









Biognosis, 2026. 3 (2), 1-10.

<https://doi.org/10.29267/biognosis.2026.3.2.1-10>



Metabolitos secundarios vegetales contra las enfermedades Sigatoka negra y marchitez del chile causadas por hongos

Plant secondary metabolites against black Sigatoka and chili wilt diseases caused by fungi

Ignacio Islas-Flores^{1*} , Miguel Tzec-Simá¹ , Jacobo Pérez-Pastrana¹ , Blondy Canto-Canché² , José Armando Muñoz-Sánchez¹ , Felipe Vázquez-Flota¹ 

¹Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., 97205, Mérida, Yucatán, México.

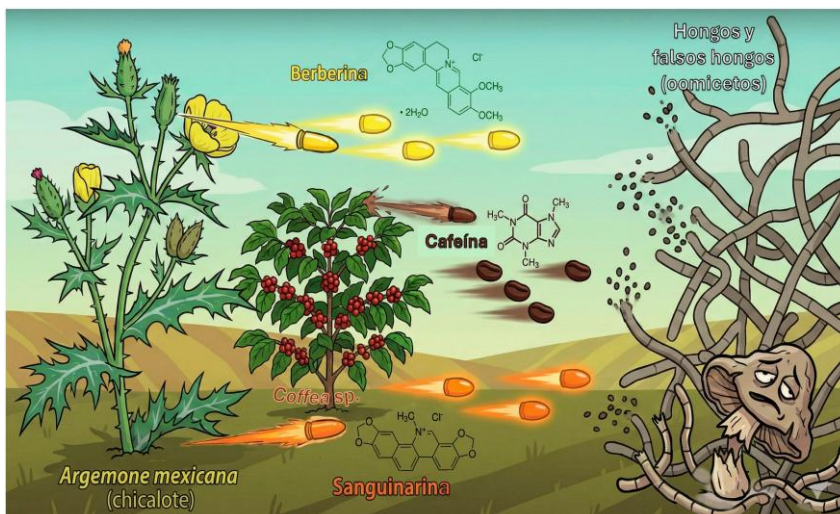
²Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., 97205, Mérida, Yucatán, México.

*Autor para correspondencia

Correo electrónico: islasign@cicy.mx (I. Islas-Flores)

Historial del artículo:

Recibido: 12 Febrero 2026 / Recibido en forma revisada: 14 Marzo 2026 / Aceptado: 26 Marzo 2026 / Publicado online: 1 Abril 2026.



“Los metabolitos secundarios vegetales son aliados clave para combatir las enfermedades; Sigatoka negra y la marchitez del chile, de manera segura y sostenible”

Resumen

En la agricultura, uno de los insumos fundamentales para mantener la sanidad y la productividad es el uso de fungicidas sintéticos. No obstante, su aplicación excesiva puede llevar a la aparición de cepas fúngicas resistentes, a una mayor contaminación medioambiental y a afectaciones a la salud, sin contar el impacto económico que genera. Una alternativa prometedora para el manejo de enfermedades agrícolas es el uso de biofungicidas derivados de plantas. Entre ellos se destacan los metabolitos secundarios berberina, sanguinarina y cafeína, los cuales han mostrado potencial para inhibir el desarrollo de diversos patógenos fúngicos, como lo es *Pseudocercospora fijiensis*, hongo patógeno del banano (*Musa* sp.) y *Phytophthora capsici*, falso hongo (oomyceto) patógeno del chile (*Capsicum* sp.).

Palabras clave: Berberina, cafeína, marchitez del chile, sanguinarina, Sigatoka negra.

Las enfermedades causadas por hongos y otros microorganismos representan una amenaza constante para cultivos de gran importancia como el banano y el chile. Aunque los fungicidas sintéticos ayudan a controlar estos problemas, su uso excesivo ha generado problemas ambientales, riesgos para la salud y la aparición de microorganismos resistentes. Por ello, actualmente se buscan alternativas más sostenibles, como los metabolitos secundarios vegetales, compuestos naturales con potencial para combatir enfermedades agrícolas de manera más amigable con el ambiente.

