



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>

Artículo de Revisión

Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión

Entomopathogenic organisms for pest control in the mexican agriculture, livestock and forest sectors: a review

Ma. de Lourdes Pacheco Hernández^{1*}, J. Francisco Reséndiz Martínez¹ y

Víctor J. Arriola Padilla¹

Abstract

Biological control, one of the methods of pest management compatible with the environment, offers benefits to the farmers' economy, environmental protection and consumer health. This is an updated review about the research that has been carried out on entomopathogenic organisms for pest control in the Mexican agriculture, livestock and forest sectors. There are several types of entomopathogenic organisms such as fungi, bacteria, nematodes and viruses used for this purpose. It is summarized the progress and research carried out in recent years as components of the integrated pest management strategies in crops, forests, urban habitats, medical and veterinary importance. It is worth highlighting the wide interest in research of entomopathogenic fungi -mainly *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*- in the agricultural sector, followed by their use in the livestock and lastly in the forestry sector. More research and applications should be done regarding entomopathogenic nematodes. Bacteria, as well as viruses, applied to combat pests have been explored very rarely. The main companies that commercialize products with these organisms in the country are also listed.

Key words: Entomopathogenic bacteria, biological control, entomopathogenic fungi, entomopathogenic nematodes, plagues, entomopathogenic virus.

Resumen

El control biológico es uno de los métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente, ofrece beneficios a la economía de los agricultores, protección al ambiente y a la salud de los consumidores. En esta compilación, se presenta una revisión actualizada sobre las investigaciones que se han realizado hasta el momento en el tema de organismos entomopatógenos para combate de plagas en los sectores agrícola, pecuario y forestal de México. Existen varios tipos de organismos entomopatógenos, tales como hongos, bacterias, nematodos y virus, de los cuales se mencionan las principales aplicaciones, así como las empresas que comercializan en el país productos elaborados con estos. Se resume el progreso y las investigaciones realizadas en los últimos años como componentes de las estrategias de manejo integrado de plagas en cultivos, bosques, hábitats urbanos y de importancia médica y veterinaria. Cabe resaltar el amplio interés en el estudio de hongos –principalmente *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*– en el sector agrícola; seguido de las aplicaciones en el sector pecuario y por último en el forestal. En cuanto a nematodos, caben resaltar los trabajos y usos, sobre todo, contra la mosca de la fruta. Las bacterias, así como los virus utilizados en el combate de plagas han sido explorados muy escasamente.

Palabras clave: Bacterias entomopatógenas, control biológico, hongos entomopatógenos, nematodos entomopatógenos, plagas, virus entomopatógenos.

Fecha de recepción/Reception date: 15 de enero de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 5 de agosto de 2019

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP. México.

*Autor por correspondencia: pacheco.lourdes@inifap.gob.mx

Introducción

El uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos es la causa directa de la resistencia de diferentes organismos, y por consiguiente de la pérdida de su efectividad. Ante esto, es común aumentar las dosis y preparar mezclas de varios productos, con frecuencia más tóxicos, por lo que el problema de la resistencia lejos de solucionarse, se agrava. El control químico también produce otros efectos como: brotes de plagas secundarias, resurgencia de plagas y disminución de las poblaciones de enemigos naturales. A partir de esa situación, se hace necesario desarrollar métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente, uno de los cuales es el control biológico.

El control biológico ofrece, al mismo tiempo, beneficios a la economía de los agricultores, protección del ambiente y a la salud de los consumidores. Además, ha contribuido al desarrollo de la agricultura de México y de muchos países (Arredondo, 2008). Los técnicos y productores, intuitivamente, se han percatado de que su uso les permite combatir plagas contra las cuales se dispone de especies entomófagas o entomopatógenas, a un costo menor que las erogaciones generadas por el empleo de plaguicidas químicos. Por ello, en la actualidad se asume que dicha alternativa constituye (por sus virtudes económicas, ambientales y ecológicas) la estrategia más deseable para el manejo de las poblaciones de organismos patógenos en los ámbitos agrícola, pecuario y forestal.

Al contrario de lo que podría pensarse, esta no es una estrategia nueva para la protección de los cultivos en México. Su historial abarca casi 100 años, durante los cuales se han tenido algunos éxitos importantes. Sin embargo, desde 1990 el papel del control biológico se ha formalizado en los niveles de gobierno federal, estatal y dentro de la comunidad académica. En 1991, se inauguró el Centro Nacional de Referencia para el Control Biológico (CNRCB) en Tecomán, Colima, México, que fue reconocido por la Organización Internacional para el Control Biológico como un centro de referencia internacional. El CNRCB tiene la misión de desarrollar y establecer estrategias de control biológico para plagas reglamentadas, para lo cual genera y proporciona tecnología alternativa al uso de plaguicidas químicos. De igual modo,

coadyuva con programas o campañas fitosanitarias en las que se promueve el uso de organismos benéficos como agentes de control biológico, todo ello con la finalidad de fortalecer la sanidad de los cultivos vegetales en México (CNRCB, 2018).

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica) en México, órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), tiene la responsabilidad de monitorear y controlar la sanidad vegetal y animal, la seguridad alimentaria y la inspección de productos agrícolas y animales en las fronteras nacionales y puntos de inspección. Afortunadamente, las autoridades han considerado y apoyado el control biológico cuando se plantean respuestas gubernamentales a los problemas emergentes de plagas; por lo que, ante una emergencia, Senasica solicita al centro de referencia de la CNRCB que evalúe las posibles plagas que representan amenazas importantes para el país (Trevor *et al.*, 2013).

Hay cada vez más científicos involucrados en las disciplinas relacionadas con esa tarea; así, en 1989 se estableció la Sociedad Mexicana de Control Biológico, agrupación que celebra una conferencia anual, además de cursos y talleres que atraen a varios cientos de personas anualmente. Sin embargo, el desarrollo del control biológico como disciplina científica y tecnología para la protección de cultivos aún continúa en desarrollo (SMCB, 2018).

Se vislumbra que en el futuro cercano, el uso del control biológico se incrementará como consecuencia de la globalización de la economía y la apertura al comercio internacional; por lo tanto, el uso de bioinsecticidas y bioplaguicidas será la norma, ya que estos últimos con organismos entomopatógenos se han convertido en una buena herramienta para el control de muchas plagas de insectos, y están recibiendo más atención por su naturaleza respetuosa del medio ambiente, su eficacia contra las plagas y sus fáciles protocolos de producción masiva. El término entomopatógenos se refiere a los microorganismos capaces de causar una enfermedad al insecto plaga, conduciéndolo a su muerte después de un corto período de incubación. Existen varios tipos, entre ellos hongos, bacterias, nematodos y virus (García y González, 2013).

A continuación, se describe información sobre organismos entomopatógenos como agentes de control de plagas, que pueda ser de interés para científicos, académicos, estudiantes y productores para con ello estimular la investigación y la práctica del control biológico, como una fórmula responsable de mejoramiento del ambiente.

Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos constituyen el grupo de mayor importancia en el control biológico de insectos plaga. Prácticamente, todos ellos son susceptibles de padecer las enfermedades causadas por estos hongos. Cuando sus esporas entran en contacto con la cutícula de insectos susceptibles, germinan y crecen directamente a través de ella hacia el interior del cuerpo de su hospedero. Por lo tanto, el hongo prolifera a través del cuerpo del insecto, produce toxinas y consume los nutrientes del insecto, y eventualmente lo destruye. Al inicio de la infección pueden o no observarse síntomas, pero el insecto comienza a perder movilidad y apetito. Al cabo de siete o diez días, muere debido a la deficiencia nutricional (Pérez, 2004).

Las enfermedades que causan se les conoce como “muscardinas”, término que se aplicó por primera vez a *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. La coloración de los conidios es muy variable, de ahí el nombre de muscardina verde para *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin y *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson, y muscardina roja para *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith. El uso de estos organismos es una de las mejores alternativas para el control biológico por ser económica, sencilla y desde el punto de vista ecológico, sustentable. No obstante, es fundamental propiciar las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para lograr su propósito. Además, cuando se pretende utilizarlos como bioinsecticidas es necesario realizar una caracterización exhaustiva de los aislados, a fin de seleccionar los de alta virulencia y buenas condiciones para su aplicación en campo; la cual incluye estudios referentes a la forma de infección (Godwin y Shawgi, 2000; Arredondo *et al.*, 2008; Caballero, 2014). Hoy en día, además es importante llevar a

cabo investigaciones sobre los determinantes moleculares y bioquímicos relacionados con la especificidad hongo - huésped.

