

Artículo de divulgación

Defensa vegetal y nutrientes: un juego de equilibrio para la salud de las plantas

Plant defense and nutrients: a balancing act for plant health

Laura Castro-Rosalez ¹ , Antonio Juárez-Maldonado ² , Adalberto Benavides-Mendoza ³ ,
Fabián Pérez-Labrada ^{2,*} 

¹ Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

² Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila, México.

³ Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila, México.

* Autor para correspondencia: fabperlab@outlook.com

Recibido:

22/11/2025

Aceptado:

2/06/2026

Publicado:

17/06/2026

RESUMEN

Los nutrientes minerales que alimentan a las plantas no solo les sirven para crecer, sino que también juegan un papel clave en la protección contra plagas y patógenos. El presente artículo aborda el papel de macro y micronutrientes y elementos benéficos en la defensa vegetal. Algunos de estos nutrientes actúan como señal de alerta, otros estimulan la producción de sustancias antimicrobianas o repelentes, y otros refuerzan las estructuras celulares para impedir la invasión por patógenos. También menciona cómo el desbalance nutricional puede afectar la susceptibilidad de las plantas al ataque de organismos perjudiciales. Por lo cual es importante mantener un equilibrio en la fertilización para lograr cultivos sanos y resistentes. No obstante aún existen vacíos de información sobre la relación de la nutrición vegetal y la defensa por lo que es necesario desarrollar más investigación, que permita su aprovechamiento como herramienta clave para la sanidad vegetal.

Palabras clave: patógenos; plagas; nutrición vegetal; macronutrientes; micronutrientes.

ABSTRACT

The mineral nutrients that feed plants not only help them grow but also play a key role in protecting them against pests and pathogens. This article discusses the role of macro- and micronutrients and beneficial elements in plant defense. Some of these nutrients act as warning signals, others stimulate the production of antimicrobial or repellent substances, and still others reinforce cell structures to prevent invasion by pathogens. It also mentions how nutritional imbalance can affect the susceptibility of plants to attack by harmful organisms. Therefore, it is important to maintain a balance in fertilization to achieve healthy and resistant crops. However, there are still gaps in information on the relationship between plant nutrition and defense, so further research is needed to enable its use as a key tool for plant health.

Keywords: Pathogens; pests; plant nutrition; macronutrients; micronutrients.

INTRODUCCIÓN

¿Sabías que los nutrientes minerales no solo ayudan a las plantas a crecer, sino que también las mantienen fuertes y protegidas? Así como una alimentación balanceada nos permite estar sanos, los minerales que absorben las plantas les proporcionan un arsenal de herramientas para defenderse de organismos perjudiciales como plagas, hongos y bacterias fitopatógenas. Además de ser necesarios para la formación de raíces, hojas y tallos, algunos minerales participan en la producción de sustancias antimicrobianas o tóxicas; otros refuerzan las paredes celulares para impedir la entrada de invasores, y algunos actúan como señales de alerta que activan el sistema de defensa (Figura 1).