Demanda de los productos agrícolas

La población mundial actual es de aproximadamente 8.3 billones de personas y se predice que en 2050 seguirá creciendo. Este aumento de la población conlleva a un gran desafío: producir suficientes alimentos para abastecer a toda la población. La demanda de alimentos ejerce una fuerte presión sobre la cadena de producción, que requiere cada vez

Abstract

In agriculture, one of the fundamental inputs for maintaining plant health and productivity is the use of synthetic fungicides. However, their excessive application can lead to the emergence of resistant fungal strains, increased environmental contamination, and health problems, not to mention the economic impact. A promising alternative for managing agricultural diseases is the use of plant-derived biofungicides. Among these, the secondary metabolites berberine, sanguinarine, and caffeine, stand out, having shown potential to inhibit the development of various fungal pathogens, such as *Pseudocercospora fijiensis*, a pathogenic fungus of banana (*Musa* sp.), and *Phytophthora capsici*, a pathogenic pseudofungi (oomycete) of chili peppers (*Capsicum* sp.).

Keywords: Berberine, black Sigatoka, caffeine, chili wilt, sanguinarine.

mayores cantidades de carne, frutos, hortalizas, granos y cereales, entre otros. Adicionalmente, la presión de la actividad humana sobre el ambiente, ha resultado en una reducción del suelo destinado a la actividad agrícola (Hamad & Tayel, 2026), es decir, se necesita producir más en menor superficie de tierra. Además, las tendencias de alimentación también están cambiando. Se estima que en las próximas décadas aumentará el consumo de cereales, frutas y vegetales frescos, mientras que disminuirá el de productos cárnicos (Hamad & Tayel, 2026).

A este panorama se suma otro problema importante: las enfermedades de los cultivos causadas por hongos patógenos como *Magnaporthe* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. y *Colletotrichum* sp., entre otros. Dichos fitopatógenos causan pérdidas de alrededor del 30% de la producción mundial, afectando tanto la disponibilidad de alimentos como la economía agrícola global.

Control de hongos fitopatógenos en los cultivos agrícolas

Para mantener la producción de alimentos a gran escala, muchos cultivos comerciales dependen del uso constante de fertilizantes y fungicidas sintéticos. Como fungicida se define a toda sustancia química utilizada en la prevención o eliminación de hongos y oomicetos que afectan negativamente a las plantas. Sin embargo, su uso intensivo y su poca regulación han incrementado sus residuos en los alimentos y en el ambiente, con efectos indeseables en la salud. Además, algunos hongos han desarrollado resistencia a estos productos, lo que disminuye su efectividad y dificulta el control de las enfermedades agrícolas. En consecuencia, el mercado mundial ha limitado las cantidades máximas permitidas de fungicidas, por lo que la exportación de alimentos debe someterse a estrictos análisis de inocuidad antes de dejar sus países de origen.

Actualmente, en la agricultura se utilizan distintos tipos de fungicidas sintéticos para combatir las enfermedades causadas por hongos y otros microorganismos que dañan los cultivos. Entre los más empleados se encuentran los ditiocarbamatos, bencimidazoles, estrobilurinas, triazoles y otros compuestos especializados que actúan impidiendo el crecimiento y la reproducción de los hongos sobre las plantas. No obstante, uno de los problemas es que su acción no siempre se limita únicamente a los organismos dañinos. Estos compuestos también tienen efectos adversos en organismos benéficos para la actividad agrícola, tal es el caso de otros hongos, bacterias, insectos e incluso pequeños felinos y mamíferos que coexisten en las áreas de cultivo (Figura 1).

Ante este panorama, la ciencia ha comenzado a explorar alternativas más sostenibles, para combatir enfermedades agrícolas de manera más segura y amigable con el ambiente.

Las plantas como fuente de metabolitos secundarios con actividad fungicida

Las plantas sintetizan metabolitos secundarios diversos con actividad antifúngica, como saponinas, alcaloides, compuestos fenólicos, flavonoides y cumarinas, entre otros. Dichos compuestos son almacenados en diferentes tejidos de las plantas y actúan como reserva de nitrógeno, en la defensa contra el estrés biótico y en el ataque de diferentes patógenos. Una vez obtenidos, ya sea como extractos vegetales o puros, pueden aplicarse como biofungicidas directamente en las zonas de cultivo, pues no generan residuos peligrosos y tienen una vida media corta. Esto minimiza la contaminación ambiental y los posiciona como una alternativa viable al uso de los fungicidas sintéticos, tanto en el aspecto económico como en el de sostenibilidad (Cenobio-Galindo *et al.*, 2024).

