

El control biológico como una alternativa para combatir las enfermedades y plagas de los cultivos agrícolas

Biological control as an alternative for combating agricultural crop diseases

Liliana Sofía Farías Vázquez¹, Rodolfo Ramos González^{2*}, Sandra Pacios Michelena¹, Cristóbal N. Aguilar³, Roberto Arredondo Valdés¹, Raúl Rodríguez Herrera³, José L. Martínez Hernández¹, Elda P. Segura Cenicerros¹, Teresinha Gonçalves da Silva⁴, Anna Iliná^{1*}

¹Cuerpo Académico de Nanobiociencias, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, México. Blvd. Venustiano Carranza y J. Cárdenas s/n, Col. República Oriente, 25280 Saltillo, Coahuila.

²CONACYT-Universidad Autónoma de Coahuila. Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnologías de Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, México. Blvd. Venustiano Carranza y J. Cárdenas s/n, Col. República Oriente, 25280 Saltillo, Coahuila.

³Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, México. Blvd. Venustiano Carranza y J. Cárdenas s/n, Col. República Oriente, 25280 Saltillo, Coahuila.

⁴Departamento de Antibióticos, Centro de Biociencias. Universidad Federal de Pernambuco. Av. Reitor Joaquim Amazonas, Recife, Estado de Pernambuco, Brasil.

*Autores para Correspondencia:

Anna Iliná, annailina@uadec.edu.mx;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5349-2852>

Rodolfo Ramos González, rodolfo.ramos@uadec.edu.mx,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0501-907X>

Resumen

Distintos productos químicos como los pesticidas, fungicidas y bactericidas han sido utilizados durante años para tratar las enfermedades provocadas por microorganismos fitopatógenos e insectos. Estos productos han traído consigo distintos problemas, como lesiones al medio ambiente y los daños a la salud que pueden ocasionar en el ser humano. Por lo que se han buscado alternativas para controlar a los microorganismos. Por otro lado, existen microorganismos con propiedades para controlar microorganismos fitopatógenos por lo que se usan como agentes de control biológico. Los hongos han demostrado ser útiles para controlar insectos vectores de enfermedades. Algunas levaduras han inhibido hongos fitopatógenos. Las bacterias son otro grupo de microorganismos empleados para el control biológico, ya que inhiben algunos fitopatógenos o estimulan a la planta para la producción de metabolitos con propiedades antifitopatógenas. La revisión se enfoca en una descripción de distintos agentes de control biológico, los cuales han sido propuestos como alternativa al uso de agroquímicos utilizados actualmente, como pesticidas y plaguicidas.

Palabras claves: biocontrol, microorganismos, hongos entomopatógenos, levaduras, bacterias.

Abstract

Chemical products such as pesticides and pesticides have been used for years to treat diseases caused by phytopathogenic bacteria and fungi. These products have brought with them different problems, such as their negative effect on the environment, their negative effect on humans, and the resistance that the agents responsible for these diseases have developed towards these treatments. Therefore, alternatives have been sought to attack the causes of these diseases. Microorganisms have shown good results in their application as biological control agents. Fungi have proven useful in attacking diseases caused by insects. Yeasts,

although still under study, have shown good results in inhibiting phytopathogenic fungi. Bacteria can be used to inhibit phytopathogens or to potentiate the plant, this depends on the metabolites that are produced. This review focuses on the description of different biological control agents, the use of which has been proposed as an alternative to agrochemical products currently used as pesticides and pesticides.

Keywords: biocontrol, microorganisms, entomopathogenic fungi, yeasts, bacteria.

Introducción

El uso excesivo e inadecuado de pesticidas y plaguicidas químicos tiene efectos negativos sobre la salud humana y sobre el medio ambiente. Por lo que una estrategia “De la granja a la mesa”, de la Unión Europea tiene, es reducir el uso de plaguicidas en un 30% para el 2030 (Saad y col., 2022). El control biológico ha demostrado resultados favorables como una opción para el manejo de enfermedades provocadas por microorganismos fitopatógenos (Abo-Elyousr y Hassan, 2021). El empleo de bacterias, hongos y levaduras como agentes de control biológico se considera una alternativa más segura que está ganando popularidad (Hassan y col., 2021).

