

ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PLANTAS: UN MECANISMO DE DEFENSA ANTE LOS HERBÍVOROS

ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN PLANTS: A DEFENSE MECHANISM AGAINST HERBIVORES

Miguel Santoyo Martínez(1)*

Leticia Isabel Valencia Cuevas (2)

María Guadalupe Tenorio Arvide (3)

<https://orcid.org/0000-0002-8546-962X>

<https://orcid.org/0000-0001-6125-4782>

<https://orcid.org/0000-0003-1770-9131>

NÚMERO ESPECIAL POSGRADO ICUAP

Recibido: 20/diciembre/ 2023

Aprobado: 26/febrero/ 2024

Publicado: 7/marzo/ 2024

(1)Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. 14 sur 6301, Col. San Manuel, C. P. 72570, Puebla, Pue. México.

(2)Escuela de estudios superiores Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Carretera Galeana, Tequesquitengo s/n, Comunidad El Jicarero, C. P. 62915, Jojutla, Morelos, México

tenorio.arvide@correo.buap.mx

leticia.valencia@uaem.mx

miguel.santoyom@correo.buap.mx

RESUMEN

La herbívora es un proceso natural en el que los animales consumen tejidos vegetales, ante esta situación las plantas han desarrollado diferentes estrategias adaptativas para disminuir el consumo de sus tejidos. Por ejemplo, la formación de espinas y la producción de compuestos químicos son mecanismos de defensa que han desarrollado las plantas para provocar lesiones, efectos adversos a los herbívoros como daños en su sistema digestivo o la muerte. Existe un grupo de plantas que ha evolucionado para acumular elementos tóxicos como los metales pesados de su entorno, algunos de los cuales no tienen ninguna función metabólica en las plantas, sin embargo, los acumulan en sus diferentes tejidos como la raíz, tallo y hojas, lo que ha sido de utilidad para disminuir el ataque de los herbívoros. El tejido que acumula una mayor concentración de metales pesados son las hojas, siendo el órgano vegetal más atacado por los herbívoros. Por lo que la acumulación de metales pesados en plantas ha sido una estrategia de defensa viable por el reducido gasto energético que se necesita para llevar estos elementos a las hojas de las plantas.

Palabras claves: Herbívoros, metales pesados, plantas acumuladoras, defensa.

ABSTRACT

Herbivory is a natural process in which animals consume plant tissues. In this situation, plants have developed different adaptive strategies to reduce the consumption of their tissues. For example, the formation of thorns and the production of chemical compounds are defense mechanisms that plants have developed to cause injuries, adverse effects on herbivores such as damage to their digestive system or death. There is a group of plants that has evolved to accumulate toxic elements such as heavy metals from their environment, some of which do not have any metabolic function in plants. However, they accumulate them in their different tissues such as the root, stem and leaves, which has been useful to reduce the attack of herbivores. Therefore, the accumulation of heavy metals in plants has been a viable defense strategy due to the reduced energy expenditure needed to transport these elements to the leaves of the plants.

Keywords: Herbivores, heavy metals, accumulator plants, defense.

INTRODUCCIÓN

Las plantas son los principales productores primarios de los ecosistemas terrestres, por lo que se convierten en una fuente importante de alimento y energía para otros organismos como los consumidores primarios (herbívoros), siendo estos últimos enemigos naturales de las plantas (Granados-Sánchez et al., 2008). El consumo de los tejidos por parte de los herbívoros tiene un costo energético para las plantas, lo que puede reducir su sobrevivencia y éxito reproductivo. Es por ello, que las plantas han adquirido a través de su evolución adaptaciones morfológicas, fisiológicas o químicas, cuyo objetivo es reducir el ataque de los herbívoros, a este conjunto de características se les ha agrupado bajo el término de defensa (Gómez y Zamora 2002). Este proceso de evolución ha favorecido estrategias que involucran mecanismos que no requieren un gasto energético elevado. En este sentido, hay plantas que acumulan elementos tóxicos llamados metales pesados, principalmente en sus hojas, los que actúan como un mecanismo de defensa que reduce los niveles de daño por herbívoros. La ventaja para las plantas es que estos elementos los obtienen del ambiente en donde crecen y no invierten energía para producirlos.