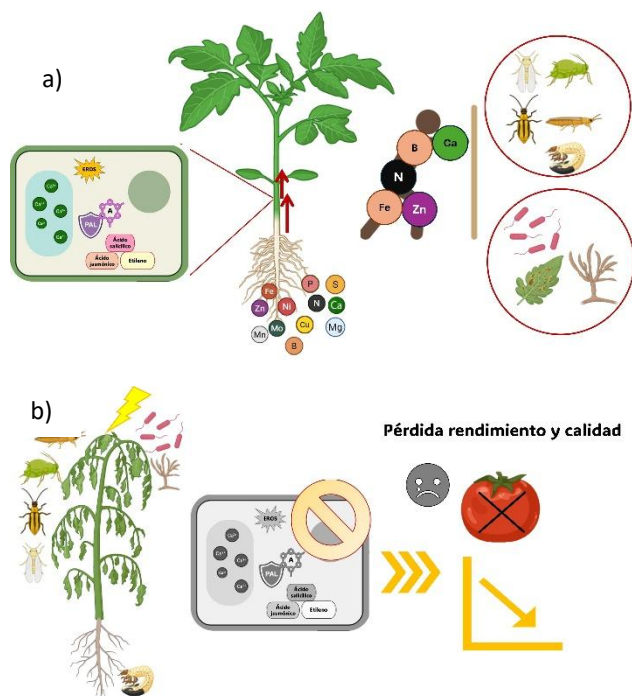


Figura 1. Impacto de la nutrición en la defensa de las plantas. a) Nutrientes disponibles, b) Sin nutrientes.

Pero ¡cuidado!: el exceso o deficiencia de ciertos nutrientes puede causar desequilibrios y hacer que las plantas sean más vulnerables a sus enemigos. El ataque de plagas y patógenos desencadenan una serie de cambios internos en las plantas que afectan su funcionamiento y capacidad para producir frutos de calidad (Ali *et al.*, 2024). Aunque no cuentan con un sistema inmune como los animales, poseen mecanismos

de protección que están profundamente ligados a su nutrición (Martín-Cardoso y San Segundo, 2025).

Este artículo aborda cómo los nutrientes actúan en la resistencia vegetal, destacando que la nutrición y la defensa forman un vínculo clave para mantener la salud de los cultivos (Cabot *et al.*, 2019).

ROL DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS... MUCHO MÁS QUE “COMIDA”

Los nutrientes que sirven de alimento para las plantas se dividen en dos grupos:

Los macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}) y azufre (S). Y los micronutrientes que incluyen al hierro ($Fe^{2+/3+}$), zinc (Zn^{2+}), cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y níquel (Ni^{2+}).

Cada uno de ellos desempeña funciones esenciales en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración. Pero más allá de su rol nutricional, la mayoría también promueven la formación de barreras y compuestos químicos que ayudan a las plantas a defenderse y a reducir los efectos negativos ocasionados por el ataque de plagas y fitopatógenos.

Por ejemplo, el N, además de ser un componente esencial para la formación de la clorofila, los ácidos nucleicos (ADN y ARN), así como de aminoácidos y proteínas (Ontiveros-Capurata *et al.*, 2022); también forma parte de enzimas asociadas con la defensa, como la fenilalanina amonio liasa (PAL). Esta enzima es fundamental para la producción de compuestos antioxidantes que aminoran el daño causado por las especies reactivas de oxígeno (ERO) que se generan durante las infecciones patogénicas. Las ERO junto con los radicales libres son moléculas altamente inestables y reactivas que, en exceso, pueden atacar y destruir a las proteínas, lípidos y ácidos nucleicos de las células (San Miguel y Martín-Gil, 2009).

El P es un componente estructural de los ácidos nucleicos y funciona como una batería de almacén y distribución de energía en las células vegetales. Además de participar en la síntesis de citoquininas, estimula la producción de compuestos fenólicos y terpenos que

actúan como repelentes para algunos insectos (Gómez-Trejo *et al.*, 2021; Kang *et al.*, 2023).

Por su parte, el K^+ además de controlar el potencial osmótico (Wang *et al.*, 2013) regula el contenido de azúcares, aminoácidos y proteínas libres en los tejidos vegetales, reduciendo la preferencia por parte de los herbívoros para alimentarse de la planta (Rashid *et al.*, 2016). Así mismo, al regular la apertura estomática actúa como agente que limita el ingreso de agentes patógenicos.

El Mg^{2+} , componente central de la clorofila, contribuye a mantener la estabilidad estructural de membranas, mitocondrias, cloroplastos y ribosomas; y es fundamental para cargar azúcares en la hoja y frutos. Además, promueve la activación de fitohormonas relacionadas con la defensa como el ácido salicílico (AS), el jasmónico (AJ) y el etileno (ET) las cuales coordinan respuestas sistémicas en las plantas para hacer frente a sus enemigos.