Es bien conocido que *B. bassiana* infecta a más de 200 especies de insectos de diferentes órdenes, entre las que destacan plagas de importancia económica como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)), gusano barrenador (*Diatrea magnifactella* Dyar, 1911), broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867. Mientras que, *M. anisopliae*, con un espectro de toxicidad más amplio, se le ha observado en 300 a 400 taxones de lepidópteros, coleópteros, dípteros y homópteros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales hongos entomopatógenos utilizados para el control de plagas en el sector agrícola.

Hongo	Plaga	Cultivo	Referencia
<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill.	Broca del café: <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari, 1867 (Coleoptera: Scolytinae)	Café	Gerónimo, 2016
	Broca del café: <i>H. hampei</i> Ferrari, 1867	Café	Díaz y Roblero, 2007
	Depredadores de <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama: <i>Ceraeochrysa valida</i> Banks y <i>Eremochrysa punctinervis</i> McLachlan	Cítricos	Gandarilla <i>et al.</i> , 2013
	Chinche ligus: ninfas de <i>Lygus lineolaris</i> Palisot de Beauvois	Fresa	González <i>et al.</i> , 2010
	Conchuela del frijol: <i>Epilachna varivestis</i> Mulsant	Frijol	Castrejón, 2017
	Chapulines: <i>Brachystola magna</i> Girard y <i>B. mexicana</i> Bruner	Frijol	Lozano y España, 2006
	Mosquita blanca: <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius	Hortalizas	Ruiz, 2009
	Insecto plaga de los frutos de <i>Jatropha curcas</i> L.: <i>Pachycoris torridus</i> Scopoli	<i>Jatropha curcas</i>	Chávez, 2016
	Palomilla del manzano: <i>Cydia pomonella</i> L.	Manzana	Solís, 2006
	Picudo del nopal: <i>Metamasius spinolae</i> Gyllenhal	Nopal	Sánchez <i>et al.</i> , 2016
Picudo de nopal: <i>M. spinolae</i> Gyllenhal	Nopal	Tafoya, 2004	
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill. y <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin	Mosca blanca: <i>B. tabaco</i> Gennadius	Más de 500 ornamentales	García <i>et al.</i> , 2013
	Picudo del agave: <i>Scyphophorus interstitiales</i> Gyllenhal	Agave pulquero, tequilero y mezcalero	Aquino, 2006
	Gusano barrenador: <i>Diatrea magnifactella</i> Dyar, 1911	Caña de azúcar	Castro <i>et al.</i> , 2013
	Bacteria <i>Candidatus Liberibacter</i> spp.	Cítricos	Mellín <i>et al.</i> , 2016
	Larvas de gallina ciega: <i>Phyllophaga crinita</i> (Burm.) (Coleoptera: Melolonthidae)	Maíz, áreas verdes, campos de golf	Nájera, 2005
	Gallina ciega: <i>Phyllophaga vetula</i> Horn	Maíz	Hernández <i>et al.</i> , 2011
	Insectos escama o escamas (insectos chupadores de savia): <i>Aulacapsis tubercularis</i> Newstead	Mango	Pérez-Salgado, 2013
	Moscas de la fruta: <i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart)	Mango	Díaz-Ordaz <i>et al.</i> , 2010
	Psílido de la papa: <i>Bactericera cockerelli</i> Šulc.	Papa	Villegas, 2017

<i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin	Gusano barrenador: <i>D. magnifactella</i> Dyar, 1911	Caña de azúcar y maíz	Buenosaires, 2013
	Chapulines: <i>Sphenarium purpurascens</i> (Charpentier) y <i>Melanoplus differentialis</i> (Thomas) (Orthoptera: Acrididae)	Maíz y frijol	Tamayo, 2009.
	Langosta Centroamericana: <i>Schistocerca piceifrons piceifrons</i> Walker	Maíz, sorgo, frijol, caña de azúcar, soya, algodón, ajonjolí, plátano y cacahuete	Barrientos, 2005
<i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin y nematodos entomopatógenos	Larvas de gallina ciega: <i>Phyllophaga vetula</i> Horn	Maíz	Ruiz, 2012
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill., <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin y <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Picudo: <i>Anthonomus fulvipes</i> Boheman	Cereza de Barbados (Acerola)	Lezama <i>et al.</i> , 1997
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill., <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin y <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Mariposa blanca de la col: <i>Pieris rapae</i> Linnaeus, gusano dorso de diamante: <i>Pluxtella xylostella</i> Linnaeus, gusano falso medidor: <i>Trichoplusia ni</i> Hübner, pulgón de la col: <i>Brevycorine brassicae</i> Linnaeus	Hortalizas	García y González, 2010
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill., <i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.) Zare & W. Gams. y <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Virus de la tristeza de los cítricos. Pulgón café de los cítricos: <i>Toxoptera citricida</i> Kirkaldy	Cítricos	Hernández <i>et al.</i> , 2007
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill., <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin, <i>N. rileyi</i> (Farlow) Samson, <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith y <i>P. javanicus</i> (Friederichs & Bally) Brown & Smith	Gusano cogollero del maíz: <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith)	Maíz	Lezama <i>et al.</i> , 1996a o b
<i>N. rileyi</i> (Farlow) Samson y <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Larvas del gusano cogollero del maíz: <i>S. frugiperda</i> (J. E. Smith)	Maíz	Lezama <i>et al.</i> , 1994
<i>H. citrifomis</i> Speare	Huanglongbing (HLB). Psílido asiático de los cítricos: <i>Diaphorina citri</i> Kuwayama	Cítricos	Pérez-González, 2013
<i>Trichoderma</i> spp.	Putridión radical en cebolla: <i>Fusarium oxysporum</i> Schltld.	Cebolla	Pulido-Herrera <i>et al.</i> , 2012
<i>Verticillium</i> y <i>P. fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Mosca blanca: <i>Bemisia argentifolli</i> Bellows y Perring	Algodón	Ceceña <i>et al.</i> , 2017

Hongos entomopatógenos contra plagas agrícolas

En el Cuadro 1 se resumen las principales investigaciones llevadas a cabo en los cultivos más importantes del país, en las que se utilizaron hongos entomopatógenos. Destaca el amplio estudio de cepas de *Beauveria bassiana*, especialmente, en el combate de plagas como la broca del café, en las que Gerónimo *et al.* (2016) observaron una efectividad patogénica de 100 % a las 144 h; Díaz y Roblero (2007) registraron que la época óptima para la aplicación del hongo es en julio, antes de que la broca penetre en el fruto de café.

Debido al interés en México por la producción de cítricos, Pérez-González *et al.* (2013) realizaron estudios contra el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri* Kuwayama) en los cuales usaron *Hirsutella citrifomis* Speare; Mellín *et al.* (2016), *Paecilomyces fumosoroseus*; y Hernández *et al.* (2007), *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & W. Gams. Además de los estudios con *B. bassiana* y *M. anisopliae* (Gandarilla *et al.*, 2013). En todos estos trabajos las cepas analizadas se consideraron como promisorias para el desarrollo de tecnología para el control biológico de *D. citri*, como en el caso de *M. anisopliae*, el cual causó mortalidades de 93 - 100 % en ninfas, mientras que en adultos el intervalo de mortalidad varió de 40 a 95 % (Mellín *et al.*, 2016).