El uso de los biofungicidas vegetales, particularmente de los alcaloides berberina, sanguinarina y cafeína, constituye un área de oportunidad para fomentar una agricultura más sostenible para el mundo. La berberina, la sanguinarina y la cafeína son ejemplos de metabolitos secundarios que presentan actividad antifúngica y antioomiceto *in vitro* e *in vivo*, aunque con eficiencias distintas según el organismo. Estos metabolitos pueden dificultar el desarrollo de los microorganismos patógenos al impedir la germinación de sus esporas, dañar sus estructuras celulares y alterar procesos esenciales para su supervivencia, como la producción de proteínas y la reproducción.

La berberina se produce en plantas como *Berberis vulgaris*, *Coptis chinensis* e *Hidrastis canadiensis*. La sanguinarina se encuentra principalmente en la raíz de *Sanguinaria canadiensis* y en semillas maduras y raíces de la familia Papaveraceae como *Chelidonium majus* y *Argemone mexicana*. Por otra parte, la cafeína, además de encontrarse en el café (*Coffea* sp.), también está presente en plantas como el cacao (*Theobroma cacao*) y la nuez de cola (*Cola acuminata*).

Algunas investigaciones ya han mostrado resultados alentadores. Por ejemplo, extractos de la planta *Argemone* sp., aplicados en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) enfermas, redujeron la infección por *Phytophthora infestans* o por *Fusarium oxysporum* (Hernández-Soto *et al.*, 2024; Juárez-García *et al.*, 2020). Con los resultados anteriores, es importante evaluar estos metabolitos sobre fitopatógenos con altos grados de resistencia en comparación con los fungicidas sintéticos, como es el caso de los patógenos del banano *Pseudocercospora fijiensis* o *Fusarium oxysporum* pv cubense (Foc R4T); y de *Phytophthora capsici*, oomiceto causante de la marchitez del chile.

Problemática asociada a la Sigatoka negra y a la marchitez del chile

Los cultivos de banano y chile son apreciados en todo el mundo por el fácil acceso a sus frutos y por su alto valor nutricional. El consumo del fruto de banano aporta potasio, vitaminas C y B6; mientras que el chile, contiene vitaminas C, A y B, así como antioxidantes como la capsaicina, uno de los compuestos que le confieren su picor (Faisal & Mustafa, 2025). En México, ambos cultivos tienen una gran relevancia agrícola y económica. En 2025, México sembró alrededor de 86 mil hectáreas de bananos y cosechó

aproximadamente 2.6 millones de toneladas de frutos, ocupando el 12avo lugar como productor mundial En el caso del chile, en 2023, México contribuyó con 3,113,244 toneladas, ocupando el segundo lugar como productor mundial En conjunto, ambos productos son fuente importante de divisas para la economía de México y para las personas que se dedican a su cultivo.

Dependiendo del cultivar, la producción del banano se ha reducido en mayor o menor grado por el hongo *Pseudocercospora fijiensis*, un ascomiceto filamentoso que ataca las hojas y causa la enfermedad conocida como Sigatoka negra. Al dañarse las hojas, la planta pierde capacidad para realizar la fotosíntesis, proceso mediante el cual obtiene la energía necesaria para crecer y desarrollar sus frutos. Como resultado, los racimos del banana pueden tener menor tamaño y peso, y sus frutos tienden a madurar antes de tiempo. Debido a esto, no solo se reduce la calidad del producto sino que los productores pierden importantes sumas económicas. Para su control, dependiendo de si las plantas están localizadas en el trópico húmedo o semiseco, anualmente se aplican entre 30 y 50 aspersiones de fungicidas sintéticos derivados de ditiocarbamatos y de bencimidazol, lo cual representa una inversión mundial anual millonaria.

