

De la escasez a la resistencia: las plantas “malnutridas” pueden defenderse mejor de algunos patógenos

From scarcity to resistance: “malnourished” plants can defend themselves better against some pathogens

Daniela García García, César Arturo Peña Uribe, Homero Reyes de la Cruz

Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., México

Contacto: homero.reyes@umich.mx

Nutrientes: la base de la vida y la defensa

Todos los organismos vivos requieren nutrientes para crecer y desarrollarse. Estos nutrientes nos proporcionan energía para movernos y los materiales necesarios para el crecimiento y el mantenimiento del cuerpo. Los seres humanos, por ejemplo, los obtenemos de alimentos de origen vegetal (frutas, verduras y cereales) y de origen animal (carne, pescado, huevo y leche), de los cuales se obtienen azúcares, grasas y proteínas.

Las plantas, por otro lado, absorben agua y nutrientes minerales (nitrógeno, fósforo, hierro, potasio, calcio y azufre) a través de las raíces y, mediante procesos como la fotosíntesis, producen los componentes necesarios para vivir. Sin embargo, los nutrientes también son esenciales para mantener en óptimas condiciones las defensas del organismo, ya que no estamos exentos de ataques de patógenos como virus, hongos y bacterias.

Los nutrientes se utilizan para fabricar moléculas que nos ayudan a combatirlos. Por lo tanto, la supervivencia de todos los seres vivos depende de una distribución coordinada de nutrientes, asignándolos entre el crecimiento y la defensa (Dutta *et al.*, 2024). Pero te has preguntado: ¿qué pasa cuando un ser vivo mal alimentado o “malnutrido” tiene que enfrentar una enfermedad?

Resumen. Los nutrientes son necesarios para todos los seres vivos, los utilizamos principalmente para crecer y desarrollarnos. Pero también son esenciales para mantener las defensas de un individuo en óptimas condiciones. La supervivencia de todos los seres vivos depende de cómo de distribuyen y destinan los nutrientes para el crecimiento o la defensa en el organismo. Por tal motivo, se podría pensar que un organismo mal alimentado o “malnutrido” es totalmente susceptible a una infección, ya que, al estar debilitado, carece de los nutrientes necesarios para activar sus defensas. No obstante, en el caso de las plantas, hay una compleja respuesta al estrés, coordinada por las fitohormonas: ácido salicílico (AS), ácido jasmónico (AJ) y etileno (ET), que regulan tanto la respuesta al estrés de tipo abiótico (como lo es la deficiencia de nutrientes), como biótico (infección por patógenos). Una planta mal alimentada o “malnutrida” tiene “encendidas” estas vías de defensa, lo que la mantiene en estado de alerta.

Palabras clave: deficiencia de nutrientes, defensa, diafonía.

Abstract. Nutrients are necessary for all living beings; we use them primarily for growth and development. But they are also essential for maintaining an individual's defenses in optimal condition. The survival of all living things depends on how nutrients are distributed and allocated for growth and defense within the organism. For this reason, one might think that a poorly fed or «malnourished» organism is highly susceptible to infection, since, being weakened, it lacks the necessary nutrients to create or activate its defenses. However, in plants, a complex stress response is coordinated by the phytohormones salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA), and ethylene (ET), which regulate both abiotic stress responses (such as nutrient deficiency) and biotic stress responses (e.g., pathogen infection). A poorly fed or «malnourished» plant has these defense mechanisms «activated,» keeping it in a state of alert.

Keywords: nutrient deficiency, defense, crosstalk

La paradoja del sistema inmune

Lo primero que se nos podría ocurrir es que la defensa de este ser vivo puede estar debilitada, ya que los nutrientes necesarios para crear las defensas no están siendo suministrados de manera suficiente, pero ¿has escuchado alguna vez que las personas que viven en condiciones poco saludables e higiénicas se enferman menos o se adaptan mejor a las enfermedades que una persona que habita en ambientes saludables y con buena alimentación? (Stein *et al.*, 2016) Esto suena un poco contradictorio con la primera información que se presentó, pero se puede explicar porque el sistema inmunológico de esas personas siempre está en estado de alerta ante las condiciones cotidianas, lo que permite que responda de forma más eficiente.

