






Artículo de divulgación

## Importancia y perspectiva futura de las nanopartículas para desencadenar metabolitos secundarios en las plantas

*Importance and future prospects of nanoparticles for triggering secondary metabolites in plants*

Alexis Gabriel Pivaral Chávez <sup>1</sup>, Eduardo Aron Flores Hernández <sup>1,\*</sup>, Alejandro Moreno Resendez <sup>1</sup>, Alma Patricia Galindo Guzmán <sup>2</sup>, Magdalena Galindo Guzmán <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna; Carretera a Santa Fe y periférico s/n, CP: 27054. Torreón, Coahuila, México. [algapc2022@gmail.com](mailto:algapc2022@gmail.com); [alejamosa@yahoo.com.mx](mailto:alejamosa@yahoo.com.mx)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de la Región Laguna; Calle Sin Nombre Sin Número Ejido Santa Teresa, C.P. 27942. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México; [alma.galindo@docentes.uprl.edu.mx](mailto:alma.galindo@docentes.uprl.edu.mx); [magda.galindo@uprl.edu.mx](mailto:magda.galindo@uprl.edu.mx)

\* Autor para correspondencia: [sica1208@hotmail.com](mailto:sica1208@hotmail.com)

**Recibido:**

11/11/2025

**Aceptado:**

10/02/2026

**Publicado:**

12/02/2026

**RESUMEN**

La nanotecnología aplicada a las plantas representa una alternativa innovadora para mejorar su crecimiento, rendimiento y capacidad de defensa. Las nanopartículas (NPs), ya sean de origen metálico, orgánico o derivadas del carbono, actúan como elicitores bioquímicos que estimulan la producción de metabolitos secundarios, compuestos que fortalecen las defensas naturales de las plantas y aumentan su tolerancia frente a condiciones de estrés ambiental. Entre estos metabolitos se incluyen flavonoides, alcaloides, terpenoides, antocianinas y fenoles, sustancias con importantes propiedades antioxidantes, farmacológicas, alimentarias e industriales, de gran valor biotecnológico. Gracias a su tamaño nanométrico y alta superficie específica, las nanopartículas pueden ser absorbidas fácilmente por los tejidos vegetales, ya sea a través de los estomas o mediante la difusión por las membranas plasmáticas, lo que facilita su interacción directa con el metabolismo celular. Aunque los metabolitos secundarios no son esenciales para el crecimiento de las plantas, desempeñan un papel crucial en su supervivencia, adaptación y defensa frente a agentes bióticos y abióticos, además de ofrecer beneficios comprobados para la salud humana al actuar como compuestos nutraceuticos y antioxidantes naturales. En el ámbito agrícola, estos compuestos permiten el desarrollo de bioinsecticidas naturales y alimentos funcionales, mientras que en la industria pueden emplearse en la producción de biocombustibles, cosméticos naturales y materiales sostenibles. El uso responsable y regulado de las nanopartículas junto con la investigación multidisciplinaria son esenciales para aprovechar de manera segura su potencial y garantizar la sostenibilidad ambiental. El objetivo de la presente investigación fue analizar la importancia de las nanopartículas en la inducción de metabolitos secundarios en las plantas.

**Palabras clave:** alimentos nutraceuticos; defensa natural; estrés abiótico; estrés biótico elicitores; nanotecnología.

**ABSTRACT**

Nanotechnology applied to plants represents an innovative and promising approach to enhance their growth, yield, and defense capacity. Nanoparticles (NPs)—whether metallic,



organic, or carbon-based—act as biochemical elicitors that stimulate the synthesis of secondary metabolites, compounds that strengthen plants' natural defense mechanisms and increase their tolerance to environmental stress conditions. These metabolites include flavonoids, alkaloids, terpenoids, anthocyanins, and phenolic compounds, all of which possess notable antioxidant, pharmacological, nutritional, and industrial properties of high biotechnological value. Due to their nanoscale size and high specific surface area, nanoparticles can be easily absorbed by leaves through the stomata or by diffusion across plasma membranes, thereby facilitating direct interaction with cellular metabolism. Although secondary metabolites are not essential for plant growth, they play a crucial role in plant survival, adaptation, and defense against both biotic and abiotic stressors, while also providing proven health benefits for humans as natural nutraceutical and antioxidant compounds. In agriculture, these metabolites enable the development of natural bioinsecticides and functional foods, whereas in industry they can be utilized in the production of biofuels, natural cosmetics, and sustainable materials. The responsible and regulated use of nanoparticles, together with multidisciplinary research, is essential to safely harness their full potential, ensure environmental sustainability, and establish secondary metabolites as key pillars of modern biotechnology. The aim of this research is to analyze the role of nanoparticles in the induction of secondary metabolites in plants.