Los cultivos de chile son atacados tanto por hongos fitopatógenos como *Colletotrichum capsici*, o por oomicetos como *P. capsici*, el cual es el responsable de la enfermedad llamada marchitez del chile. Morfológicamente, *P. capsici* se parece a los hongos filamentosos, por lo que, por mucho tiempo se intentó controlar utilizando fungicidas convencionales empleados contra hongos, como el Mancozeb y el Dimetomorph. Sin embargo, con el paso del tiempo este patógeno desarrolló resistencia a varios de estos productos químicos, lo que redujo considerablemente su efectividad. Actualmente el control de *P. capsici* depende de un número limitado de fungicidas sintéticos especializados, entre ellos Metalaxyl, Mefenoxam y Mandipropamida. No obstante, el uso constante de estos productos incrementa los costos de producción y dificulta el manejo de la enfermedad.

Las enfermedades de la Sigatoka negra y la marchitez del chile están presentes en todos los países productores de banano y chile del mundo. Dado lo anterior, la aplicación intensiva de fungicidas sintéticos es un reto ambiental y fitosanitario que requiere soluciones innovadoras e inocuas. Tanto los fungicidas sintéticos como los biofungicidas vegetales pueden controlar a los fitopatógenos causantes de la Sigatoka negra y la marchitez del chile (Figura 2). Sin embargo, su diferencia radica en su residualidad, toxicidad e impacto en la salud animal y ambiental.



Figura 2. Representación esquemática de las alternativas empleadas para el control de las enfermedades agrícolas en cultivos de banano y chile. Fungicidas convencionales sintéticos (izquierda), compuestos naturales derivados de plantas (berberina, sanguinarina y cafeína), mismos que son las opciones amigables con el ambiente (derecha).

Figure 2. Schematic representation of the alternatives for controlling agricultural disease in banana and chili crops. Conventional synthetic fungicides (left) and natural plant-derived compounds (berberine, sanguinarine, and caffeine), which represent environmentally friendly alternatives (right).

Biofungicidas vegetales como alternativa al uso de fungicidas sintéticos

Debido a las enfermedades de la Sigatoka negra y la marchitez del chile, se han empleado extractos vegetales o mezclas de extractos vegetales y fungicidas sintéticos para controlar a *P. fijiensis* y *P. capsici*, respectivamente. En el caso de *P. fijiensis*, se le han aplicado extractos de flores o raíces de cempasuchil, hojas de neem, ajo, cúrcuma, rizoma de cálamo aromático o rizoma de jengibre; o se han elaborado mezclas empleando una parte de dichos extractos con una parte de fungicidas sintéticos. En algunas mezclas se inhibió el crecimiento de *P. fijiensis*, sustentando que es posible reducir la aplicación de fungicidas sintéticos en el combate a la Sigatoka negra (Dissanayake *et al.*, 2023).

En el caso de *P. capsici* su control también es difícil y costoso pues ninguna de las variedades comerciales de chile es resistente a dicho fitopatógeno. Para prevenir su infección se aplican mezclas de los fungicidas sintéticos Mancozeb y Metalaxyl, y se controla la cantidad y calidad del agua, antes, durante y después de la siembra.

El control integral de *P. capsici*, mediante combinaciones de fungicidas con productos naturales, es una alternativa promisoriosa (Figura 2). Los extractos acuosos o etanólicos de las partes aéreas o las raíces de *A. mexicana* controlaron en un 60% el desarrollo de la

roya del maní. Además, la incorporación al suelo de dichos extractos, redujo la infectividad de hongos fitopatógenos como *Helmintosporium* sp., *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, entre otros. Tal inhibición puede explicarse por la presencia de berberina y oxyberberina en las partes aéreas y de sanguinarina en las raíces. Por lo tanto, los extractos de *A. mexicana* pueden ser una alternativa sostenible y ecológicamente amigable para el control de las especies de *Phytophthora* que afectan al chile.

El efecto de los alcaloides de *A. mexicana* no ha sido explorado sobre *P. fijiensis*, mientras que la cafeína no se ha evaluado sobre *P. fijiensis* o *P. capsici*, por lo que hay un nicho de oportunidad para determinar si dichos metabolitos secundarios pueden apoyar a la reducción del uso de los fungicidas sintéticos en las plantaciones de banano y chile de México y del resto del mundo (Figura 2. Opciones de control de las enfermedades de la Sigatoka negra y la marchitez del chile).