La gallina ciega (*Phyllophaga vetula* Horn, 1887) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) son dos de las principales plagas del maíz, cuyo combate se ha probado con *M. anisopliae*, con el que se registró una mortalidad de 80 % a los 30 días (Nájera, 2005). Buenosaires (2013) documentaron una CL_{50} de 2.0518×10^8 conidios mL^{-1} . De igual manera se han explorado cepas del hongo *N. rileyi*, las cuales parasitaron 100 % de las larvas neonatas, con un TL_{50} entre 4.1 y 6.3 d, así como cepas de *P. fumosoroseus* que parasitaron entre 92.5 y 98.8 %, con un TL_{50} de 2.5 a 4.3 d (Lezama *et al.*, 1994); estos mismos autores en 2006, publicaron un estudio más extenso en el que evaluaron otras cepas de hongos entomopatógenos y concluyeron que las cepas de *M. anisopliae*, *P. fumosoroseus* y *P. javanicus* (Friederichs & Bally) Brown & Smith fueron altamente virulentas en huevos y larvas, con una mortalidad de 94 y 100 %, y un TL_{50} de 1.3 a 3.3 d. Las cepas de *B. bassiana* presentaron una virulencia muy variable, con un parasitismo entre 3 - 90 % en huevos y de 54 - 100 % en larvas (Lezama *et al.*, 1996b). Por otra parte, Ruiz *et al.* (2012) indicaron que *S. carpocapsae* (1.500 JI $planta^{-1}$) en combinación con *M. anisopliae* (2×10^8 esporas $planta^{-1}$) son recomendables para el control de larvas de *P. vetula*.



Hongos entomopatógenos contra plagas pecuarias

En las investigaciones para el control de plagas en el sector pecuario (Cuadro 2), se observa que, *M. anisopliae* y *B. bassiana*, principalmente, son efectivas para el control de garrapatas en ganado vacuno, pulgas de perro, chinches besuconas, chapulín y de mosquitos transmisores del dengue. Existen escasos registros en los que se hayan explorado otras cepas de hongos entomopatógenos como *Trichoderma*, *Cordyceps* o *Isaria*, por mencionar algunos.

Cuadro 2. Principales hongos entomopatógenos utilizados para el control de plagas en el sector pecuario.

Hongo	Plaga	Animal	Referencia
<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill.	Chinche besucona: <i>Meccus pallidipennis</i> Stål, 1872	Chinche besucona, causante del mal de Chagas	Zumaquero, 2014
	<i>Ctenocephalides canis</i> Shaftesbury, 1934	Pulga del perro	Pacheco, 2015
	Chapulín (Orthoptera: Acrididae)	Chapulín	García y González, 2009
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill. y <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin	Garrapata <i>Rhipicephalus microplus</i> Canestrini, 1888	Garrapata del ganado bovino	Rivera-Oliver <i>et al.</i> , 2013
	Garrapata <i>Rhicephalus</i> (Boophilus) <i>microplus</i>	Garrapata del ganado bovino	Bautista, 2017
	Pulga <i>C. canis</i> Shaftesbury, 1934	Pulga del perro	Rivera-Ramírez, 2013
<i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokine e <i>Isaria fumosorosea</i> Wize	Chinche besucona: <i>M. pallidipennis</i> Stål, 1872	Chinche besucona, causante del mal de Chagas	Flores, 2016
<i>Trichoderma</i> , <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokine, <i>A. aculeatus</i> Lizuka, <i>G. virens</i> Corda	<i>Aedes aegypti</i> Linnaeus, 1762 vector del dengue	Mosquitos <i>A. aegypti</i> Linnaeus, 1762 vectores de Dengue	Molina <i>et al.</i> , 2013

Entre las plagas con más importancia económica está la garrapata del ganado bovino (*Rhipicephalus microplus* Canestrini, 1888); según Rivera-Oliver (2013) el uso de hongos entomopatógenos como *M. anisopliae* y *B. bassiana* resultan ser patógenos para los huevos de tres, ocho y 17 días de edad del insecto, y se acentúa cuanto más joven es el huevo de la garrapata. Para Bautista (2017), *M. anisopliae* y *B. bassiana* son una alternativa para el control de los adultos en la región XIII Maya de Chiapas y región Ríos del estado de Tabasco, México.

Para el combate de los mosquitos transmisores de graves enfermedades se han hecho trabajos con hongos entomopatógenos. Así, Flores *et al.* (2016) investigaron los efectos de *M. anisopliae* e *I. fumosorosea* Wize sobre ninfas de *Meccus pallidipennis* Stål, 1872, principal vector triatomino

de la Enfermedad de Chagas en México, en términos de supervivencia de insectos y respuesta inmune. Zumaquero *et al* (2014) estudiaron un aislamiento de *B. bassiana* de San Antonio Rayón, Puebla, México y sus efectos entomopatógenos en *Meccus pallidipennis*, sus conclusiones señalan que su cepa fue 100 % virulenta. Una cepa de *T. longibrachiatum* Rifai presentó alta actividad entomopatógena sobre larvas y hembras adultas del mosquito *A. aegypti* Linnaeus, 1762, vector del Dengue; por lo tanto, este hongo puede ser un buen candidato para desarrollar bioinsecticidas (Molina *et al.*, 2013).

Rivera-Ramírez *et al.* (2013) argumentaron que *B. bassiana* y *M. anisopliae* son patógenos para las pulgas de perro (*Ctenocephalides canis* Shaftesbury, 1934) en condiciones de laboratorio; y Pacheco *et al.* (2015) evaluaron la patogenicidad de dos cepas de *B. bassiana* a concentraciones de 10, 15 y 20 % de aceite mineral, agua estéril y Tween 80, inoculado por inmersión sobre *C. canis*; de ello resultó que el tratamiento formulado al 10 % registró micosis de 86.3 % sobre las pulgas, lo que confirmó que fue el más patógeno.

Hongos entomopatógenos contra plagas forestales

Existen muy pocos trabajos en México sobre el uso de hongos entomopatógenos para el combate de plagas forestales (Cuadro 3). Debido a la importancia económica de la madera del cedro rojo, *B. bassiana* ha sido uno de los hongos más estudiados contra el combate del barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella* Zeller, 1898).

Cuadro 3. Principales hongos entomopatógenos utilizados para el control de plagas en el sector forestal.

Hongo	Plaga	Especie afectada	Referencia
<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill. y <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin	<i>Hypsipyla grandella</i> Zeller, 1898	<i>Cedrela odorata</i> L.	Díaz <i>et al.</i> , 2009
	<i>H. grandella</i> Zeller, 1898	<i>Cedrela odorata</i> L.	Caballero, 2014
<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill.	Barrenador de las meliáceas: <i>H. grandella</i> Zeller, 1898	Maderas preciosas	Barrios <i>et al.</i> , 2017
<i>Trichoderma</i> sp	Descortezadores: <i>Dendroctonus</i> spp.	<i>Pinus</i> spp.	Gijón <i>et al.</i> , 2015
	Descortezadores: <i>Dendroctonus</i> spp.	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Arriola <i>et al.</i> , 2016

Díaz *et al.* (2009) evaluaron insecticidas químicos como Novaluron, Piretroides, Amitraz (Ovicidas) y Carbofuradán, así como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, un insecticida orgánico a base de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) y un testigo contra *H. grandella*. Su conclusión fue que los tratamientos con *B. bassiana* y *M. anisopliae* tuvieron el mismo grado de control que los químicos, con la ventaja de no ser contaminantes y de no representar un riesgo de toxicidad para el personal que los aplica.

Caballero (2014), logró la infección con *B. bassiana* en larvas de *H. grandella* lavadas, desinfectadas y conservadas en un área con clima controlado a 22 °C; por lo tanto, en etapa de laboratorio sí resultó efectiva *B. bassiana* para su control. Por otra parte, Barrios *et al.* (2017) seleccionaron dos cepas nativas de *B. bassiana* para utilizarlas en el control de la misma plaga, y la evaluación de patogenicidad de los dos aislamientos demostró la mortalidad de las larvas de tercer instar a una dosis de 1×10^8 . De acuerdo a los autores, dichas cepas podrían tener un alto potencial para emplearse en el vivero o en el campo para el manejo integrado del barrenador, ya que registraron mortalidades de 92.84 % a los cinco días, en promedio.

Respecto a las aplicaciones de *Trichoderma* para el control biológico de descortezadores en condiciones de laboratorio, Gijón *et al.* (2015) registraron que una cepa de este hongo causó 100 % de mortalidad en los insectos tratados. Al año siguiente, Arriola *et al.* (2016) dieron a conocer sus resultados sobre el particular en un estudio efectuado en la Reserva de la Biosfera de la Sierra Gorda, Qro.; ahí se aplicaron cinco tratamientos en árboles de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., que consistieron en tres concentraciones de conidios/mililitro: alta 3.6×10^8 , media 9×10^7 y baja 5×10^7 , un testigo a base de producto comercial con *M. anisopliae* (5×10^9) y un testigo absoluto de agua. La concentración alta fue con la que se registró la mortalidad más severa.