**Keywords:** nutraceutical foods; natural defense; abiotic stress; biotic stress elicitors; nanotechnology.

## INTRODUCCIÓN

La nanotecnología (NT) se centra en el estudio y manipulación de materiales con dimensiones comprendidas en el rango nanométrico (entre 1 y 100 nanómetros), escala en la cual la materia adquiere propiedades físicas y químicas únicas. En el contexto agrícola, este campo se materializa principalmente a través del uso de nanopartículas (NPs), las cuales se clasifican según su composición química en metálicas, de óxidos metálicos, derivadas del carbono o de naturaleza orgánica (Lira-Saldívar et al., 2018). La integración de estas nanoestructuras en los sistemas agroalimentarios no solo permite optimizar la entrega de agroquímicos para el control de plagas, sino que también actúa como un potente inductor en la producción de metabolitos secundarios, estableciendo así un puente tecnológico entre las ciencias de materiales y la productividad del campo.

Las NPs pueden funcionar como elicitores que estimulan la síntesis de metabolitos secundarios, activando así las defensas naturales de la planta. Esto se debe a sus propiedades fisicoquímicas particulares, como su reducido tamaño, alta área superficial y mayor reactividad, que facilitan su interacción con los tejidos vegetales y las rutas de señalización celular, diferenciándolas de materiales de mayor tamaño (Pérez-

de-Luque, 2017). Diversos estudios han demostrado que ciertas NPs incrementan la producción de compuestos del metabolismo secundario de las plantas, como fenoles totales, taninos, alcaloides, saponinas, flavonoides, isoprenoides y antocianinas. Estas moléculas cumplen funciones clave en la defensa vegetal y muchas de ellas actúan como antioxidantes, es decir, ayudan a neutralizar especies reactivas de oxígeno responsables del daño oxidativo celular. Como consecuencia, el aumento de estos compuestos se asocia con una mayor capacidad antioxidante y con el fortalecimiento de los mecanismos fisiológicos de defensa de la planta (Lala, 2021).

Asimismo, se ha documentado que las NPs favorecen la activación de sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, incluidos aquellos implicados en el metabolismo secundario, lo que contribuye a la mitigación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y protege las células vegetales del daño oxidativo. En consecuencia, la aplicación de estas nanoestructuras puede potenciar tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos; no obstante, la magnitud de estos efectos es dependiente de la dosis de NPs suministrada ( $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) (Marslin et al., 2017).

Por otro lado, las plantas producen dos grandes tipos de metabolitos: los primarios, que se sintetizan en grandes cantidades y son esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción; y los secundarios, que se



generan en menor cantidad, pero desempeñan un papel crucial en la adaptación y respuesta a condiciones ambientales desfavorables (Tsipinana et al., 2023). En este contexto, frente a desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la búsqueda de sistemas agrícolas más sostenibles, el estudio y aplicación de las NPs en las plantas representa una herramienta prometedora para desencadenar la producción de metabolitos secundarios de interés biotecnológico.

Estas moléculas antioxidantes (fenoles totales, taninos, alcaloides, etc.) adquieren una relevancia especial, ya que poseen propiedades con potencial aplicación en medicina, farmacología, agricultura, industria y biotecnología, contribuyendo al desarrollo de bioinsumos sostenibles, alimentos funcionales y productos de alto valor agregado.

Por lo anterior, el objetivo de este artículo de divulgación es presentar una visión general sobre la importancia y la perspectiva futura del uso de las NPs en la inducción de metabolitos secundarios en las plantas, destacando su impacto en el fortalecimiento de las defensas vegetales y su potencial utilidad en diversas áreas de la ciencia aplicada.

## SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS

La obtención de nanopartículas metálicas puede realizarse principalmente mediante dos enfoques: el físico o “top-down” (de arriba hacia abajo), que se basa en la fragmentación mecánica del metal hasta alcanzar dimensiones nanométricas, y el químico o “bottom-up” (de abajo hacia arriba), que implica la formación de partículas a partir de la nucleación y posterior crecimiento de átomos metálicos. Este último enfoque resulta más versátil y eficiente, ya que permite un control más preciso sobre el tamaño, la morfología y la distribución de las nanopartículas, así como una mayor reproducibilidad durante su síntesis (Villarraga, 2016).