Ahora, ¿esto podría aplicarse de la misma manera a otros organismos, como las plantas, que son el tema principal de este artículo?

El sorprendente sistema inmune de las plantas.

Como ya se mencionó, las plantas toman los nutrientes minerales que necesitan del suelo, sin embargo, en muchas ocasiones estos son escasos o simplemente no están disponibles. Es decir, se encuentran formando complejos con otras sustancias que los vuelven insolubles y no accesibles para las plantas, el ejemplo clásico de esto es el del fósforo, el cual forma complejos con el calcio (Fosfato dicálcico) en suelos alcalinos comunes en regiones áridas y semiáridas (Sharma *et al.*, 2013). Ahora bien, retomando nuestra

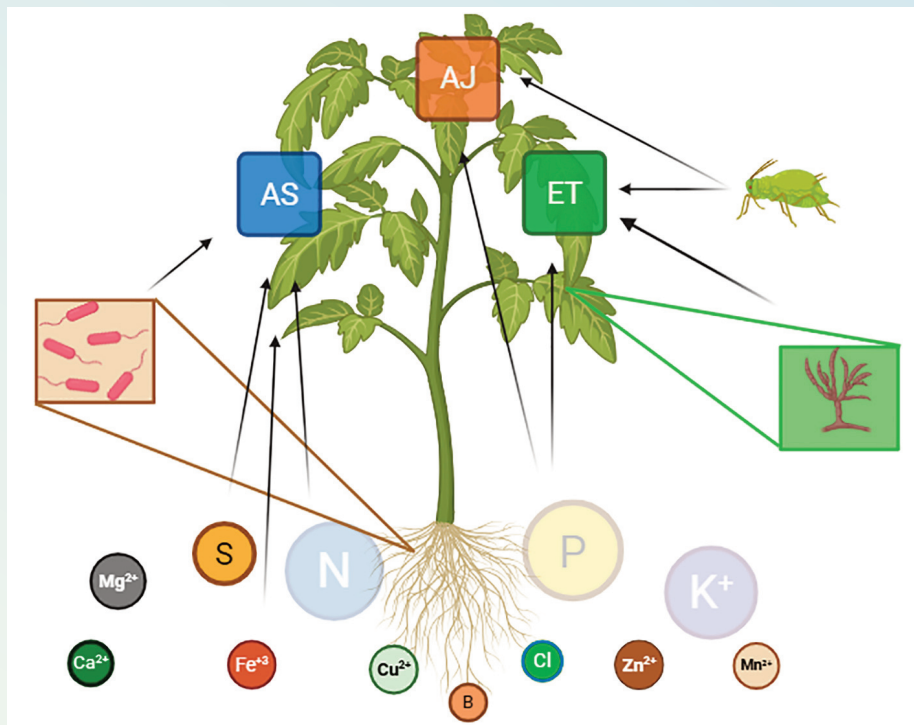


Figura 1. Esquemización de la respuesta de la planta frente al estrés por deficiencias de nutrientes, como el fósforo, el nitrógeno y el potasio (representados por colores más tenues) y al estrés ocasionado por patógenos, regulada por las fitohormonas AS, AJ y ET. Las flechas negras indican los dos tipos de estrés (biótico y abiótico) en los que inducen las diferentes fitohormonas. Los cuadrados indican un acercamiento a la zona de la planta señalada. Creado por biorender.

idea principal, ¿cómo es posible que una planta malnutrida responda de manera más eficaz al ataque de microorganismos patógenos? Pues bien, las plantas, al igual que nosotros, tienen un sistema inmune, que está coordinado por unas moléculas que llamamos fitohormonas. De ellas, podemos destacar al ácido jasmónico (AJ), al ácido salicílico (AS) y al etileno (ET); estas fitohormonas dirigen u “orquestan” un gran número de respuestas en la planta, tanto las que regulan el crecimiento y el desarrollo como las que regulan las respuestas al estrés, que pueden ser ocasionadas por deficiencias de nutrientes o por el ataque de patógenos (Figura 1).

