sin embargo se conoce que el suelo es la principal fuente de níquel, que aumenta su disponibilidad con suelos sobre humedecidos, de pH bajo y que los iones de otros metales interfieren en su absorción (Seregin & Kozhevnikova, 2006; Van der Ent, Echevarria, & Tibbett, 2016). También se ha reportado que el género *Alyssum* (Brassicaceae) tiene el mayor número de hiperacumuladoras de Ni, el cual se acumula en su mayoría en la biomasa de la hoja, alcanzado concentraciones de hasta 30 g kg^{-1} (Broadhurst & Chaney, 2016), y que la cantidad de níquel que necesita absorber una planta para poder ser reconocida como hiperacumuladora de éste metal es de 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$ (0.1%) (Gregg & De Dominicis, 1997; Seregin & Kozhevnikova, 2006).

En este estudio, *A. ambrosioides* logró absorber suficiente níquel para asegurar que es una planta hiperacumuladora, convirtiéndola en una buena candidata para fitorremediación. La chicura absorbió la mayor cantidad de níquel en las hojas, y durante los 20 días del experimento, no exhibió síntomas de estrés, incluso cuando se aplicó el nivel más alto, por lo que es factible experimentar con concentraciones mayores de solución metálica para evaluar su capacidad de hiperacumulación.

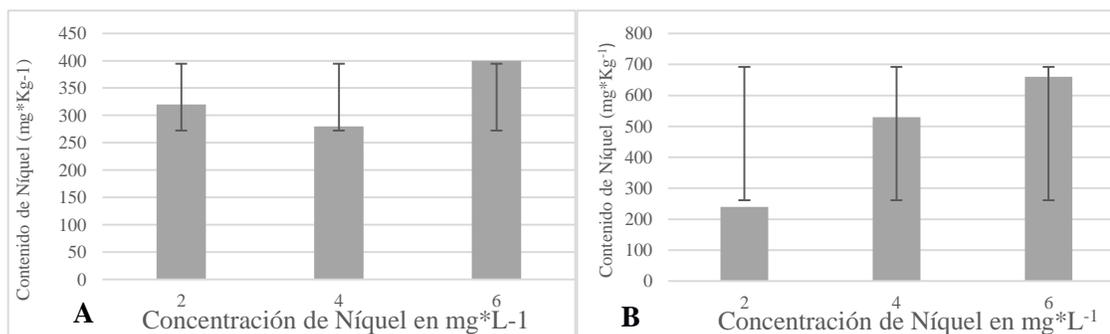


Figura 3. Contenido de níquel (mg Kg⁻¹ de peso seco) presentado en los tallos (A) de *Ambrosia ambrosioides*, y en las raíces (B) de la chicura expuestas a diferentes concentraciones de níquel durante 20 días. Las diferentes secciones de la planta no indican diferencia estadística significativa.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-López, V., Prieto-Fernández, Á., Cabello-Conejo, M. I., & Kidd, P. S. 2016. Organic amendments for improving biomass production and metal yield of Ni-hyperaccumulating plants. *Science of The Total Environment*, 548–549, 370-379.
- Arnon, D., & Stout, P. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiology*, 14(2), 371.
- Broadhurst, C. L., & Chaney, R. L. 2016. Growth and Metal Accumulation of an *Alyssum murale* Nickel Hyperaccumulator Ecotype Co-cropped with *Alyssum montanum* and Perennial Ryegrass in Serpentine Soil. *Frontiers in Plant Science*, 7, 451. doi: 10.3389/fpls.2016.00451
- Brown, P. H., Welch, R. M., & Cary, E. E. 1987. Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant physiology*, 85(3), 801-803.
- Callahan, D. L., Hare, D. J., Bishop, D. P., Doble, P. A., & Roessner, U. 2016. Elemental imaging of leaves from the metal hyperaccumulating plant *Noccaea caerulea* shows different spatial distribution of Ni, Zn and Cd. *RSC advances*, 6(3), 2337-2344.
- Cameselle, C., Chirakkara, R. A., & Reddy, K. R. 2013. Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: Status and opportunities. *Chemosphere*, 93(4), 626-636.
- Cao, H., Chen, J., Zhang, J., Zhang, H., Qiao, L., & Men, Y. 2010. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(11), 1792-1799.
- Contreras-Pinto L. A., Valencia Castro C. M., De La Fuente Salcido N. M., Linaje Treviño M. S., & R., T. C. 2014. Estudio de absorción, acumulación y potencial para la remediación de suelo contaminado por plomo usando *Ambrosia ambrosioides*.
- Cook, A. G., Weinstein, P., & Centeno, J. A. 2005. Health effects of natural dust. [journal article]. *Biological Trace Element Research*, 103(1), 1-15. doi: 10.1385/bter:103:1:001
- Copat, C., Bella, F., Castaing, M., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. 2012. Heavy Metals Concentrations in Fish from Sicily (Mediterranean Sea) and Evaluation of Possible Health Risks to Consumers. [journal article]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(1), 78-83. doi: 10.1007/s00128-011-0433-6
- Deng, T.-H.-B., Cloquet, C., Tang, Y.-T., Sterckeman, T., Echevarria, G., Estrade, N., . . . Qiu, R.-L. 2014. Nickel and zinc isotope fractionation in hyperaccumulating and nonaccumulating plants. *Environmental science & technology*, 48(20), 11926-11933.
- Gall, J. E., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. [journal article]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4), 1-21. doi: 10.1007/s10661-015-4436-3
- Gregg, P., & De Dominicis, V. 1997. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *Journal of Geochemical Exploration*, 59, 75-86.