El Ca^{2+} es un componente estructural de la pared celular que brinda rigidez a los tejidos vegetales dificultando la entrada a los invasores. Otra función importante, es actuar como mensajero interno, ya que emite señales de alerta sobre la presencia de agentes extraños (Naveed *et al.*, 2024). Ante una amenaza despliega una cadena de señales que activan genes relacionados con la defensa mediada por el AS y el AJ (Farooq *et al.*, 2024). Gracias a ello las plantas incrementan la producción de flavonoides y alcaloides, compuestos que funcionan como barreras químicas y repelen algunas plagas como los trips (Zeng *et al.*, 2025). La presencia de Ca^{2+} puede bloquear la acción de enzimas que degradan la pared celular, como las poligalacturonasas, que algunos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* y *Erwinia* sp., usan para invadir a las células vegetales (Weinmann *et al.*, 2023).

El S, aparte de su función estructural en aminoácidos como la cisteína y metionina, es esencial para generar glucosinolatos, fitoalexinas, polisulfanes y polisulfidos, compuestos con propiedades antimicrobianas y repelentes para algunos insectos. Así mismo, está estrechamente relacionado con la producción de glutatión, un potente antioxidante celular que refuerza la tolerancia de las plantas ante condiciones adversas.

La Figura 2 muestra un resumen gráfico de la participación de los macronutrientes en la defensa de las plantas.

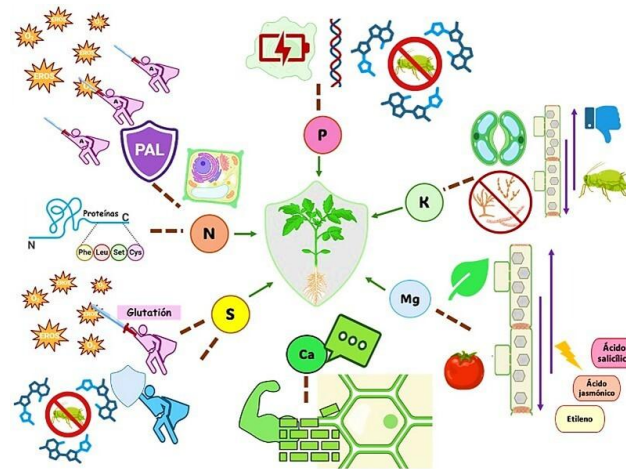


Figura 2. Mecanismos de defensa mediados por macronutrientes.

MICRONUTRIENTES: PEQUEÑAS DOSIS GRANDES EFECTOS

Aunque se requieren en menor cantidad, los micronutrientes también son fundamentales para hacer frente a las adversidades que pueden presentar las plantas. Al respecto, el B juega un papel crucial en la defensa estructural, ya que, junto con el Ca^{2+} , mantiene la rigidez de la pared celular (Ati *et al.*, 2024). El B favorece el engrosamiento y la formación de depósitos de calosa en la pared celular, endureciendo los tejidos, para dificultar la entrada de hongos fitopatógenos e insectos chupadores (Demis, 2024; Rassizadeh *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024). Este micronutriente incrementa la actividad de enzimas como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa (APX), que integran el sistema antioxidante de defensa, aliviando el daño oxidativo causado por la presencia de plagas y patógenos. Además, protege a las membranas celulares de la degradación lipídica y reduce el contenido de ERO generadas durante el proceso de infección (Sheng *et al.*, 2024). Así mismo el B forma puentes de unión con la actina del citoesqueleto lo que mejora la intercomunicación entre organelos ante eventos de estrés.