Las NPs pueden obtenerse por métodos físicos, como la molienda mecánica o pulverización catódica; métodos químicos, como los procesos sol-gel y de reducción química; o métodos biológicos como la síntesis verde; la cual destaca por su bajo impacto ambiental y compatibilidad con los sistemas biológicos vegetales. Este método utiliza extractos de plantas, microorganismos (bacterias, hongos, algas) o biomoléculas purificadas como agentes reductores y estabilizantes naturales. A diferencia de los métodos

convencionales, la síntesis verde se realiza en condiciones suaves de temperatura y presión, evitando el uso de solventes tóxicos o reactivos peligrosos, lo que disminuye la huella ecológica del proceso. Además, favorece la formación de nanopartículas biocompatibles, adecuadas para su aplicación en plantas y otros organismos vivos. En este contexto, la síntesis verde se posiciona como una alternativa sostenible para la producción de nanomateriales, al combinar la eficiencia de la nanotecnología con los principios de la química verde, promoviendo así una menor generación de residuos, menor consumo energético y una mayor seguridad ambiental (Dhir et al., 2024).

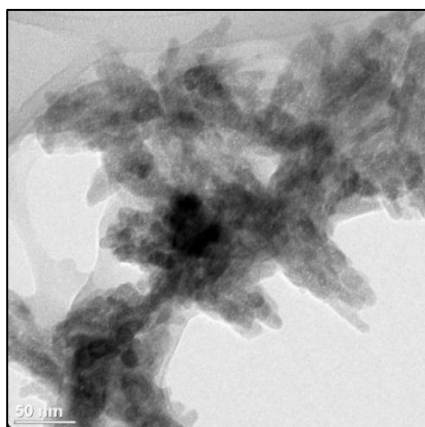
## LAS NANOPARTÍCULAS EN LAS PLANTAS

Existen diversos tipos de NPs que pueden aplicarse en las plantas, se pueden agrupar según su función en la agricultura. Por un lado, las NPs de cobre (NPs-CuO), silicio (NPs-SiO<sub>2</sub>) y zinc (NPs-ZnO) se utilizan principalmente por su papel en la nutrición vegetal y en la mejora de la tolerancia al estrés. Por otro lado, otras NPs como las de plata (NPs-Ag), aluminio (NPs-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titanio (NPs-TiO<sub>2</sub>) e hidroxiapatita nanométrica (nHAp) (Figura 1) se emplean por sus efectos antimicrobianos o fisiológicos específicos, contribuyendo al control de plagas, la protección vegetal y la optimización del desarrollo de los cultivos. La eficiencia de absorción y transporte de las NPs en las plantas depende principalmente de su tamaño, carga superficial y reactividad química, características que facilitan su paso a través de las paredes celulares y su movilidad en los tejidos vegetales (Esper et al., 2020). La vía foliar es la forma de aplicación más común (Figura 2), en la que las NPs penetran principalmente a través de los estomas, mediante procesos celulares como endocitosis o difusión directa a través de la cutícula. En este contexto, el tamaño y la forma de las NPs determinan tanto la eficiencia de absorción como su translocación dentro de la planta (Hong et al., 2021).

Una vez dentro de los tejidos vegetales, las NPs pueden interactuar con organelos celulares y rutas metabólicas específicas, estimulando la producción de metabolitos secundarios y modulando la respuesta antioxidante de la planta. Estos efectos están estrechamente relacionados con la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), ya que la presencia de NPs puede inducir un aumento controlado de ROS, que actúa como señal para activar defensas y mecanismos de adaptación. No obstante, se requieren estudios más detallados a nivel



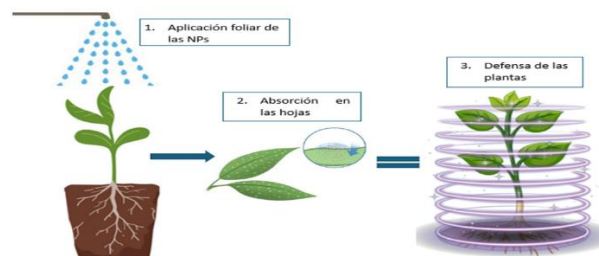
subcelular y molecular para comprender completamente los efectos duales de las NPs, que pueden ser beneficiosos —como la inducción de defensas y la mejora del crecimiento— o potencialmente negativos, dependiendo de su concentración, tipo de material y tiempo de exposición. Las ROS, son moléculas altamente reactivas capaces de dañar proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. Bajo condiciones normales, las plantas mantienen un equilibrio entre la generación y eliminación de ROS mediante sistemas antioxidantes enzimáticos, como catalasa (CAT), peroxidasa (POD) y superóxido dismutasa (SOD) y no enzimáticos, incluyendo prolina y compuestos fenólicos, los cuales también pueden verse estimulados por la presencia de NPs (Khan & Upadhyaya, 2019).