Sistemas de defensas en plantas

Las defensas de las plantas pueden ser de tipo químico mediante la producción de metabolitos secundarios. Estos son compuestos o productos químicos que juegan un papel importante en la defensa, ya que perjudican el rendimiento de los herbívoros por uno de estos mecanismos generales: a) reducen el valor nutricional de los tejidos vegetales; 2) pueden actuar disuadiendo a los herbívoros de consumir un tejido; o 3) pueden ser tóxicos (Belete et al., 2018). Por ejemplo, los flavonoides y taninos producen un sabor amargo a los herbívoros inhibiendo su alimentación, reducen las proteínas solubles de las plantas, lo que disminuye el valor nutricional, además, tienen efectos en la inhibición de la digestión. Las saponinas producen un sabor amargo que disminuye el consumo del tejido vegetal y tienen efectos inflamatorios en los herbívoros. Finalmente, los glúcidos cianogénicos generan moléculas tóxicas como el ácido cianhídrico que provoca envenenamiento (Camacho-Escobar et al., 2019) (Figura 1).

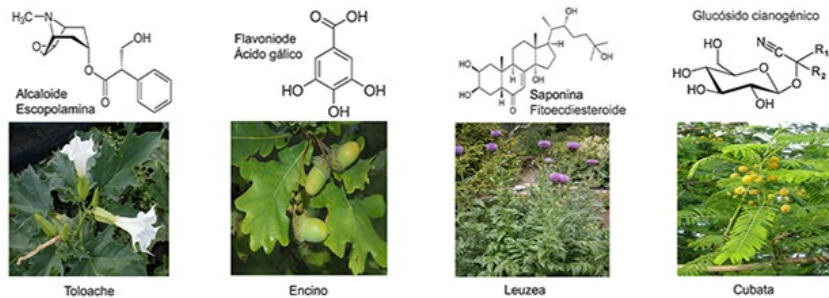


Figura 1. Mecanismos de defensa química en plantas. Imagen 1. Autor (Santoyo-Martínez M), tomada en el poblado de Huautla, Morelos. Imagen 2. crédito: <https://mexico.inaturalist.org/taxa/56133-Quercus-robur>. Imagen 3. crédito: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/793348-Rhaponticum-carthamoides>. Imagen 4. Autor (Santoyo-Martínez M) tomada en el poblado de Quilamula, Morelos.

Otro tipo de defensa es el físico, como la producción de espinas, pelos y tricomas, que por sus características físicas impiden el contacto del herbívoro con el tejido vegetal, siendo uno de los mecanismos de defensa más diversos y pueden medir desde un par de milímetros hasta centímetros (Oyama y Espinoza, 1986) (Figura 2).



Figura 2. Mecanismos de defensa física en plantas. Imagen 1. Autor (Santoyo-Martínez M), tomada en el poblado de Zapotitlán, Puebla. Imagen 2. Autor (Santoyo-Martínez M), tomada en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Imagen 3 y 4. crédito: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wigandia_urens,_a_nettle_know_as_Quemadura_%289358343073%29.jpg

Por otro lado, existe un mecanismo de defensa en plantas, que es menos conocido, y que consiste en la acumulación de metales pesados en sus tejidos, donde las hojas, son las estructuras donde se concentran comúnmente estos elementos. El valor adaptativo de este mecanismo radica en que las especies acumuladoras de metales tienen protección contra el estrés causado por los herbívoros (Body y Martens 1992; Martens y Boyd, 1994). Esta propuesta permite explicar la prevalencia de las plantas acumuladoras mediante un proceso de selección natural, en donde las plantas adquieren los metales pesados del suelo, los cuales son absorbidos y acumulados en sus partes aéreas sirviendo como un mecanismo de defensa ante el ataque de los herbívoros. La

ventaja de esta estrategia para las plantas es que no sintetizan estos elementos, por lo que pueden tener un menor costo metabólico a diferencia de la defensa química existente en las plantas, basada en la síntesis de productos orgánicos procedentes del metabolismo secundario (Poschenrieder et al., 2008).