Nematodos entomopatógenos

Los nematodos entomopatógenos (NEP) parasitan a sus hospedantes (en este caso a los insectos plaga) por penetración directa a través de la cutícula hasta el hemocele o por las aberturas naturales (espiráculos, boca y ano). La infección puede ser pasiva o activa, y la forma en que continúa el proceso de infección estará en función de la especie de nematodo que ataque al insecto. En el caso de *Steinernema* y *Heterorhabditis*, potentes agentes para el control biológico, una vez que el juvenil infectivo logra penetrar al hemocele, libera la bacteria asociada, la cual se reproduce en la hemolinfa del hospedante y le provoca la muerte (Pérez, 2004).

En la última década se han logrado avances sustanciales en la investigación y aplicación de estos organismos, ya que el número de plagas objetivo que se muestran susceptibles a los NEP ha seguido en aumento (Cuadro 4). El progreso también se debe a los avances en la tecnología para su producción, los cuales utilizan sistemas *in vivo* e *in vitro* y a los nuevos métodos de aplicación (inyecciones, aspersiones, etcétera); así como a los avances en genómica, interacciones simbióticas nematodo-bacteria y sobre sus relaciones ecológicas.

Cuadro 4. Principales nematodos entomopatógenos utilizados para el control de plagas en México.

Nematodo	Plaga	Especie afectada	Referencia
Seis especies de nematodos entomopatógenos de <i>Steinernema</i> y <i>Heterorhabditis</i>	Larvas de siete días, prepupa y pupa de gusano cogollero: <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith)	Maíz, campos de golf	Molina, 1996
<i>Steinernema carpocapsae</i> Weiser, 1955 (cepas All y Tecomán), <i>Steinernema feltiae</i> Filipjev, 1934, <i>S. glaseri</i> Steiner, 1929 (cepa NC), <i>S. riobravis</i> Cabanillas, Poinar & Raulston, 1994 y <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Tecomán	Larvas de tercer estadio de mosca mexicana de la fruta: <i>Anastrepha ludens</i> Loew, 1873	Plaga de varias especies de frutales, especialmente cítricos y mango	Lezama <i>et al.</i> , 1996b
<i>S. feltiae</i> Filipjev, 1934	Mosca mexicana de la fruta: <i>A. ludens</i> Loew, 1873	Plaga de frutas	Toledo <i>et al.</i> , 2001
<i>H. bacteriophora</i> Tecomán	Mosca de la fruta: <i>Anastrepha obliqua</i> Macquart, 1835	Mango, ciruela y guayaba	Toledo <i>et al.</i> , 2005

En México, *Steinernema carpocapsae* Weiser, 1955 es eficiente para el combate de larvas de tercer estadio de mosca mexicana de la fruta (*Anastrepha ludens* Loew, 1873), plaga que ataca especialmente cítricos y mango. Lezama *et al.* (1996b) demostraron que dicho insecto es susceptible, en diferentes grados, a varios nematodos. *S. riobravis* Cabanillas, Poinar & Raulston, 1994 y *S. carpocapsae* cepa All mataron 90 % de las larvas y pupas; *H. bacteriophora* Poinar 1975 cepa NC eliminó a 82.5 %; *Steinernema feltiae* Filipjev, 1934, a 81.25 %; la cepa *S. carpocapsae* Tecomán causó 76 % de mortalidad, mientras que *H. bacteriophora* Tecomán y *S. glaseri* Steiner, 1929 provocó 52.5 %. Estos resultados sugieren que *S. riobravis* y *S. carpocapsae* cepa All tienen potencial como agentes de control biológico contra la mosca de la fruta.

Toledo *et al.* (2001) evaluaron la capacidad parasítica de *S. feltiae* en condiciones de laboratorio sobre larvas de *A. ludens* de tercer estadio, en pupas de cinco y 12 días de edad, en tres suelos de distinta textura y tres regímenes de temperatura; sin que registraran diferencias, cuando los nematodos se aplicaron al suelo antes o después de las larvas. Las pupas no fueron susceptibles al ataque. En adultos emergidos, que salieron a través del suelo tratado, el parasitismo fue únicamente de 10 %. En 2005, los mismos autores utilizaron otro nematodo: *H. bacteriophora* (Toledo *et al.*, 2005). Estos estudios les permitieron describir el efecto de la temperatura, la textura del suelo y la profundidad del hospedero sobre la capacidad de infección del nematodo en larvas de tercer estadio de *Anastrepha obliqua* Macquart, 1835 y, a pesar de que se evidenció el potencial del nematodo para infectar y matar larvas de *A. obliqua*, existió una diferencia importante en la susceptibilidad de las larvas de seis días de edad, comparadas con las de ocho días.

En una investigación sobre el control con nematodos del gusano cogollero del maíz, Molina *et al.* (1996) identificaron que *S. carpocapsae* cepa All, *S. riobravis* y *H. megidis* Poinar, Jackson & Klein, 1988 poseen potencial como agentes de biocontrol contra *S. frugiperda*. Las CL₅₀ variaron de 1.5 a 20.6 y de 3.4 a 37.2 nematodos mL⁻¹, para larvas y prepupas, respectivamente; y la mortalidad acumulada en pupas fue de 5 - 43 %, con la concentración de 100 nematodos mL⁻¹.

Bacterias entomopatógenas

El mayor éxito en el control microbiano de insectos en el mundo se ha conseguido mediante *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (Bt). Los cristales (Cry) que produce en condiciones de estrés son agregados de una proteína de gran tamaño (130-140 kDa) que en realidad no es activa por si misma (es una protoxina), ya que es insoluble. Cuando la protoxina se somete a condiciones muy básicas (pH > 9.5) como las existentes en el intestino de algunos insectos, se solubiliza y transforma, por medio de las proteasas del insecto, en una toxina activa de 60 kDa. Esta se conoce con el nombre de "δ-endotoxina de Bt", la cual actúa al unirse a receptores de las células epiteliales del intestino del insecto, lo que conduce a la formación de poros y lisis osmótica de las células que finalmente provocan su muerte (Galitsky *et al.*, 2001).

En la actualidad, el gen responsable de la producción de esa endotoxina se ha introducido en plantas de tabaco, maíz, tomate, algodón, papa, remolacha y col, entre otros, para originar organismos genéticamente modificados (GMO). La gran aceptación de los cultivos transgénicos, especialmente en Estados Unidos de América, responde a que aumentan el rendimiento por hectárea y, en consecuencia, los ingresos de los agricultores. El primer éxito en este campo se obtuvo en 1987, cuando fue posible la producción de plantas transgénicas de tabaco capaces de producir por si mismas una toxina de la bacteria *B. thuringiensis*, que tuvo efectos letales para determinados insectos fitófagos (Rubio y Fereres, 2005).

Se han desarrollado algunas bacterias entomopatógenas para el control de plagas de insectos a escala comercial; de ellas, destacan las subespecies de *Bacillus thuringiensis*, *Lysinibacillus sphaericus* Neide, 1904, *Paenibacillus* spp. y *Serratia entomophila* Grimont. *B. thuringiensis kurstaki* es la más utilizada para el control de insectos plaga de cultivos y bosques. *B. thuringiensis israelensis* y *L. sphaericus* de *B. thuringiensis* son las principales subespecies utilizadas para el control de plagas de importancia médica (Ponce *et al.*, 2003). Estos patógenos combinan las ventajas de los pesticidas químicos y los agentes de control biológico: son de acción rápida, fáciles de producir a un costo relativamente bajo, fáciles de formular, tienen una larga vida

útil y permiten el suministro por medio del uso de equipos de aplicación convencionales y sistemas sistémicos; es decir, en plantas transgénicas (De la Rosa *et al.*, 2005; Camacho *et al.*, 2017; García *et al.*, 2018).