La presente revisión se enfoca en una descripción de distintos agentes de control biológico, los cuales han sido propuestos como alternativa al uso de agroquímicos utilizados actualmente, como pesticidas y plaguicidas.

Control biológico

La contaminación pre- y postcosecha ocasionada por hongos toxigénicos y acumulación de micotoxinas, sigue siendo un desafío para la agricultura a nivel mundial. Los hongos y bacterias fitopatógenos provocan muchas enfermedades que conducen a la pérdida de 20-40 % de cosecha y/o postcosecha. Para combatir estos

problemas, los agricultores utilizan tratamientos químicos, los cuales consisten en el uso de ácidos, bases, sales de cobre y amoníaco para reducir la contaminación microbiana de los cultivos. Pero el uso no controlado de estos productos está también relacionado con daños a la salud y la aparición de microorganismos fitopatógenos resistentes (Hassan y col., 2021). El control biológico, también llamado biocontrol, protege a los cultivo de distintos microorganismos fitopatógenos que puedan afectar su crecimiento y desarrollo (Kumar y col., 2021). Por lo tanto, distintos microorganismos son considerados como agentes de control biológico ya que han mostrado capacidad para proteger a la planta contra enfermedades y han mostrado ser capaces de promover el crecimiento de las mismas. Por lo que se han empleado para mejorar el rendimiento de los cultivos y como una alternativa a los fertilizantes y pesticidas que actualmente se usan (Radhakrishnan y col., 2017). Los microorganismos de biocontrol son considerados una alternativa en el control de enfermedades postcosecha. Hasta ahora se han identificado distintos microorganismos por su capacidad como agentes de control (Nguyen y col., 2021).

Hongos entomopatógenos como agentes de control biológico contra plagas

Los hongos entomopatógenos que se encuentran en el suelo y son patógenos para las plagas de los insectos vectores (Litwin et al., 2023). Estos microorganismos tienen la capacidad de adherirse a la superficie de los insectos que atacan a los cultivos, de esta manera pueden desarrollarse en su interior y causarles daños que conducen a la muerte. Los hongos anifitopatógenos son de diferentes géneros y se encuentran de forma natural en el ambiente (Ortega Villasana, 2017). Los mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos se describen a continuación:

- 1) Las esporas se adhieren y germinan en la cutícula del insecto vector.
- 2) Las hifas del hongo crecen dentro del insecto, afectando los sistemas del hospedero;

3) El hongo prolifera en el cuerpo del insecto y ocasiona su muerte (Pucheta Díaz y col., 2006).

Al inicio, los síntomas pueden o no ser evidentes, pero luego de unos días los insectos comienzan a perder el apetito. Después de siete a diez días el insecto muere por deficiencia nutricional (Pacheco Hernández y col., 2019). Los hongos entomopatógenos son una alternativa al uso de plaguicidas debido a que no producen efectos negativos en el medio ambiente. Además, estos hongos son una alternativa sencilla, económica y sustentable (Pacheco Hernández y col., 2019).

En la Tabla 1 se describen algunos hongos controladores de plagas de insectos vectores de fitopatógenos.

Tabla 1. Hongos entomopatógenos utilizados para controlar plagas en los cultivos de México.

Hongo entomopatógeno	Insecto vector	Nombre científico	Cultivo al que afectan
<i>Beauveria bassiana</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Broca del café • Chinche ligus • Conchuela del frijol • Mosquita blanca • Picudo del nopal 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hypothenemus hampei</i> • Ninfas de <i>Lygus lineolaris</i> • <i>Palisotde Beauvois</i> • <i>Epilachna varivestis</i> • <i>Mulsant</i> • <i>Bemisia tabaci</i> • <i>Gennadius</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Café • Fresa • Frijol • Hortalizas • Nopal

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Metamasius spinolae</i> Gyllenhal 	
<i>Metarhizium anisopliae</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gusano barrenador • Chapulines • Langosta Centroamericana 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Diatrea magnifactella</i> • <i>Sphenarium purpurascens</i> y Melanoplus differentialis • <i>Schistocerca piceifrons</i> 	Maíz Frijol Plátano y cacahuate
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Picudo 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Anthonomus fulvipes</i> Boheman 	Cereza de Barbados
<i>Nomuraea rileyi</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gusano cogollero del maíz 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spodoptera frugiperda</i> 	Maíz

(Pacheco Hernández y col., 2019).