**Figura 1.** Morfología y microestructura de nanopartículas de hidroxiapatita (nHAp), observadas por microscopía electrónica de transmisión.

Sin embargo, bajo condiciones de estrés abiótico, la producción excesiva de ROS, supera la capacidad antioxidante natural de la planta, lo que provoca daños celulares, peroxidación de lípidos y alteraciones metabólicas. En este contexto, las NPs pueden modular la actividad de las enzimas antioxidantes, contribuyendo a restablecer el equilibrio redox, entendido como el balance dinámico entre la generación de ROS y los sistemas antioxidantes, fortaleciendo así, los mecanismos de defensa vegetal (Khan & Upadhyaya, 2019).

El efecto de las nanopartículas sobre las plantas depende, por tanto, del tipo, tamaño, concentración y tiempo de exposición, factores que determinan si su acción será benéfica o fitotóxica. De ahí la importancia de continuar evaluando su comportamiento fisiológico y su interacción con el ambiente, con el fin de garantizar aplicaciones seguras y sostenibles.



**Figura 2.** Efecto de las nanopartículas aplicadas vía foliar en las plantas (Diseño propio).

## METABOLITOS SECUNDARIOS EN PLANTAS

Las plantas producen metabolitos secundarios con propiedades bioactivas que pueden influir positivamente en la salud humana. Algunos de estos compuestos se consideran nutraceuticos, ya que proporcionan beneficios específicos más allá de la nutrición básica, al mismo tiempo que ofrecen oportunidades para avanzar hacia una agricultura más sostenible. La implementación de estrategias destinadas a incrementar o modular la síntesis de estos metabolitos resulta fundamental tanto para mejorar la calidad nutraceutica de los cultivos como para fortalecer la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas (Prohens, 2014). Entre los metabolitos secundarios de mayor relevancia se encuentran los carotenoides, polifenoles, fitoesteroles y glucosinatos, los cuales se han asociado con efectos antioxidantes, antiinflamatorios y protectores frente al estrés oxidativo (Rajarathnam et al., 2015). Estudios recientes también han mostrado que la variación en el contenido mineral y fenólico de determinadas especies vegetales se correlaciona positivamente con su capacidad antioxidante, reforzando su potencial como alimentos funcionales y como fuente de compuestos bioactivos de interés nutricional y terapéutico (Román-Cortés et al., 2018; Kumar et al., 2023).

## FUNCIONES DE METABOLITOS SECUNDARIOS EN PLANTAS

Los metabolitos secundarios desempeñan un papel esencial en la defensa y adaptación de las plantas (Figura 3), al proteger frente a fitopatógenos como insectos, bacterias, virus y hongos, también al conferir tolerancia frente a estrés abiótico, incluyendo radiación UV, sequía, salinidad, metales pesados, temperaturas extremas y estrés oxidativo, principalmente mediante su acción antioxidante. Además, muchos de estos compuestos,

como alcaloides, flavonoides, terpenoides y antocianinas, presentan propiedades bioactivas y nutraceuticas, con aplicaciones en salud humana, producción de bioplaguicidas y agroquímicos mediante efectos alelopáticos, así como en alimentos funcionales, aportando valor nutritivo, color, aroma y sabor. De este modo, los metabolitos secundarios no solo sustentan la defensa y el estrés adaptativo de las plantas, sino que también representan un recurso clave para la agricultura sostenible y la biotecnología alimentaria (Kumar et al., 2023).