Fitohormonas: del estrés nutricional a la resistencia contra patógenos.

Ante la deficiencia de algunos nutrientes (p. ej. Nitrógeno, fósforo, azufre y hierro) el ácido salicílico se induce para favorecer la absorción de nutrientes en deficiencia y participar en la regulación del estrés oxidativo causado por la formación de moléculas (especies reactivas de oxígeno) que pueden dañar potencialmente los

tejidos de las plantas (Khan *et al.*, 2015), por otro lado, se sabe que esa fitohormona también está involucrada en la respuesta al ataque por patógenos hemibiotróficos, es decir, aquellos que infectan y colonizan la planta sin matarla y que una vez hospedados empiezan a destruir los tejidos para alimentarse de ella, como la bacteria *Pseudomonas syringae* (Criollo-Artega *et al.*, 2021)

Otro ejemplo que resaltar es el de las fitohormonas etileno y ácido jasmónico, las cuales desempeñan un papel importante durante el estrés por deficiencia de fósforo, en el que ambas regulan el acortamiento de la raíz principal de la planta, así como la formación de unas estructuras celulares llamadas pelos radiculares, y el alargamiento de raíces laterales, todo esto le permite a la planta buscar el nutriente en capas más superficiales del suelo (Niu *et al.*, 2012). Por otro lado, ambas fitohormonas son fundamentales para que la planta responda mejor al ataque de patógenos necrotróficos como el hongo que causa la enfermedad del moho gris (*Botrytis cinerea*), este tipo de patógenos

infectan la planta y provocan necrosis (un tipo de muerte celular) para alimentarse de la materia muerta (Ingle *et al.*, 2015). Además, existen estudios donde se reporta que una planta en deficiencia de fósforo mejora la respuesta ante el ataque de insectos (herbivoría), ya que dicha deficiencia induce la fitohormona AJ, clave en la respuesta al ataque de herbívoros (Khan *et al.*, 2016).

Entonces, si en una planta que está malnutrida se activa la señalización de las hormonas como la del AS, del AJ o del ET que contrarrestan el estrés causado por deficiencia de nutrientes, no suena descabellado que, si la planta es atacada al mismo tiempo por un patógeno, esta pueda responder de manera rápida y eficiente. Lo anterior se debe a que estas fitohormonas están involucradas en la defensa contra los patógenos.

Este proceso dependerá del nutriente limitante en la planta y del patógeno que la infecta, pero, contrario a lo que pudiéramos pensar, una planta malnutrida sí puede defenderse. Claro que no siempre es así, en muchas otras situaciones la deficiencia de nutrientes predispone totalmente a la planta al ataque por patógenos o, en caso contrario, la suficiencia de nutrientes vuelve propensa a que la planta sea atacada por patógenos (Datnoff *et al.*, 2007). Sin embargo, existe evidencia en la literatura científica de que estas plantas malnutridas responden de mejor manera que una planta sana, al ya tener estas vías de defensa encendidas, manteniendo la planta en un estado de “alerta”.

Reflexiones finales

Es muy interesante cómo, a lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado mecanismos tan sofisticados que les permiten tener una mayor probabilidad de supervivencia, ya que su naturaleza sésil (fijas al suelo) les confiere ciertas desventajas, al no poder escapar de situaciones adversas como la deficiencia de nutrientes y el ataque de patógenos. Así que ya lo saben, no subestimen a una planta por no poder moverse, puesto que esta es capaz de adaptarse con gran rapidez al

entorno en el que se encuentra anclada, ya que las mismas moléculas (fitohormonas) que ayudan a sobrellevar una condición de estrés pueden combatir otra condición estresante totalmente diferente y, de esta manera, responder mejor a la siguiente.