En México existen muy escasos trabajos acerca del uso de bacterias para el control de plagas, y se limitan al uso de *Bacillus thuringiensis* contra el gusano del tabaco, del gusano barrenador de la caña de azúcar y de la broca del café en el sector agrícola (Cuadro 5), y para control del mosquito vector del virus del Dengue.

Cuadro 5. Principales bacterias entomopatógenas utilizadas para el control de plagas en México.

Bacteria	Plaga	Especie/ cultivo	Referencia
<i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner, 1915	Broca del café: <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari	Café	De la Rosa <i>et al.</i> , 2005
	Gusano barrenador: <i>Diatraea considerata</i> Heinrich, 1931	Caña de azúcar	Camacho <i>et al.</i> , 2017
	Gusano del tabaco: <i>Manduca sexta</i> Linnaeus, 1763	Tabaco	García <i>et al.</i> , 2018
<i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner var. <i>kenyae</i>	Especies de Lepidóptera, una de Coleóptera y una de Díptera	Tabaco y oruga de la col	Barboza <i>et al.</i> , 1998
<i>B. thuringiensis</i> Berliner var. <i>israelensis</i> Barjac	Vector del virus del dengue: <i>Aedes aegypti</i> Linnaeus, 1762	Mosquito vector del virus del dengue	Ponce <i>et al.</i> , 2003

En el caso de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867), su estadio más susceptible corresponde a su primer instar larvario, con un promedio en su tiempo letal medio de 6.4 ± 1.8 días (De la Rosa *et al.*, 2005). Para el gusano barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea considerata* Heinrich, 1931), Camacho *et al.* (2017) lograron aislar ocho cepas de insectos muertos en campos agrícolas, las cuales fueron de *B. thuringiensis*, además observaron una mortalidad alta.

A partir de diferentes plantas de tabaco obtenidas del sureste de México, García *et al.* (2018) hicieron aislamientos, de los cuales seleccionaron colonias bacterianas de *Bacillus thuringiensis* que causaron 100 % de mortalidad en larvas de *Manduca sexta* Linnaeus, 1763 a las 96 h de exposición. En otros estudios con tabaco se demostró

la toxicidad de *Bacillus thuringiensis ssp. kenyae* contra ocho especies de Lepidoptera, una de Coleoptera y una de Diptera (Barboza *et al.*, 1998).

Por otra parte, contra el combate del mosquito vector del virus del Dengue (*Aedes aegypti*), en 2003 se probó el bioinsecticida Vectobac 12 AS formulado a base de *B. thuringiensis var israelensis* Barjac, 1978 (Bti). El producto se aplicó en camiones pipa que distribuyen agua a diversas comunidades del área metropolitana de Monterrey, N.L.; de esta manera, los consumidores recibieron el agua con el mecanismo para interrumpir el ciclo biológico del virus. El Bti fue efectivo como larvicida contra *A. aegypti* aun en presencia de cloro en el agua. Sin embargo, los resultados demostraron que la eficiencia del Bti aplicado en pipas se redujo, principalmente, debido a la temperatura del agua, la densidad larval, la luz solar y el efecto de asociación con organismos filtradores (Ponce *et al.*, 2003).

Virus entomopatógenos

Los virus patógenos de insectos son una fuente importante de agentes de control microbiano, en particular, para lepidópteros. Los baculovirus se aceptan como agentes de control seguros, de fácil producción en masa, altamente patógenos y de sencilla formulación y aplicación. Los nuevos productos de baculovirus están apareciendo en muchos países y ganando una mayor participación en el mercado. Sin embargo, la ausencia de un sistema práctico de producción en masa *in vitro*, los costos de producción elevados, la persistencia limitada después de la aplicación, la tasa de muerte lenta y la alta especificidad del huésped contribuyen a su uso restringido en el control de plagas. Superar estas limitaciones son áreas de investigación clave para abrir el uso de virus patógenos de insectos a mercados mucho más grandes. La familia Baculoviridae es la más numerosa y estudiada de los virus entomopatógenos. El uso del nucleopoliedrovirus de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 NPV (AgMNPV) para su control en soya en Brasil fue un programa exitoso y se le consideró como el más importante en el mundo (Nava, 2012).

Bioplaguicidas a base de organismos entomopatógenos

Actualmente, existen varias empresas, sobre todo, en Holanda, Francia, Italia, Gran Bretaña y Rusia que comercializan productos para control biológico con organismos entomopatógenos (Rubio y Fereres, 2005). Aunque su venta tiene limitaciones, entre las que sobresalen:

- Problemas con las patentes, ya que los organismos vivos no se patentan, se puede patentar un uso específico de ellos, pero la dificultad reside en que comercializarlos facilita que cualquiera pueda usarlo como cultivo iniciador para multiplicar o replicar el producto, y esto no es posible controlarlo.
- Costos de producción elevados, puesto que se requiere mano de obra especializada con el consiguiente encarecimiento del producto final. Lo anterior hace que los agentes de biocontrol tengan, en general, un precio superior al de los plaguicidas químicos.
- Corta vida de anaquel, porque están involucrados organismos vivos que necesita temperatura y humedad específicas para sobrevivir.
- Demasiado específico en algunos casos, lo que requiere el uso de varios agentes distintos de biocontrol para las plagas que suelen aparecer en un mismo cultivo. En cambio, los plaguicidas químicos suelen controlar a varias plagas a la vez.
- Aplicación compleja, solo mediante personal calificado.

En México, hasta hace casi 10 años, la producción comercial de bioinsecticidas y otros agentes de control biológico se realizaba en al menos 68 empresas y 25 entidades del país, aunque en la actualidad estos números han aumentado; en ellas, se reproducen hongos entomopatógenos (principalmente *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*); bacterias entomopatógenas (*Bacillus thuringiensis*) y nematodos (*Heterorhabditis bacteriophora* y *Steinernema carpocapsae*). Microorganismos que constituyen los ingredientes activos básicos en la formulación de bioinsecticidas (Cuadro 6); se les adiciona un acarreador, un material inerte como soporte y adyuvantes, así como compuestos que promueven, mantienen la viabilidad del ingrediente activo y lo protegen de la radiación UV, la lluvia, la humedad y la deshidratación; lo que facilita su manejo, aplicación y efectividad (García y Mier, 2010).

Cuadro 6. Principales empresas mexicanas comercializadoras de bioinsecticidas basados en organismos entomopatógenos.