El $\text{Fe}^{2+/3+}$ actúa como ion auxiliar de numerosas enzimas que intervienen en reacciones redox cruciales para la respiración y la fotosíntesis. Sin embargo, las plantas también lo emplean como parte de una estrategia de defensa, llamada ferroptosis (muerte celular programada inducida por $\text{Fe}^{2+/3+}$). En este proceso, las plantas enfermas almacenan altas concentraciones de $\text{Fe}^{2+/3+}$ en los tejidos infectados, lo cual ocasiona una sobreproducción de ERO (reacción de Fenton Haber-Weiss) que inducen la muerte de los tejidos enfermos. De esta forma eliminan tanto las células infectadas como a los intrusos, evitando su propagación (Sun *et al.*, 2023).

Por su parte el Zn^{2+} incrementa la actividad de enzimas antioxidantes SOD, CAT, APX y glutatión peroxidasa (GPX), encargadas de eliminar el exceso de EROS y radicales libres generados tras una infección por patógenos. Conjuntamente fortalece las vías del AS, AJ y ET (Bastakoti, 2023).

Otro aliado, es el Mn^{2+} , elemento imprescindible para romper las moléculas de agua durante la fotosíntesis, y para la desintoxicación de EROS ya que es un activador de enzimas antioxidantes, como SOD. Al mismo tiempo forma parte de la enzima oxalato oxidasa, la cual produce sustancias con actividad microbicida localizada y refuerza las paredes celulares mediante la acumulación de lignina (Alejandro *et al.*, 2020).

Otro micronutriente clave en la protección de las plantas es el Cu^{2+} , un potente activador enzimático; que también participa en la cadena de transporte de electrones durante la fotosíntesis y la respiración. El Cu^{2+} posee propiedades fungicidas y bactericidas ampliamente aprovechadas para el control de enfermedades. Además, contribuye al reforzamiento de las paredes celulares al promover la lignificación y la acumulación de compuestos fenólicos que obstaculizan la invasión de patógenos (Mir *et al.*, 2021).

Otro elemento igual de importante es el Mo, el cual es reconocido principalmente por su rol en el metabolismo del N. El Mo defiende a las plantas de los patógenos al trabajar como activador de las enzimas nitrogenasa, nitrato y nitrito reductasa, encargadas de generar compuestos de partida para la fabricación de moléculas defensivas como los alcaloides (Roychoudhury y Chakraborty, 2022). La Figura 3 muestra un resumen

de la contribución de los micronutrientes en la defensa vegetal.

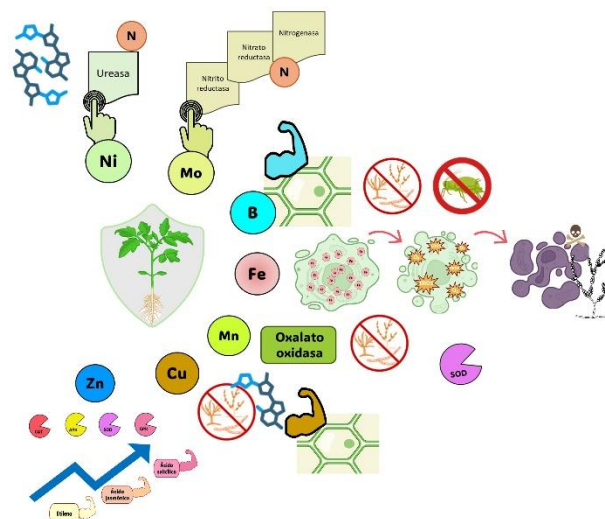


Figura 3. Mecanismos de defensa mediados por micronutrientes.

NÍQUEL ¿POSIBLE ALIADO EN LA DEFENSA VEGETAL?

¡Si! Actualmente el níquel (Ni^{2+}) es reconocido como un micronutriente esencial en la nutrición vegetal. El Ni^{2+} es el principal motor de la ureasa, enzima responsable de convertir la urea en amonio, que es una forma “comestible” de N para la planta (Fabiano *et al.*, 2015). Su papel en la defensa vegetal es un área poco explorada, sin embargo, se sugiere que el Ni^{2+} estimula enzimas antioxidantes y favorece la elaboración de compuestos fenólicos, ambos procesos necesarios para reducir el daño oxidativo.