- Houben, D., Pircar, J., & Sonnet, P. 2012. Heavy metal immobilization by cost-effective amendments in a contaminated soil: Effects on metal leaching and phytoavailability. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 87-94.
- Jáuregui, J. A., Morales, F. A. B., Castorena, C. Á., Fuentes, H. R., Ortíz, J. C. R., Ramírez, J. G. L., & Montoya, A. H. 2012. Metales pesados como indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos de suelo, San Luis Potosí, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44(2), 15-29.
- Jiang, Y., Lei, M., Duan, L., & Longhurst, P. 2015. Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: A UK contaminated land perspective. *Biomass and Bioenergy*, 83, 328-339.
- Martin, M. 2012. *Biological monitoring of heavy metal pollution: land and air*: Springer Science & Business Media.
- Mench, M., Lepp, N., Bert, V., Schwitzguébel, J.-P., Gawronski, S. W., Schröder, P., & Vangronsveld, J. 2010. Successes and limitations of phytotechnologies at field scale: outcomes, assessment and outlook from COST Action 859. [journal article]. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1039-1070. doi: 10.1007/s11368-010-0190-x
- Pietrini, F., Iori, V., Cheremisina, A., Shevyakova, N. I., Radyukina, N., Kuznetsov, V. V., & Zacchini, M. 2015. Evaluation of nickel tolerance in *Amaranthus paniculatus* L. plants by measuring photosynthesis, oxidative status, antioxidative response and metal-binding molecule content. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 482-494.
- Seregin, I. V., & Kozhevnikova, A. D. 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. [journal article]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(2), 257-277. doi: 10.1134/s1021443706020178
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. M. 2010. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 611-619.
- Susarla, S., Medina, V. F., & McCutcheon, S. C. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*, 18(5), 647-658.
- Van der Ent, A., Echevarria, G., & Tibbett, M. 2016. Delimiting soil chemistry thresholds for nickel hyperaccumulator plants in Sabah (Malaysia). [journal article]. *Chemoecology*, 26(2), 67-82. doi: 10.1007/s00049-016-0209-x
- Wei, S., & Pan, S. 2010. Phytoremediation for soils contaminated by phenanthrene and pyrene with multiple plant species. [journal article]. *Journal of Soils and Sediments*, 10(5), 886-894. doi: 10.1007/s11368-010-0216-4
- Yadav, S. K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.
- Zhu, F., Fan, W., Wang, X., Qu, L., & Yao, S. 2011. Health risk assessment of eight heavy metals in nine varieties of edible vegetable oils consumed in China. *Food and Chemical Toxicology*, 49(12), 3081-3085.
- Zhuang, P., Zou, H., & Shu, W. 2009. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study. *Journal of Environmental Sciences*, 21(6), 849-853.