Levaduras como agentes de control biológico

Una de las estrategias para enfrentar los problemas de agricultura relacionados con hongos fitopatógenos y las micotoxinas es el uso de levaduras como agentes de control biológico. Hassan y col. (2021) estudió la inhibición de seis levaduras contra hongos fitopatógenos (*Aspergillus flavus*, *Cyberlindnera jadinii* y *Candida friedrichii*). Pero hay que tomar en cuenta que el uso de levaduras en esta área es todavía algo nuevo y se requieren más estudios para definir los *mecanismos de la actividad antagonista y mostrar las condiciones bajo las que se obtienen mejores respuestas* (Hassan y col., 2021).

Por otro lado, el tizón de la espiga por *Fusarium* es una enfermedad causada por *Fusarium graminearum*, que afecta al trigo en todas sus áreas de cultivo. Esta

enfermedad ocasiona la producción de micotoxinas, como la zearalenona y tricotecenos tipo B, en especial deoxinivalenol (Shude y col., 2021). Sin embargo, se ha demostrado que microorganismos conocidos como epifitas tienen la capacidad para controlar hongos fitopatógenos. Las epifitas son microorganismos que viven y crecen en plantas vivas y pueden tener actividad antimicrobiana (Shude y col., 2021). Dado que en estudios de 344 epifitas de levadura para controlar la enfermedad del tizón de la espiga *in vivo* como *in vitro* se ha detectado que *Pseudozyma* sp. inhibe el 64.31% de *Fusarium graminearum* bajo condiciones similares a las de los cultivos reales. Mientras que *Papiliotrema flavescens* lo inhibe en un 15.62% (Shude y col., 2021).

En la mayoría de los casos la muerte del fitopatógeno es causada mediante la acción enzimática de las enzimas secretadas por la levadura empleada como agente biológico (Freimoser y col., 2019). En la Tabla 2 se muestran algunas enzimas secretadas por levaduras utilizadas para el control biológico.

Tabla 2. Principales enzimas producidas por levaduras utilizadas como agentes de control biológico (Freimoser y col., 2019).

Géneros de levadura que la presentan	Enzimas	Función
<i>Aureobasidium</i> , <i>Candida</i> , <i>Debaryomyces</i> , <i>Metschnikowia</i> , <i>Meyerozyma</i> , <i>Pichia</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Tilletiopsis</i> , y <i>Wickerhamomyces</i>	Quitinasas	Permite la degradación de las paredes celulares fúngicas
<i>Candida</i> , <i>Wickerhamomyces</i> ,	Glucanasas	Permite la modificación de la pared celular, la adhesión

<i>Rhodotorula</i> y <i>Cryptococcus</i>		celular y la resistencia a toxinas asesinas
<i>Metschnikowia</i> , <i>Pichia</i> y <i>Wickerhamomyces</i>	Proteasa	Permite reducir la germinación de esporas (su actividad solo ha sido detectada en crecimiento después de 6 a 8 días en medios enriquecidos)

Bacterias como agentes de control biológico

Las bacterias son los agentes de biocontrol más empleados contra los fitopatógenos (Kumar y col., 2021). Algunas de ellas no son patógenas para seres humanos, producen antibióticos y metabolitos secundarios que ayudan a combatir a los fitopatógenos e inducen la resistencia de los cultivos vegetales (Abo-Elyousr y Hassan, 2021).