Empresa	Productos a base de:	Ubicación de la empresa por entidad federativa
Agrobiológicos del Noroeste, S. A de C.V.	<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>Metarhizium anisopliae</i> Metchnikoff Sorokin var. <i>anisopliae</i> , <i>Isaria fumosorosea</i> Wize, <i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.) Zare & W. Gams., <i>Paecilomyces lilacinus</i> (Thom) Samson y <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai	Sinaloa
Bioagris	Fungicidas biológicos con esporas de <i>Trichoderma viride</i> Pers, o <i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, o <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin o esporas de <i>P. lilacinus</i> (Thom) Samson	Ciudad de México
Bioamin	Insecticidas biológicos a base de esporas de <i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>T. harzianum</i> Rifai y <i>T. viride</i> Pers, <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner y hongos entomopatógenos del género <i>Paecilomyces</i>	Saltillo, Coahuila
Biotecnología Agroindustrial	<i>B. thuringiensis</i> Berliner y tres hongos entomopatógenos, <i>Subtilis</i> , <i>Trichoderma</i> y <i>Bacillus subtilis</i> (Ehrenberg)	Morelia, Michoacán
Bio- Zentla	<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>M. anisopleae</i> (Metchnikoff) Sorokin, micorrizas, <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> (Wize) Brown & Smith	Zentla, Veracruz
Desarrollo Lácteo, S.P.R de R.L	<i>Spalangia endius</i> Walker, <i>Trichogramma pretiosum</i> Riley, <i>Chrysoperla carnea</i> Stephens, <i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>I. fumosorosea</i> Wize, <i>M. anisopliae</i> Metchnikoff Sorokin var. <i>anisopliae</i> y <i>T. harzianum</i> Rifai	Gómez Palacio, Durango
EcoAgro	Control biológico de plagas, Fabricación de bioinsecticidas y biofertilizantes, Procedimientos bioecológicos aplicados a la agricultura.	Sinaloa
FMC Agroquímica de México S. de R. L. de C.V.	Productos agroquímicos en México y en Latino-América. Biofungicida a base de una cepa bacteriana muy singular que pertenece a <i>B. subtilis</i> (Ehrenberg)	Zapopan, Jalisco
Grupo Solena	<i>Azospirillum brasilense</i> Tarrand, Krieg & Döbereiner, <i>B. subtilis</i> (Ehrenberg), <i>B. thuringiensis</i> Berliner, <i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>I. fumosorosea</i> Wize, <i>L. lecanii</i> (Zimm.) Zare & W. Gams., <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin, <i>Paecilomyces lilacinus</i> (Thom) Samson, <i>Rhizobium</i> sp., <i>Streptomyces</i> spp., <i>T. harzianum</i> Rifai	León, Guanajuato
Microvida Innovación Agrícola S.A de C.V.	<i>A. brasilense</i> Tarrand, Krieg & Döbereiner, <i>Azotobacter</i> sp., <i>B. subtilis</i> (Ehrenberg), <i>B. thuringiensis</i> Berliner var. <i>kurstaki</i> , <i>B. thuringiensis</i> Berliner var. <i>aizawai</i> , <i>B. thuringiensis</i> Berliner var. <i>israeliensis</i> , <i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>Glomus intraradices</i> Blaszk, Wubet, Renker & Buscot, <i>M. anisopliae</i> (Metchnikoff) Sorokin, <i>Pseudomonas fluorescens</i> Flügge, <i>T. harzianum</i> Rifai	Morelia, Michoacán
Minerales y nutrientes Plantifor	<i>Bacillus megatherium</i> de Bary, <i>B. subtilis</i> (Ehrenberg), <i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>Metarhizium</i> , <i>Trichoderma</i> spp.	San Luis Potosí
Organismos beneficos.com	Hongos entomopatógenos	Jalisco
Profertinnova	Bioinsecticida natural de control biológico 100 % orgánico hecho a base de esporas de hongos entomopatógenos (<i>Metarhizium</i> sp. y <i>Verticillium</i> sp.)	Estado de México
Profungi	Hongos entomopatógenos, insecticidas biológicos.	Sinaloa
SummitAgro México	Insecticidas biológicos a base de <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner var. <i>kurstaki</i> serotipo 3a, 3b y <i>B. subtilis</i> (Ehrenberg)	Ciudad de México
Tierra de Monte	<i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>Metarhizium</i> , <i>Paecilomyces</i> , <i>Thricodherma</i> , Concentrado de microorganismos entomopatógenos y estimulantes del sistema inmune vegetal	Querétaro
Ultraquimia Agrícola, S.A de C.V.	<i>B. bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill, <i>I. fumosorosea</i> Wize, <i>L. lecanii</i> (Zimm.) Zare & W. Gams., <i>Metarhizium anisopliae</i> Metchnikoff Sorokin var. <i>acridium</i> y <i>M. anisopliae</i> Metchnikoff Sorokin var. <i>anisopliae</i> , <i>P. lilacinus</i> (Thom) Samson, <i>Trichoderma</i> spp., <i>Bacillus subtilis</i> (Ehrenberg) y <i>B. thuringiensis</i> Berliner	Morelos
Valent de México	Bioinsecticidas a base de <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner ssp. <i>kurstaki</i>	Zapopan, Jalisco

La normatividad en México (NOM-032-FITO-1995) (Sagarpa, 2015) señala que para el registro y comercialización de bioinsecticidas se deben cumplir disposiciones oficiales y es necesario tener la opinión de diferentes instituciones que regulan la sanidad de los cultivos, el riesgo de las sustancias que se usan como plaguicidas, así como el cuidado al ambiente y la salud humana (García y González, 2013). Asimismo, es indispensable realizar estudios de bioseguridad y riesgo del impacto ambiental de los agentes que se utilizan en el control biológico (evaluación cualitativa y cuantitativa), monitoreo ambiental de los entomopatógenos y la evaluación de su efecto sobre organismos no blanco.

Conclusiones

Con base en el impacto del cambio climático, la intensa explotación en los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal, el uso de monocultivos y la apertura comercial a nivel mundial hace necesario fomentar el control biológico de plagas (bioinsecticidas y agentes biológicos con organismos entomopatógenos) así como evaluar el impacto ambiental de estos productos con más pruebas bajo condiciones de campo que permitan identificar los efectos de los factores bióticos y abióticos sobre su eficacia y persistencia, ya que estos además de ser útiles a la agricultura, favorecen a la salud humana y al ambiente. Por otra parte, también es indispensable diseñar novedosos sistemas de producción, formulación y entrega en masa más eficientes para abastecer un mercado cada vez mayor.

De la revisión realizada, se puede concluir que al igual que a nivel mundial, en México abundan los estudios de hongos entomopatógenos para el combate de plagas agrícolas, pecuarias y forestales. Especial atención han recibido *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en los últimos años, ya que su toxicidad ha resultado muy efectiva contra un amplio espectro de plagas, además de que se han elaborado productos comerciales estables con mezclas de organismos entomopatógenos para potenciar su acción insecticida. Sin embargo, aún se requieren más estudios para superar las dificultades actuales relacionadas con la producción y el desarrollo de esos bioinsecticidas.

En mucho menor grado se han abordado los nematodos, bacterias y muy poco interés se ha dado a los virus, por lo que se sugiere impulsar estas líneas de investigación, así como a su uso en los programas de manejo integrado de plagas; en particular, las estrategias que incorporan organismos entomopatógenos en combinación con depredadores y parasitoides deben definirse para garantizar la compatibilidad y maximizar su eficacia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución por autor

Ma. de Lourdes Pacheco Hernández: revisión de literatura y elaboración del documento, J. Francisco Reséndiz Martínez y Victor J. Arriola Padilla: revisión y correcciones del documento.

Referencias

- Aquino B., T., J. Ruiz V. y M. Iparraguirre C. 2006. Control biológico del picudo negro (*Scyphophorus interstiales* Gyllenhal) con nematodos y hongos entomopatógenos en agave en Oaxaca, México. Rev. UDO Agrícola 6(1): 92- 101.
- Arredondo B., H. C. y L. A. Rodríguez del B. 2008. Casos de control biológico en México. Mundi Prensa México. México, D. F., México. 423 p.

- Arriola P., V. J., J. Rentería B., A. R. Gijón H., L. Ramírez H. y M. E. Romero S. 2016. Evaluación de *Trichoderma* sp., como agente de control biológico de *Dendroctonus* spp. (Curculionidae: Scolytinae) en la Sierra Gorda de Querétaro, México. *Entomología Mexicana* 3: 239–243.
- Barboza C., J. E., J. E. López- M. y J. E. Ibarra. 1998. Caracterización de una cepa mexicana de *Bacillus thuringiensis* ssp. *kenyae*: Un análisis de su baja toxicidad hacia lepidópteros. *Vedalia* 5: 3-12.
- Barrientos L., J., D. M. Hunter, J. Ávila V., P. García S. y J. V. Horta V. 2005. Control biológico de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker (Orthoptera: Acrididae) en el noreste de México. *Vedalia* 12 (2): 119-128.
- Barrios D., B., S. Reyes S., G. Vázquez H., J. M. Barrios D., N. P. Castro G., R. Berdeja A. y J. M. E. Aguilar L. 2017. Patogenicidad *in vitro* de *Beauveria bassiana* sobre *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) barrenador del cedro rojo. *Entomología mexicana* 4: 265–270.
- Bautista G., A., R. Pimentel S. y A. Gómez V. 2017. Control biológico de *Rhicephalus* (Boophilus) *microplus* con hongos entomopatógenos. *Revista Iberoamericana de Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 6(12):1- 30.
Doi: 10.23913/ciba.v6i12.68.
- Buenosaires Á., A. I., G. Peña C. y L. A. Rodríguez del B. 2013. Determinación de la virulencia de la cepa 148 de *Bacillus thuringiensis* y Ma-156 de *Metarhizium anisopliae* sobre *Diatraea magnifactella* DYAR. A. *Entomología mexicana*12(1): 298- 300.
- Caballero C., W. J. 2014. Producción y aplicación del hongo *Beauveria bassiana* en el laboratorio de control biológico del ITZM. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Quintana Roo, México. 33 p.