ELEMENTOS BENÉFICOS

También destaca la participación de los llamados elementos benéficos que incluyen al silicio (Si), que al acumularse en los tejidos promueve la dureza de las paredes celulares; el selenio (Se) que promueve la síntesis de selenoproteínas para la elaboración de compuestos repelentes (dimetil selenuro) para los insectos plaga y algunos hongos. Y el titanio (Ti) que promueve la actividad antioxidante y fotosintética, que sirven para reponer los recursos gastados durante la respuesta defensiva.

“NI TANTO QUE QUEME AL SANTO NI POCO QUE NO LO ALUMBRE”: EL PAPEL DEL EQUILIBRIO NUTRICIONAL EN LA SALUD VEGETAL

Si bien cada nutriente aporta herramientas base para crecer y defenderse, es importante mencionar que su aprovechamiento depende del equilibrio. Es decir, deben aplicarse en las cantidades que requieren los cultivos, ni más, ni menos.

La aplicación de fertilizantes por encima de lo recomendado (“aporte de lujo”) no garantiza mayores ventajas, por el contrario, puede alterar el funcionamiento de las plantas y aumentar su vulnerabilidad a enfermedades y plagas. De la misma forma, la deficiencia de ciertos nutrientes (“hambre escondida”) puede generar cambios que dificulten o favorezcan la aparición de enfermedades o infestaciones de insectos.

Por ejemplo, el exceso de N puede interferir con la activación de genes asociados a PAL (Tripathi *et al.*, 2022), disminuyendo la producción de metabolitos secundarios que ahuyentan a los insectos (Rashid *et al.*, 2016). Además, la abundancia de N incrementa la acumulación de aminoácidos y azúcares, promoviendo tejidos más succulentos y “apetitosos”, pero con bajo contenido de lignina, que facilita la penetración de patógenos y el consumo por herbívoros (Figura 4). Por esta razón las plantas con exceso de N suelen ser preferidas por los insectos plagas.

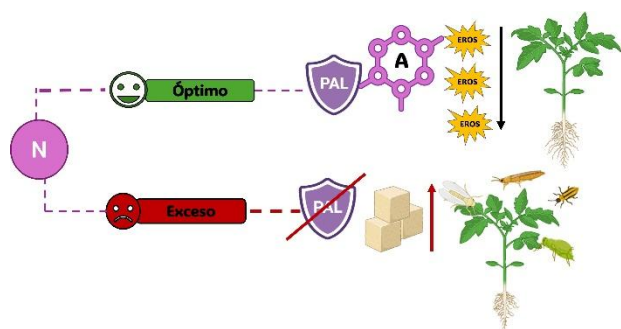


Figura 4. Efecto del desequilibrio en el suministro de nitrógeno (N).

De manera similar un alto contenido de P está asociado con una mayor susceptibilidad de las plantas a las

infecciones fúngicas, como ocurre en el arroz y la infección por *Magnaporthe oryzae*. Por otro lado, la deficiencia de S compromete la fabricación de glucosinolatos y glutatión, compuestos clave en la defensa vegetal, lo que explica por qué la falta de este nutriente también incrementa la susceptibilidad a enfermedades (Dorion *et al.*, 2021).

En cuanto a micronutrientes como el B, el rango entre deficiencia y exceso es muy pequeño, por lo cual es considerado un elemento de difícil manejo en las prácticas agrícolas (Bolaños *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2025). Un exceso de B, puede intensificar el impacto del estrés biótico en las plantas (Zhang *et al.*, 2024). Mientras que su deficiencia reduce la transpiración y limita la absorción de Ca^{2+} ; dado que ambos elementos sirven como escudo protector de las paredes celulares, su baja disponibilidad podría resultar en tejidos vegetales de fácil acceso para los patógenos y herbívoros (Lilay *et al.*, 2024; Haleema *et al.*, 2024). El bajo contenido de B también afecta la capacidad de las plantas para formar raíces nuevas (Chu *et al.*, 2025), lo cual limita la absorción de agua y nutrientes, agravando aún más los efectos ocasionados por la presencia de patógenos radiculares.