**Figura 3.** Diseño propio. Factores bióticos y abióticos que afectan a las plantas.

## AGRUPACIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS

Avalos-García y Pérez-Urria (2009), señalan que los metabolitos secundarios de las plantas cumplen funciones adaptativas y defensivas, se agrupan en terpenos, compuestos fenólicos, glicósidos y alcaloides. Los terpenos, que incluyen hormonas, pigmentos y aceites esenciales, contribuyen a la supervivencia vegetal y se encuentran en especies como limón, menta, eucalipto y tomillo. Los compuestos fenólicos, como cumarinas, flavonoides, lignina y taninos, participan en las interacciones planta-herbívoro y están presentes en vainilla, canela, soya, naranja, pera, arándanos, perejil y uvas. Los glicósidos, entre ellos saponinas, glicósidos cardiacos, cianogénicos y glucosinolatos, se concentran en plantas como la yuca, afectando su valor nutritivo y su defensa química. Finalmente, los alcaloides, presentes en aproximadamente el 20 % de las plantas vasculares, principalmente dicotiledóneas herbáceas, incluyen compuestos como cafeína, morfina, nicotina y quinina, desempeñando un papel crucial en la protección y adaptación de la planta.

## FUTURO DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS

El conocimiento sobre metabolitos secundarios estará fuertemente asociado a los avances en biotecnología, genómica y biología sintética. Gracias a la secuenciación de genomas completos y al desarrollo de herramientas de edición genética, será posible manipular las rutas biosintéticas responsables de la producción de estos compuestos (Deng & Lu, 2017). También, con el avance de la tecnología se podrá facilitar la identificación de nuevos metabolitos con posibles usos tanto farmacológicos, industriales y agroquímicos (Zhang et al.

## PERSPECTIVAS EN LA AGRICULTURA

Isman (2020), describe que la agricultura actual enfrenta desafíos asociados al cambio climático y al aumento de la demanda de alimentos más saludables, lo que posiciona a los metabolitos secundarios como una alternativa valiosa para el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles. Entre sus aplicaciones destacan los bioplaguicidas, que incluyen bioinsecticidas, biofungicidas, bioherbicidas, bionematicidas y biobactericidas; compuestos como la azadiractina del neem, las piretrinas de *Chrysanthemum* spp., la nicotina de *Nicotiana tabacum*, el limoneno de los cítricos, el mentol y el timol de menta y tomillo, o la capsaicina de *Capsicum* spp., han demostrado ser efectivos en el control de plagas y patógenos con menor impacto ambiental, y se espera que su uso comercial continúe expandiéndose. Asimismo, la mejora genética de los cultivos permitirá desarrollar variedades transgénicas o editadas genéticamente capaces de producir metabolitos secundarios protectores, disminuyendo la dependencia de agroquímicos convencionales. Por otro lado, los metabolitos con propiedades antioxidantes, como los flavonoides, abren nuevas perspectivas en la elaboración de alimentos nutraceuticos, contribuyendo a productos con beneficios adicionales para la salud humana.

## PERSPECTIVAS EN LA INDUSTRIA Y BIOTECNOLOGÍA

Harvey et al. (2015) destacan que los metabolitos secundarios ofrecen perspectivas prometedoras para la industria y la biotecnología en diversos campos. En el sector energético, ciertos terpenoides y compuestos derivados de lípidos pueden transformarse en biocombustibles, constituyendo fuentes de energía

renovable. En la cosmética natural, los extractos ricos en flavonoides, terpenos y aceites esenciales se presentan como alternativas sostenibles frente a compuestos sintéticos, favoreciendo productos más seguros y ecológicos. Además, estos metabolitos tienen aplicaciones en materiales avanzados, ya que pueden emplearse en la síntesis de resinas, polímeros biodegradables y otros productos de alto valor agregado, ampliando las posibilidades de innovación y sostenibilidad en la industria.

En síntesis, los metabolitos secundarios no solo promueven sistemas agrícolas más sostenibles y productos industriales innovadores, sino que también abren oportunidades en biotecnología avanzada, incluyendo la síntesis de nanopartículas, combinando eficiencia, valor agregado y sostenibilidad ambiental.

## CONCLUSIONES

El uso de nanopartículas en las plantas ayuda al aumento de los metabolitos secundarios, estos compuestos no son esenciales para el desarrollo de la planta, pero sí son fundamentales para su supervivencia, éxito reproductivo y adaptación al ambiente, principalmente al desencadenar un mecanismo de defensa contra los tipos de estrés que pueden interferir durante su ciclo. Además, tienen un alto valor para los seres humanos en medicina, agricultura, alimentación e industria, lo que los convierte en un recurso estratégico de gran importancia biotecnológica.