¿Cómo acumulan los metales pesados las plantas?

Las plantas tienen la capacidad de adquirir iones inorgánicos del suelo, entre estos los metales pesados. La raíz es la encargada de su ingreso debido a que tiene la capacidad de absorber estos compuestos, ya que posee cargas negativas en sus células y por la presencia de grupos carboxilos del ácido péctico que interactúan con las cargas positivas de los iones inorgánicos. Esto facilita su entrada mediante un proceso de difusión en el medio y por intercambio catiónico (Wang y Chen, 2009). Una vez unidos, los metales pesados ingresan a través de las capas superficiales de la raíz, atravesando la pared celular de las células con la ayuda de algunas proteínas que permiten su ingreso y transporte hacia los sistemas vasculares (Xilema y Floema) que son los encargados de llevarlos hasta la parte aérea de las plantas (translocación) (Furini 2012) (Figura 3). Si bien, la acumulación de metales pesados puede tener efectos morfológicos, fisiológicos o genéticos en las plantas que los acumulan (Santoyo-Martínez et al., 2020) está bien documentado que diversas especies pueden establecerse, crecer y reproducirse en sitios con presencia de metales pesados.

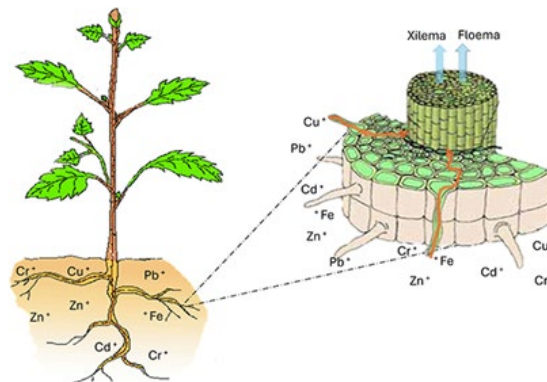


Figura 3. Ingreso y transporte de iones inorgánicos del suelo a la parte aérea de las plantas. Imagen (Santoyo-Martínez M)

Consecuencias de comer hojas con metales pesados

La protección de las plantas por la acumulación de metales pesados debe de cumplir las siguientes condiciones: 1) el metal absorbido debe de ser más tóxico para el herbívoro que para la planta; 2) el metal debe de reducir los efectos de la herbivoría, y 3) el metal incrementa la resistencia de la planta contra el ataque de especies de herbívoros (Boyd, 2012). Las condiciones antes mencionadas provocan en los herbívoros dos efectos, uno disuasivo, y otro tóxico, este último generando la muerte al organismo (Figura 4).

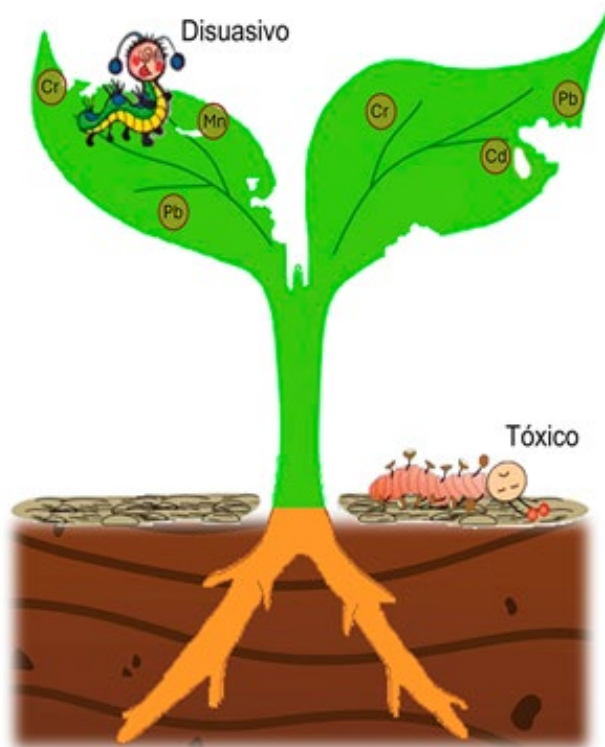


Figura 4. Efecto en los herbívoros por el consumo de plantas acumuladoras de metales pesados. modificado de Llugany et al., 2007.