Contrario a lo que sucede con el N, el bajo contenido de B, Zn y Mg promueve la acumulación de aminoácidos y azúcares en los tejidos, lo cual resulta beneficioso para los insectos chupadores, hongos y bacterias que se alimentan de las plantas.

Como es bien sabido en la vida, los extremos rara vez son buenos, por lo tanto, mantener un equilibrio nutricional en los cultivos, es fundamental para preservar su sanidad y garantizar su productividad (Figura 5).

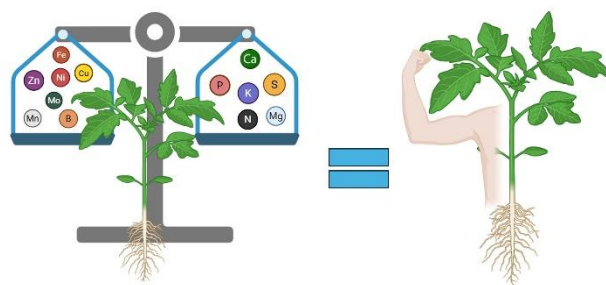


Figura 5. Equilibrio nutricional: base para tener cultivos saludables, productivos y resistentes.

EQUILIBRIO PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Mantener un equilibrio en la nutrición de los cultivos, es uno de los pilares para el desarrollo de una agricultura sustentable. Aplicar los fertilizantes en las dosis adecuadas evita el desperdicio y reduce la contaminación del agua y del suelo; y al mismo tiempo modera la necesidad del uso de pesticidas, al fortalecer las defensas vegetales.

Para lograr este equilibrio se recomienda:

- Conocer los requerimientos nutrimentales de los cultivos.
- Realizar análisis de suelo y agua, para conocer las necesidades reales de los cultivos.
- Diseñar planes nutricionales (“dietas”), de acuerdo con los requerimientos del cultivo y el aporte del suelo y agua.
- Establecer rutinas de monitoreo para ajustar las cantidades según la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales del cultivo.
- De esta manera se hace un uso óptimo y eficiente de los recursos, se mantiene la productividad y se apoya el desarrollo de sistemas agrícolas más respetuosos con el ambiente.

CONCLUSIÓN

El equilibrio nutricional es la base para tener cultivos saludables, productivos y resistentes. Ni los excesos, ni las deficiencias de nutrientes benefician a las plantas. Brindar las porciones adecuadas permite que su sistema de defensa funcione adecuadamente. Sin embargo, aún existen vacíos de conocimiento sobre cómo algunos nutrientes contribuyen a la susceptibilidad o resistencia de las plantas ante plagas y patógenos. Lo cual evidencia que este campo de estudio ha sido poco explorado, existiendo gran oportunidad para desarrollar investigaciones que profundicen el papel de la nutrición mineral en la defensa de las plantas. Los futuros avances deben brindar el conocimiento necesario para que la nutrición de las plantas sea una herramienta sostenible para proteger los cultivos y mejorar su salud de manera integral.