Sin embargo, resulta imprescindible abordar este campo desde un enfoque multidisciplinario y ético, considerando la fitotoxicidad y los posibles residuos de las nanopartículas en el ambiente, así como la conservación de la biodiversidad, el respeto a los conocimientos tradicionales y la evaluación de los impactos ambientales. De este modo, se sugiere que los metabolitos secundarios podrían consolidarse como pilares de la innovación sostenible, el bienestar humano y el desarrollo de nuevas tecnologías, incluyendo aplicaciones en la síntesis de nanopartículas, sin dejar de reconocer la necesidad de evaluaciones rigurosas y enfoques responsables.

## Agradecimientos

A la UAAAN-UL y a la UPRL, por el apoyo para realizar las diferentes investigaciones y publicaciones.

## Literatura citada

- Avalos-García, A., & Pérez-Urria C.E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (biología)*, 2(3).
- Deng, H., & Lu, T. (2017). Synthetic biology for secondary metabolite production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 5(68), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2017.00068>
- Dhir, R., Chauhan, S., Subham, P., Kumar, S., Sharma, P., Shidiki, A., & Kumar, G. (2024). Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles: unlocking their pharmacological potential—a comprehensive review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1324805. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1324805>
- Esper, N.M., Britt, D.W., Lara, L.M., Cartwright, A., dos Santos, R.F., Inoue, T.T., and Batista, M.A. (2020). Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. *Agronomy*, 10(2): 307. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020307>
- Faizan, M., Hayat, S., Pichtel, J. (2020). Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Crop Plants: A Perspective Analysis. In: Hayat, S., Pichtel, J., Faizan, M., Fariduddin, Q. (eds) Sustainable Agriculture Reviews 41. Switzerland: Springer, Cham. pp. 83-99.
- Harvey, A.L., Edrada-Ebel, R., & Quinn, R.J. (2015). The re-emergence of natural products for drug discovery in the genomics era. *Nature Reviews Drug Discovery*, 14(2), 111–129. <https://doi.org/10.1038/nrd4510>
- Hong, J., Wang, C., Wagner, D.C., Gardea-Torresdey, J.L., He, F., & Rico, C.M. (2021). Foliar application of nanoparticles: mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts. *Environmental Science: Nano*, 8(5), 1196-1210.
- Isman, M.B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century-Fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>
- Khan, Z., & Upadhyaya, H. (2019). Impact of Nanoparticles on Abiotic Stress Responses in Plants. *Nanomaterials in Plants, Algae and*



- Microorganisms*, 305–322.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0128114889.000159>
- Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A.S., Nehela, Y., ... & Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant stress*, 8, 100154.  
<https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100154>
- Lala, S. (2021). Nanoparticles as elicitors and harvesters of economically important secondary metabolites in higher plants: A review. *IET nanobiotechnology*, 15(1), 28-57.  
<https://doi.org/10.1049/nbt.2.12005>
- Marslin, G., Sheeba, C.J., & Franklin, G. (2017). Nanoparticles alter secondary metabolism in plants via ROS burst. *Frontiers in plant science*, 8, 832. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00832>
- Pérez-de Luque, A. (2017). Interaction of nanomaterials with plants: what do we need for real applications in agriculture?. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 12.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00012>
- Prohens, J. (2014). Mejora genética de la calidad nutracéutica en hortalizas. *Acta Horticulturae*, 65: 26-32.
- Rajaratnam, S., Shashirakha, M.N., Mallikarjuna, S.E. (2015). Status of bioactive compounds in foods, with focus on fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(10): 1324-1339.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2012.692736>
- Román-Cortés, N.R., García-Mateos, M.D.R., Castillo-González, A.M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, M.A. (2018). Características nutricionales y nutracéuticas de hortalizas de uso ancestral en México. *Revista fitotecnia mexicana*. 41(3): 245-253.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61059021004>
- Lira Saldivar, R.H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G.D.L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.  
<https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- Tsipinana, S., Husseiny, S., Alayande, K.A., Raslan, M., Amoo, S., & Adeleke, R. (2023). Contribution of endophytes towards improving plant bioactive metabolites: a rescue option against red-taping of medicinal plants. *Frontiers in plant science*, 14, 1248319.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1248319>
- Villarraga, F.G. (2016). Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones. *Revista digital innovación y ciencia*, 1-11.
- Zhang, C., Yang, L., Ding, Y., Wang, Y., Lan, L., Ma, Q., & Cheng, J. (2021). Progress in microbial production of plant secondary metabolites. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9(652862), 1–13.  
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.652862>

**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.