Camacho M., R., E. M. Aguilar M., H. Quezada, O. Medina C., G. Patino L., H. M. Cárdenas C. and R. Ramos P. 2017. Characterization of Cry toxins from autochthonous *Bacillus thuringiensis* isolates from Mexico. Boletín Médico del Hospital Infantil de México. 74 (3): 193-199. Doi:10.1016/j.bmhimx.2017.03.002.

Castrejón A., J. E., G. Núñez M., M. M. Iracheta, R. Gómez F., F. Tamayo M., J. A. Ocampo H. and P. Tamez G. 2017. *Beauveria bassiana* blastospores produced in selective medium reduce survival time of *Epilachna varivestis* Mulsant larvae. Southwestern Entomologist 42(1):203-220. Doi:10.3958/059.042.0119.

Castro O., I. R., A. Fonseca G., A. G. Trejo L., V. M. Hernández V., L. A. Rodríguez del B. y L. P. Lina G. 2013. Evaluación de seis cepas de hongos entomopatógenos sobre *Diatraea magnifactella* DYAR (Lepidoptera: Crambidae). Entomología mexicana 12(1):430- 433.

Ceceña D., C., D. González M., O. Grimaldo J., P. Ruvalcaba S., O. Tzintzun C. y D. Durán H. 2017. Eficacia de entomopatógenos en el control de la Mosca Blanca (*Bemisia argentifolli*, Bellows y Perring) en algodónero en el DDR 014. Cuerpo Académico de Biotecnología Agropecuaria (UABC- CA-165). Universidad Autónoma de Baja California. Omnia Publisher SL. Baja California, BC, México. 68 p. Doi: 10.3926/oms.366.

Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB). 2018. Introducción al CNRCB. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/centro-nacional-de-referencia-de-control-biologico-103097> (24 de noviembre de 2018).

Chávez, B. Y., J. C. Rojas, J. F. Barrera y J. Gómez. 2016. Evaluación de la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre *Pachycoris torridus* en laboratorio. Southwestern Entomologist 41(3):783-790. Doi:10.3958/059.041.0320.

De la Rosa, W., M. Figueroa and J. E. Ibarra. 2005. Selection of *Bacillus thuringiensis* strains native to Mexico and active against the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Vedalia* 12 (1): 3-9.

Díaz V., V. M. y D. Roblero J. 2007. Épocas de aplicación del hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. para control de *Hypothenemus hampei* Ferr. *Revista Quehacer Científico en Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. pp. 42-47.

Díaz M., E., A. O. Gutiérrez, P. A. Contreras G., R. R. Rivera y L. R. Centeno E. 2009. Control del barrenador de las meliáceas en plantaciones de cedro en la península de Yucatán. *In: IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal*. Inifap. Sección de Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales. Saltillo, Coah., México. p. 364.

Díaz-Ordaz, N. H., N. Pérez and J. Toledo. 2010. Pathogenecity of three strains of entomopathogenic fungus on *Anastrepha obliqua* adults (Macquart) (Diptera: Tephritidae) under laboratory conditions. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 26(3): 481-494. Doi:10.21829/azm.2010.263796.

Flores V., A. L., M. Cabrera B., C. Toriello, M. I. Bucio T., P. M. Salazar S. and A. Córdoba A. 2016. Survival and immune response of the Chagas vector *Meccus pallidipennis* (Hemiptera: Reduviidae) against two entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Isaria fumosorosea*. *Parasit Vectors* 9:176-187. Doi: 10.1186/s13071-016-1453-1.

Galitsky, N., V. Cody, A. Wojtczak, D. Ghosh, J. R. Luft, W. Pangborn and L. English. 2001. Structure of the insecticidal bacterial *delta-endotoxin* Cry3Bb1 of *Bacillus thuringiensis*. *Acta Crystallographica Section D*. 57 (Pt 8):1101–9. Doi:10.1107/S0907444901008186. PMID 11468393.

- Gandarilla P., F. L., I. Quintero Z., R. Rodríguez G., M. Elías S., C. F. Sandoval C. y L. J. Galán W. 2013. Efecto de hongos entomopatógenos sobre *Ceraeochrysa valida* y *Eremochrysa punctinervis* (Neuroptera: Chrysopidae) depredadores de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en México. *Entomología Mexicana* 12(1):415-419.
- García de L., S. y T. Mier. 2010. Visión general de la producción y aplicación de bioplaguicidas en México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10(20): 37-63.
- García G., C. y M. B. González M. 2009. Control biológico de plaga de chapulín (Orthoptera: Acrididae) en Durango, México. *Vedalia* 13 (2): 79-83.
- García G., C. y M. B. González M. 2010. Uso de biosecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. *Ra Ximhai* 6(1): 17-22.
- García G., C. y M. B. González M. 2013. Síntesis sobre el uso de bioinsecticidas y otros agentes de control biológico de plagas en México. *Vedalia* 14 (1): 35-42.
- García R., E., R. Pérez P., B. L. León E. y L. Pliego M. 2013. Patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(6):1129-1138. Doi: 10.29312/remexca.v0i6.1277
- García R., A., A. Reyes R., E. Ruíz S. y J. E. Ibarra. 2018. Aislados nativos de del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(3): 539- 551. Doi: 10.29312/remexca.v9i3.1213.
- Gerónimo T., J. C., M. Torres de la C., M. Pérez de la C., A. de la C. P., C. F. Ortiz G. y S. Cappello G. 2016. Caracterización de aislamientos nativos de *Beauveria bassiana* y su patogenicidad hacia *Hypothenemus hampei*, en Tabasco, México. *Revista Colombiana de Entomología* 42 (1): 28-35. Doi: 10.25100/socolen.v42i1.6666.
- Gijón H., A. R., Z. Trejo S., C. M. López G., L. Ramírez H., V. J. Arriola P. e I. M. Pérez G. 2015. Caracterización y efectividad de *Trichoderma* spp. sobre insectos descortezadores de pino. *Entomología Mexicana* 2: 293-299.

Godwin, P. K. and H. Shawgi. 2000. Entomogenous fungi as promising biopesticides for tick control. *Experimental and Applied Acarology* 24: 913–926.

Doi:10.1023/a:1010722914299.

González S., M. G., J. C. Salazar T., F. Jaimes A., S. Ramírez A. y R. González S. 2010. Eficacia de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin en el control de *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) en fresa. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3): 189-193. Doi: 10.5154/r.rchsh.2010.16.024.

Hernández T., I., A. Berlanga P., J. I. López A., J. Loera G. y E. Acosta D. 2007. Evaluación de hongos entomopatógenos para el control del pulgón café de los cítricos, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), en México. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental General Terán. Folleto Científico Núm. 1. General Terán, N L, México. 19 p.

Hernández V., V. M., Z. Cervantes E., F. J. Villalobos, L. L. García y G. Peña C. 2011. Aislamiento de hongos entomopatógenos en suelo y sobre gallinas ciegas (Coleoptera: Melolonthidae) en agroecosistemas de maíz. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 27(3): 591- 599. Doi:10.21829/azm.2011.273777.

Lezama G., R., R. Alatorre R. y F. Sánchez. 1994. Evaluación de cepas de *Nomuraea rileyi* y *Paecilomyces fumosoroseus* contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Vedalia* 1: 19-22.

Lezama G., R., R. Alatorre R., L. F. Bojalil J., J. Molina O., M. Arenas V., M. González R. and O. Rebolledo D. 1996a. Virulence of five entomopathogenic fungi (Hyphomycetes) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs and neonate larvae. *Vedalia* 3: 35-40.

Lezama G., R., J. Molina O., M., L. Contreras O., M. González R., A. Trujillo de la L. y O. Rebolledo D. 1996b. Susceptibilidad de larvas de *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) a diversos nematodos entomopatógenos (Steinernematidae y Heterorhabditidae). *Vedalia* 3: 31-34.

Lezama G., R., J. Molina O., M., O. Rebolledo D., A. Trujillo de la L., M. González R. and S. Briceño R. 1997. Evaluation of entomopathogenic fungi (Hyphomycetes) against *Anthonomus fulvipes* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) in organically grown Barbados cherry trees. *Vedalia* 4: 25-30.