En los últimos años, se han realizado más estudios, lo que ha revelado que cerca de 450 especies de plantas acumulan metales pesados en sus tejidos, particularmente Cadmio (Cd), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc Zn (Hall, 2002; Rascio, y Navari-Izzo, 2011). La acumulación

puede haber evolucionado en algunas especies de plantas debido a un proceso de selección natural, en donde las plantas que acumulaban una mayor concentración de metales eran más resistentes a los ataques de los herbívoros, lo que favoreció su sobrevivencia y éxito reproductivo.

CONCLUSIÓN

La acumulación de metales pesados en las plantas es un proceso evolutivo que ha servido como mecanismos de defensa contra los herbívoros. Este mecanismo resulta ventajoso sobre las defensas tradicionales como la producción de metabolitos secundarios o la defensa física (p. ej. espinas), donde la acumulación de estos elementos implica un menor gasto energético, dado que las plantas acumuladoras de metales pesados no los sintetizan, simplemente los obtienen del sustrato en donde crecen acumulándolos en sus tejidos. Entre los elementos tóxicos que acumulan las plantas están el Cr, Cd y Pb que, si bien limitan el crecimiento normal de la planta, se compensa con la disminución en el ataque de los herbívoros que consumen sus tejidos.

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por el apoyo de una beca otorgada para la estancia posdoctoral Miguel Santoyo-Martínez.

REFERENCIAS

- Belete, T. 2018. Defense mechanisms of plants to insect pests: from morphological to biochemical approach. *Trends in Technical & Scientific Research*. 2: 30-38.
- Boyd, R. S. y Martens, S. N. 1992. The raison d'être for metal hyperaccumulation by plants. In: Baker AJM, Proctor J, Reeves RD (eds) *The vegetation of ultramafic (serpentine) soils*. Intercept Limited, Andover. 279-289 p.
- Boyd, R. S. 2012. Plant defense using toxic inorganic ions: Conceptual models of the defensive enhancement and joint effects hypotheses. *Plant Science*. 195: 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.06.012>
- Camacho-Escobar, M. A., Ramos-Ramos, D. A., Ávila-Serrano, N. Y., Sánchez-Bernal, E. I., & López-Garrido, S. J. (2020). Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*, 38: 443-453. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>
- Furini A. 2012. *Plant and Heavy Metals*. Springer. 95 pp.
- Gomez JM, Zamora R (2002) Thorns as induced mechanical Defense in a long-lived shrub (*Hormathophylla spinosa*, Cruciferae). *Ecology* 83: 885-890. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0885:TAIMDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0885:TAIMDI]2.0.CO;2)
- Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P., & Barrera-Escorcía, H. (2008). *Ecología de la herbivoría*. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 14: 51-63.
- Hall, J. Á. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of experimental botany*, 53: 1-11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
- Martens, S. N. and Boyd, R. S. 1994. The ecological significance of nickel hyperaccumulation: a plant chemical defense. *Oecologia*. 98: 379-384.
- Oyama, K., y Espinoza, F. 1986. *Hervíboros y plantas ¿cómo interactúan?*
- Poschenrieder, C., Tolra, R. y Barcelo, J. 2008. Can metals defend plants against biotic stress? *Trends in Plant Sciences*. 11: 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.04.007>
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant science*, 180: 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- Santoyo-Martínez, M., Mussali-Galante, P., Hernández-Plata, I., Valencia-Cuevas, L. Y Tovar-Sánchez E. 2020. Heavy metal bioaccumulation and morphological changes in *Vachellia campechiana* (Fabaceae) reveal its potential for phytoextraction of Cr, Cu, and Pb in mine tailings. *Environmental Science Pollution and Research*. 27: 11260-11276. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07730-7>
- Wang, J. y Chen. C. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*. 27: 195-226. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>