Literatura citada

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 517877. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00300/FULL>
- Bastakoti, S. (2023). Role of zinc in management of plant diseases: a review. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2194483>
- Cabot, C., Martos, S., Llugany, M., Gallego, B., Tolrà, R., & Poschenrieder, C. (2019). A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. *Frontiers in Plant Science*, 10, 448458. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01171/XML>
- Fabiano, C. C., Tezotto, T., Favarin, J., Polacco, J. C., & Mazzafera, P. (2015). Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses. *Frontiers in Plant Science*, 6, 754. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.00754>
- Farooq, M. A., Ayyaz, A., Zou, H. X., Zhou, W., Hannan, F., & Yan, X. (2024). Jasmonic acid mediates Ca²⁺ dependent signal transduction and plant immunity. *Plant Science*, 348, 112239. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2024.112239>
- Gómez-Trejo, L. F., Hernández-Acosta, E., & Peralta-Sánchez, Ma. G. (2021). N, P, K nutrition differentially affects the incidence and severity of the attack of pests and diseases in plants. *Agro Productividad*, 14(05). <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i05.2050>
- Kang, J., Qiu, W., Zhang, W., Liu, J., Yang, Z., Wu, Z., & Ge, J. (2023). Understanding how various forms of phosphorus stress affect microbiome functions and boost plant disease resistance: Insights from metagenomic analysis. *Science of The Total Environment*, 904, 166899. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166899>
- Martín-Cardoso, H., & San Segundo, B. (2025). Impact of nutrient stress on plant disease resistance. *International Journal of Molecular Sciences* 2025, 26(4), 1780. <https://doi.org/10.3390/IJMS26041780>
- Mir, A. R., Pichtel, J., & Hayat, S. (2021). Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management of Cu-contaminated soil. *BioMetals*,



34(4), 737–759. <https://doi.org/10.1007/S10534-021-00306-Z/METRICS>

Naveed, Z. A., Jamil, M., Asif, N., Waqas, M., Ajaz, S., & Khan, S. H. (2024). Cross-regulation of cytoskeleton and calcium signaling at plant-pathogen interface. *Cellular Signalling*, 117, 111100. <https://doi.org/10.1016/J.CELLSIG.2024.111100>

Ontiveros-Capurata, R. E., Juárez-López, P., Mendoza-Tafolla, R. O., Alia-Tejacal, I., Villegas-Torres, O. G., Guillén-Sánchez, D., Cartmill, A. D. (2022). Relación entre concentraciones de clorofila y nitrógeno, y producción de materia fresca en albahaca ‘Nufar’ (*Ocimum basilicum*), con lecturas de tres medidores manuales de clorofila: SPAD, atLEAF y MC-100. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 28(3), 189–202. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSH.2021.09.018>

Rashid, M. M., Jahan, M., & Islam, K. S. (2016). Impact of nitrogen, phosphorus and potassium on brown planthopper and tolerance of its host rice plants. *Rice Science*, 23(3), 119–131. <https://doi.org/10.1016/J.RSCI.2016.04.001>

Roychoudhury, A., & Chakraborty, S. (2022). Cobalt and molybdenum: deficiency, toxicity, and nutritional role in plant growth and development. *Plant Nutrition and Food Security in the Era of Climate Change*, 255–270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822916-3.00021-4>

San-Miguel, A., & Martin-Gil, F. J. (2009). Importancia de las especies reactivas al oxígeno (radicales libres) y los antioxidantes en clínica. *Gaceta Médica de Bilbao*, 106(3), 106–113. [https://doi.org/10.1016/S0304-4858\(09\)74661-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4858(09)74661-X)

Sun, J., Xiao, S., & Xue, C. (2023). The tug-of-war on iron between plant and pathogen. *Phytopathology Research*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S42483-023-00215-8/METRICS>

Tripathi, R., Tewari, R., Singh, K. P., Keswani, C., Minkina, T., Srivastava, A. K., De Corato, U., & Sansinenea, E. (2022). Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 13, 883970. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.883970/XML>

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response.

International Journal of Molecular Sciences, 14(4), 7370–7390. <https://doi.org/10.3390/IJMS14047370>

Zeng, G., Zhang, T., Yue, W. bo, Tian, S. jun, Cao, Y., Ye, M., & Zhi, J. Rui. (2025). Spraying calcium chloride helps to enhance the resistance of kidney bean plants to western flower thrips. *Pest Management Science*, 81(1), 220–229. <https://doi.org/10.1002/PS.8424>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