Lozano G., J. y M. P. España L. 2006. Enemigos naturales y control biológico de *Brachystola magna* (Girard) y *B. mexicana* (Bruner) (Orthoptera: Acrididae) con *Beauveria bassiana* en Zacatecas, México. *Vedalia* 13 (2): 91-96.

Mellín R., M. A., J. A. Sánchez G., A. M. Cruz Á., R. Montesinos M. y H.C. Arredondo B. 2016. Patogenicidad de cepas de hongos entomopatógenos sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en condiciones de laboratorio. *Southwestern Entomologist*, 41(3):791-800. Doi:10.3958/059.041.0321.

Molina O., J., J. J. Hamm, R. Lezama G., L. F. Bojalil J., M. Arenas V. and M. González R. 1996. Virulence of six entomopathogenic nematodes (*Steinernematidae* and *Heterorhabditidae*) on immature stages of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Vedalia* 3: 25-30.

Molina T., L., D. Mejía M., L. A. Cisneros V. y M. G. Vázquez M. 2013. Infección de mosquitos *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) vectores del dengue por hongos entomopatógenos. *Entomología Mexicana* 12(1): 446- 451.

Nájera R., M. B., M. García M., R. L. Crocker, V. Hernández V. y L. A. Rodríguez del B. 2005. Virulencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, nativos del occidente de México, contra larvas de tercer estadio de *Phyllophaga crinita* (Coleoptera: Melolonthidae) bajo condiciones de laboratorio. *Fitosanidad* 9(1): 33-36.

Nava P., E., C. García G., J. R. Camacho B. y E. L. Vázquez M. 2012. Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai* 8(3b): 17-29.

- Pacheco B., L. R., M. Moreno R., L. A. Arriola M., M. Valencia P., R. Lezama G., E. Corona B. y C. A. Angel S. 2015. Formulados de *Beauveria bassiana* (BALSAMO) Vuillemin sobre *Ctenocephalides canis* (Curtis): resultados preliminares. Entomología Mexicana 2: 272-277.
- Pérez C., N. 2004. Manejo ecológico de plagas. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural- CEDAR. La Habana, Cuba. 292 p.
- Pérez-González, O., M. G. Maldonado-Blanco, R. I. Torres-Acosta, R. Rodríguez-Guerra, M. Elías-Santos y J. I. López-Arroyo. 2013. Evaluacion de aislados mexicanos de *Hirsutella citriformis* Speare contra *Diaphorina citri* Kuwayama (HEMIPTERA: LIIVIDAE) en laboratorio. Entomología Mexicana 12(1):381- 386.
- Pérez-Salgado, J., M. D. Ángel-Ríos, A. Arteaga-Deloya, E. Hernández-Castro y A. Damián-Nava. 2013. Hongos entomopatógenos y extractos vegetales contra escama blanca (*Aulacaspis tubercularis* Newstead) en cultivo de mango en San Luis La Loma, municipio de Tecpan de Galeana, Gro., México. Entomología Mexicana 12(1):452- 455.
- Ponce, G., A. E. Flores, M. H. Badii, I. Fernández, T. González, M. L. Rodríguez y J. A. Chiu. 2003. Evaluación de *Bacillus thuringiensis israelensis* (Vectobac 12 AS) sobre la población larval de *Aedes aegypti* en el área metropolitana de Monterrey N.L., México. Revista Salud Pública y Nutrición 4(3): 1-6.
- Pulido-Herrera, A., E. Zavaleta-Mejía, L. Cervantes-Díaz y O. Grimaldo-Juárez. 2012. Alternativas de control en la pudrición radical de cebolla para el Valle de la Trinidad, Baja California. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3(1): 97-112. Doi:10.29312/remexca.v3i1.1483.
- Rivera-Oliver, R., C. A. Angel-Sahagún, A. M. Cruz-Avalos, R. Lezama-Gutiérrez, M. Canchola-Ramírez y J. Molina-Ochoa. 2013. Patogenicidad de hongos entomopatógenos sobre huevos de diferente edad de la garrapata *Rhipicephalus microplus*. Entomología Mexicana 12(1): 346-350.

Rivera-Ramírez, L. V., C. A. Angel-Sahagún, M. Valencia-Posadas, J. E. Ortega-Palomares y M. Canchola-Ramírez. 2013. Evaluación de hongos entomopatógenos sobre pulgas *Ctenocephalides canis*: resultados preliminares. *Entomología Mexicana* 12(1): 356- 359.

Rubio S. V. y A. Fereres C. 2005. Control biológico de plagas y enfermedades de los cultivos. Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA-CSIC). Departamento de Protección Vegetal. Madrid, España. pp. 1- 16.

Ruiz S., E., A. T. Rosado C., W. Chan C., J. Cristóbal A. y R. Munguía R. 2009. Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.). *Fitosanidad* 13(2): 89- 93.

Ruiz V., J., T. Aquino B., M. E. Silva R. y S. Girón P. 2012. Control integrado de la gallina ciega *Phyllophaga vetula* Horn (Coleoptera: Melolonthidae) con agentes entomopatógenos en Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 609-616.

Sánchez P., L., S. Rodríguez N., V. Marín C., M. Ramos L., A. Ramos and J. Barranco F. 2016. Assessment of *Beauveria bassiana* and their enzymatic extracts against *Metamasius spinolae* and *Cyclocephala lunulata* in laboratory. *Advances in Enzyme Research* 4: 98-112. Doi:10.4236/aer.2016.43010.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). 2015. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, por la que se establecen los NOM-032-FITO-1995. 2015. Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su Dictamen Técnico. Diario Oficial de la federación. Tercera sección. Martes 11 de agosto de 2015.
https://dof.gob.mx/nota_doc.php%3Fcodnota%3D5403310 (26 de enero de 2019).

- Sociedad Mexicana de Control Biológico (SMCB). 2018. Página oficial de la SMCB. <https://www.smc-b-mx.org/>. (22 de noviembre de 2018).
- Solís S., A., C. García G., M. B. González M., H. Medrano R. y L. J. Galán W. 2006. Toxicidad de blastosporas de *Beauveria bassiana* (Vuill) sobre palomilla del manzano *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). Folia Entomológica Mexicana 45(2): 195-200.
- Tafoya, F., M. Zúñiga D., R. Alatorre, J. Cibrián T. and D. Stanley. 2004. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: hyphomycetes) against the cactus weevil, *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. Florida Entomologist 87(4): 533-536. Doi:10.1653/0015-4040(2004)087[0533:POBBDH]2.0.CO;2.
- Tamayo M., F. 2009. Control biológico de *Sphenarium purpurascens* (Charpentier) y *Melanoplus differentialis* (Thomas) (Orthoptera: Acrididae) con *metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, en Guanajuato, México. Vedralia 13 (2): 85-90.
- Toledo, J., J. L. Gurgúa, P. Liedo, J. E. Ibarra y A. Oropeza. 2001. Parasitismo de larvas y pupas de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: tephritidae) por el nematodo *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Rhabditida: Steinernematidae). Vedralia 8: 27-36.
- Toledo, J., C. Pérez, P. Liedo y J. E. Ibarra. 2005. Susceptibilidad de larvas de *Anastrepha obliqua* macquart (Diptera: Tephritidae) a *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) (Rhabditida: Heterorhabditidae) en condiciones de laboratorio. Vedralia 12 (1): 11-22.
- Trevor, W., H. C. Arredondo B. and L. A. Rodríguez del B. 2013. Biological pest control. Annual Review of Entomology 58:119–40. Doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153552.

Villegas R., F., O. Díaz G., J. S. Casas F., C. T. Monreal V., F. Tamayo M. y S. Aguilar MI. 2017. Actividad de dos hongos entomopatógenos, identificados molecularmente, sobre *Bactericera cockerelli*. Revista Colombiana de Entomología 43(1): 27-33. Doi:10.25100/socolen.v43i1.6643.

Zumaquero R., J. L., J. J. López T., R. Rojas G. and S. Estibaliz. 2014. Lethal effects of a Mexican *Beauveria bassiana* (Balsamo) strain against *Meccus pallidipennis* (Stal). Brazilian Journal of Microbiology 45(2): 551-557. Doi:10.1590/S1517-83822014000200025.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia [Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.