Conclusiones

En México, cerca de 3 millones de personas dependieron directa o indirectamente del cultivo del banano y del chile en 2025. El uso sostenido de fungicidas sintéticos en estos cultivos es una presión constante que requiere de grandes inversiones de capital y además, incrementa la posibilidad de generar cepas fúngicas resistentes a estos fungicidas.

Si se reduce el uso de fungicidas sintéticos y tal acción se establece como una política pública, entonces, se deben tener alternativas que controlen a los fitopatógenos y prevengan pérdidas en la producción de bananos y chiles. Esto abre la oportunidad de desarrollar productos antifúngicos basados en la berberina, la sanguinarina o la cafeína. Reemplazar los fungicidas sintéticos por formulaciones de metabolitos secundarios es coherente con las políticas de transición hacia una agricultura orientada a la producción de alimentos libres de residuos peligrosos.

Aunque los metabolitos secundarios vegetales con actividad antifúngica representan una alternativa prometedora, su uso también enfrenta algunos desafíos. Estos compuestos no siempre actúan únicamente sobre los microorganismos que causan enfermedades, ya que también pueden afectar hongos benéficos presentes en los ecosistemas agrícolas. Sin embargo, este problema no es exclusivo de los biofungicidas, pues muchos fungicidas sintéticos también generan efectos similares sobre organismos útiles para el ambiente.

Por lo tanto, es importante demostrar los biofungicidas cumplen con los estándares sanitarios y de inocuidad alimentaria, que sus beneficios en el control de los fitopatógenos superan sus riesgos y que además pueden competir económicamente con los productos químicos ya disponibles en el mercado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la SECIHTI por el financiamiento a los proyectos CBF-2025-I-1544 y CBF-2023-2024-1879; así como a los tres revisores anónimos, quienes de manera generosa destinaron tiempo para leer el manuscrito y enriquecerlo con sus observaciones y aportaciones.

Referencias

Cenobio-Galindo, A. de J., Hernández-Fuentes, A. D., González-Lemus, U., Zaldívar-Ortega, A. K., González-Montiel, L., Madariaga-Navarrete, A., & Hernández-Soto, I. (2024). Biofungicides based on plant extracts: On the road to organic farming. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6879. <https://doi.org/10.3390/ijms25136879>

Dissanayake, M., Herath, H., Jayasekara, H. M., & Abeywickrame, P. D. (2023). Efficacy of botanical mixture and fungicides to combat Sigatoka disease in banana cultivation. *Asian Journal of Mycology*, 6(2): 26-35. <https://doi.org/10.5943/ajom/6/2/2>

Faisal, A. F., & Mustafa, Y. F. (2025). Chili pepper: A delve into its nutritional values and roles in food-based therapy. *Food Chemistry Advances*, 6, 100928. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100928>

Hamad, A., & Tayel, A. (2026). Food 2050 concept: The trends that shape the future of our food. *Journal of Future Foods*, 6(6), 1053–1066. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.03.003>

Hernández-Soto, I., González-García, Y., Juárez-Maldonado, A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2024). Impact of *Argemone mexicana* L. on tomato plants infected with *Phytophthora infestans*. *PeerJ*, 12:e16666. <http://doi.org/10.7717/peerj.16666>

Juárez-García, R. A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L. F., Ruíz-Nieto J. E., & Hernández-Ruiz, J. (2020). Inhibición del crecimiento de *Fusarium oxysporum* Schltdl., con extracto de *Argemone ochroleuca* Sweet (Papaveraceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6: E0061012. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061012>

Información del autor



Ignacio Islas Flores (Primer autor y autor para correspondencia)

El Dr. Islas es licenciado en Biología por la Facultad de Ciencias, UNAM, Maestro en Ciencias en Biotecnología vegetal por el TecNM, campus Mérida, y Doctor en Ciencias y Biotecnología de Plantas por el Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC (CICY). Ha realizado estancias de investigación en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, en la Universidad de Brown, USA, y en la Universidad de Ottawa, Canadá. Es investigador titular en el CICY desde 2002 e integrante del SNII nivel II. Su línea de investigación se centra en la interacción planta-ambiente y los procesos proteómicos modulares del metabolismo celular durante el desarrollo de semillas oleaginosas.