Las actinobacterias se consideran como agentes potenciales en el control biológico. Han sido utilizados en contra de distintas enfermedades de plantas, causadas por hongos, bacterias e insectos (Gebily y col., 2021). Por lo tanto, distintos estudios se han enfocado en el género *Streptomyces* ya que promueven el crecimiento de la planta, ayuda a la fijación de nitrógeno, a la producción de hormonas y a la resistencia sistémica. Además, especies de *Streptomyces* producen una gran variedad de metabolitos secundarios, los cuales incluyen antibióticos, enzimas hidrolíticas antimicrobianas, compuestos antioxidantes y compuestos antitumorales. Por otro lado, presentan notables propiedades antifúngicas y han sido utilizados a nivel industrial, son utilizados como antagonista contra fitopatógenos (Gebily y col., 2021; Nguyen y col., 2021).

La producción de distintos metabolitos secundarios por *Streptomyces* spp. varía de acuerdo con la especie, las condiciones de cultivo y los factores nutricionales del medio de fermentación (al Farraj y col., 2020). En la tabla 3 se presentan diferentes metabolitos antifúngicos producidos por especies de *Streptomyces*.

Tabla 3. Principales metabolitos producidos por bacterias del género *Streptomyces*.

Especie	Metabolitos	Función	Referencia
<i>Streptomyces angustmyceticus</i>	La enzima β -1,3-glucanasa	Capaz de inhibir el crecimiento de los hongos <i>Colletotrichum</i> y <i>Curvularia</i>	(Wonglom y col., 2019)
<i>Streptomyces</i> sp.	Dos dipéptidos cíclicos: Ciclo(1-Pro-1-Tyr) y Ciclo(d-Pro-1-Tyr)	Inhiben el crecimiento de <i>Xanthomonas axonopodis</i> y <i>Ralstonia solanacearum</i>	(Wattana-Amorn y col., 2015)
<i>Streptomyces tsukiyonensis</i>	El antibiótico Pirriles,	Inhibe el crecimiento de <i>Aspergillus</i> sp. y <i>Penicillium</i> sp.	(Pacios-Michelena y col., 2021)
<i>Streptomyces</i> sp.	Proteasas	Inhibe el crecimiento de <i>Colletotrichum dematium</i>	(Pacios-Michelena y col., 2021)

Bacillus es otro género de bacterias utilizado como agente de control biológico. El género es interesante para la agricultura porque regula el metabolismo vegetal mediante la regulación de fitohormonas intracelulares y aumenta la tolerancia de las plantas al estrés. Los metabolitos que producen incluyen las enzimas que degradan la pared celular de fitopatógenos, tales como quitosanasa, proteasa, celulasa, glucanasa, así como lipopéptidos. Estos metabolitos también ocasionan daños en bacterias patógenas, hongos, nematodos, virus y plagas. De esta manera es posible controlar sus poblaciones en cultivos y suelos agrícolas (Radhakrishnan y col., 2017). Además, amplia variedad de cepas *Bacillus* presentan actividad en control biológico dado que sintetizan sideróforos que regulan la concentración de hierro en el medio por su quelación (sideróforos Fe^{3+}). Los sideróforos son metabolitos secundarios que actúan como agentes secuestrantes o quelantes de hierro. Complejos sideróforos Fe^{3+} de los microorganismos productores pueden actuar a través de un receptor específico en la membrana por los mecanismos que se describen a continuación (Villarreal-Delgado y col., 2018).

- 1) Formación del complejo a través del complejo sideróforo Fe^{3+} a través de la membrana celular.
- 2) Reducción extracelular de Fe^{3+} a complejos de Fe^{2+} (Villarreal-Delgado y col., 2018).

Las auxinas son un tipo de fitohormonas que actúan en varios procesos de desarrollo de las plantas, pueden ser producidos por actinomicetos y algunas especies de *Bacillus*. Las propiedades más importantes de las auxinas incluyen sus capacidades para inducir la formación y elongación de tallos a nivel de la planta, para promover la división celular en cultivos de callos, la capacidad de producir diversos tejidos a partir de hojas y tallos recién cortados. Aunque las auxinas no sirven para que las plantas puedan atacar directamente a los microorganismos fitopatógenos, potencializan el crecimiento de la planta, le dan la capacidad de ser más resistente al ataque de microorganismos dañinos lo cual puede ser considerado

como una manera indirecta de proteger a la planta contra enfermedades (Alcantara Cortes y col., 2019).