Referencias

- Calabrese, EJ, Mattson, MP ¿Cómo influye la hormesis en la biología, la toxicología y la medicina? *npj Aging Mech Dis* 3, 13 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41514-017-0013-z>
- Criollo-Arteaga, S., Moya-Jimenez, S., Jimenez-Meza, M., Gonzalez-Vera, V., Gordon-Nunez, J., Llerena-Llerena, S., Ramirez-Villacis, DX, van 't Hof, P., & Leon-Reyes, A. (2021). La privación de azufre modula las respuestas al ácido salicílico a través del gen 1 relacionado con la patogénesis que no expresa el gen 1 en *Arabidopsis thaliana*. *Plants*, 10 (6), 1065. <https://doi.org/10.3390/plants10061065>
- Lipa, JJ (2008). Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (Eds.). 2007. Nutrición mineral y enfermedades de las plantas. APS Press – The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, EE. UU. 278 pp. ISBN 978-0-89054-346-7. *Journal of Plant Protection Research*, 48 (1), 106.
- Dutta, A., Dracatos, PM, & Khan, GA (2024). Equilibrio: La relación dinámica entre la disponibilidad de nutrientes y la defensa de las plantas. *The Plant journal: for cell and molecular biology*, 120 (5), 1724–1734. <https://doi.org/10.1111/tpj.17098>
- Ingle, RA, Stoker, C., Stone, W., Adams, N., Smith, R., Grant, M., Carré, I., Roden, LC y Denby, KJ (2015). La señalización de jasmonato impulsa las diferencias horarias en la susceptibilidad de *Arabidopsis* al patógeno fúngico *Botrytis cinerea*. *The Plant journal: for cell and molecular biology*, 84 (5), 937–948. <https://doi.org/10.1111/tpj.13050>
- Khan MI, Fatma M, Per TS, Anjum NA, Khan NA. Tolerancia al estrés abiótico inducida por ácido salicílico y mecanismos subyacentes en plantas. *Front Plant Sci.* 30 de junio de 2015;6:462. doi: 10.3389/fpls.2015.00462. PMID: 26175738; PMCID: PMC4485163.
- Khan, GA, Vogiatzaki, E., Glauser, G., & Poirier, Y. (2016). La deficiencia de fósforo induce la vía del jasmonato y aumenta la resistencia a la herbivoría por insectos. *Plant physiology*, 171 (1), 632–644. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00278>
- Niu, YF, Chai, RS, Jin, GL, Wang, H., Tang, CX, & Zhang, YS (2013). Respuestas del desarrollo de la arquitectura radicular a la baja disponibilidad de fósforo: una revisión. *Annals of Botanical*, 112 (2), 391–408. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs285>
- Pandey, P., Patil, M., Priya, P., & Senthil-Kumar, M. (2024). Cuando dos negativos hacen un positivo: el impacto favorable de la combinación de estrés abiótico e infección por patógenos en las plantas. *Journal of experimental botany*, 75 (3), 674–688. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad413>
- Sharma, SB, Sayyed, RZ, Trivedi, MH y Gobi, TA (2013). Microorganismos solubilizadores de fosfato: un enfoque sostenible para el manejo de la deficiencia de fósforo en suelos agrícolas. *SpringerPlus*, 2, 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Thakur, PP, Jadhav, PV, Dasgupta, D., Mote, G., Bhagat, R., Kale, PB, Mane, SS, Kharche, V., Deshmukh, R., Sonah, H., & Dani, RG (2025). Adquisición de nutrientes minerales bajo estrés: detección, señalización y transporte. *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, 360, 112702. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112702>
- Zarattini, M., Farjad, M., Launay, A., Cannella, D., Soulié, MC, Bernacchia, G., & Fagard, M. (2021). No hay mal que por bien no venga: cómo los estreses abióticos afectan la expresión génica en las interacciones planta-patógeno. *Journal of experimental botany*, 72 (4), 1020–1033. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa531>