Conclusión

Los microorganismos han demostrado ser buenos agentes de control biológico. Son una alternativa a los plaguicidas, fungicidas y bactericidas químicos que se encuentran actualmente en el mercado. Estos agentes pueden ser utilizados en la formulación de productos que sean efectivos para tratar y prevenir las enfermedades de los cultivos agrícolas causados por fitopatógenos. Los agentes de control biológico no son dañinos para seres humanos ni para el medio ambiente. Es necesario continuar la investigación para lograr mayor conocimiento sobre los mecanismos de acción, todas aplicaciones y efectos causados por agentes de control biológico naturales, el espectro de acciones contra causantes de las enfermedades al igual de conocer el rango de inocuidad al aplicarse ampliamente.

Agradecimiento

Esta investigación fue realizada con el apoyo financiero del proyecto No.729 de Cátedras de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y proyecto COAH-2022-C019 de FONCYT de COECYT-Coahuila.

Referencias

- Abo-Elyousr, K. A. M., & Hassan, S. A. (2021). Biological control of *Ralstonia solanacearum* (Smith), the causal pathogen of bacterial wilt disease by using *Pantoea* spp. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1): 2–8. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00460-z>
- al Farraj, D. A., Varghese, R., Vágvölgyi, C., Soliman Elshikh, M., Alokda, A. M., & Hossam Mahmoud, A. (2020). Antibiotics production in optimized culture condition using low cost substrates from *Streptomyces* sp. AS4 isolated from mangrove soil sediment. *Journal of King Saud University - Science*, 32(2): 1528–1535. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.12.008>

agropecuaria y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56): 4-29. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>

Pacios-Michelena, S., Aguilar González, C. N., Alvarez-Perez, O. B., Rodriguez-Herrera, R., Chávez-González, M., Arredondo Valdés, R., Ascacio Valdés, J. A., Govea Salas, M., & Ilyina, A. (2021). Application of *Streptomyces* antimicrobial compounds for the control of phytopathogens. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 1-13. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.696518>

Pucheta Díaz, M., Flores Macías, A., Rodríguez Navarro, S., De La Torre, M. (2006) Mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31 (12): 856-860. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33901204.pdf>

Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2017). *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Frontiers in Physiology*, 8: 667-673. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2017.00667/BIBTEX>

Saad, A. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., El-Saadony, M. T., Alotaibi, S. S., El-Shehawi, A. M., Abd El-Mageed, T. A., Taha, A. E., Alkahtani, M. A., Ezzat Ahmed, A., & Swelum, A. A. (2022). Biological control: An effective approach against nematodes using black pepper plants (*Piper nigrum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (4): 2047–2055. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.004>

Shude, S. P. N., Mbili, N. C., & Yobo, K. S. (2021). Epiphytic yeasts as potential antagonists against *Fusarium* head blight of wheat (*Triticum aestivum* L.) caused by *Fusarium graminearum* sensu stricto. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(6): 404-411. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2021.11.001>

Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & Santos-Villalobos, S. de los. (2018). The genus *Bacillus* as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity. *Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1): 95–130. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>

Wattana-Amorn, P., Charoenwongsa, W., Williams, C., Crump, M. P., & Apichaisataienchote, B. (2015). Antibacterial activity of cyclo(L-Pro-L-Tyr) and cyclo(D-Pro-L-Tyr) from *Streptomyces* sp. strain 22-4 against phytopathogenic bacteria. *Natural Product Research*, 30(17): 1980-1983. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2015.1095747>

Wonglom, P., Suwannarach, N., Lumyong, S., Ito, S. ichi, Matsui, K., & Sunpapao, A. (2019). *Streptomyces angustmyceticus* NR8-2 as a potential microorganism for the biological control of leaf spots of *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* caused by *Colletotrichum* sp. and *Curvularia lunata*. *Biological Control*, 138: 1049–9644. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2019.104046>