

Bioplaguicidas fúngicos y botánicos en el manejo sustentable de plagas en la agricultura moderna

Nelly Martínez Fiel,¹ Verónica Nava Rodríguez,² Antonio Flores Macías,² Silvia Rodríguez Navarro² y Juan Esteban Barranco Florido³

Resumen. El uso de hongos entomopatógenos y extractos de plantas son métodos de fitoprotección que permite la sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que sus metabolitos tienen efectos insecticidas o insectistáticos (pueden inhibir desarrollo, conducta, fertilidad y fecundidad), y tienen baja residualidad en el ambiente. El conocimiento de las relaciones y procesos biológicos de los hongos y plantas con los insectos es fundamental, así como poder utilizar los metabolitos secundarios que producen de forma natural para la creación de bioinsecticidas que sean amigables con el medio ambiente. Por ello, es necesario seguir realizando estudios sobre las nuevas tecnologías de compartimentación y formulación que permitan un mejor control sobre la disponibilidad y la actividad de los bioplaguicidas. Para que el uso de los bioinsecticidas botánicos y fúngicos sea cada vez más frecuente, por parte de los agricultores, es necesario tomar en cuenta: la forma de producción más eficiente, la comercialización y la vida útil y de almacenamiento, la bioseguridad, el registro del producto desarrollado y la entrega de esta tecnología. Además, el producto tiene que ser eficaz con la plaga y debe producirse masivamente a bajos costos para que pueda competir con los productos existentes, y con ello obtener un beneficio aceptable por su inversión en investigación y desarrollo.

Palabras clave: bioplaguicidas, botánicos, fúngicos, sustentabilidad.

Abstract. The use of entomopathogenic fungi and botanical insecticides are methods of phytoprotection that allows the sustainability of agroecosystems, since the metabolites of both organisms have insecticidal or insectistatics effects (they can inhibit development, behavior, fertility and fe-

¹ Maestría en Ciencias Agropecuarias, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

² Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

³ Departamento de Sistemas Biológicos, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: barranco@correo.xoc.uam.mx

cundity); and it have low residuality in the environment. Knowledge of the biological relationships and processes of fungi and plants with insects is essential, and to be able to use the secondary metabolites they produce naturally, for the creation of bioinsecticides that are friendly to the environment. Further studies on new compartmentalisation and formulation technologies are therefore necessary to allow better control over the availability and activity of biopesticides. For the use of botanical and fungal bioinsecticides to become more and more frequent by farmers, it is necessary to take into account the most efficient form of production, marketing and shelf life and storage, biosafety, registration of the product developed and delivery of this technology. In addition, the product has to be effective with the pest and must be produced massively at low costs so that it can compete with existing products and thereby obtain an acceptable return on its investment in research and development.

Keyword: *biopesticide, botanicals, fungal, sustainability.*

INTRODUCCIÓN

A fin de satisfacer la demanda de alimentos y productos de los más de nueve mil millones de personas que habitarán en el año 2050, la agricultura tendrá que producir 60% más de alimentos a nivel mundial y 100% más en los países en desarrollo (FAO, 2015). Sin embargo, la producción no debe basarse en incrementar la superficie arable, sino mejorar la productividad agrícola (Dimetry, 2014). Esto puede lograrse reduciendo las pérdidas por plagas, enfermedades y malezas, mismas que se estiman en 38-42% de la producción potencial antes de la cosecha. Una plaga agrícola se define como cualquier organismo que genere una disminución en la calidad o el rendimiento de un cultivo, en una cantidad que esté por encima del umbral económico. Un umbral económico es el máximo nivel poblacional tolerable sin que la plaga ocasione daño económico, y dentro del cual se debe aplicar un método de control para prevenir que la población creciente logre alcanzar el nivel de daño económico (Badii, 2007).

Tras el descubrimiento del DDT, empezó la producción de insecticidas sintéticos con un futuro aparentemente prometedor; esto abrió la puerta a la búsqueda de nuevos compuestos de síntesis, como los organofosforados, los carbamatos y los piretroides (Pérez *et al.*, 2013). En la actualidad, los insecticidas sintéticos siguen desempeñando un papel importante en el desarrollo de la agricultura, aunque, al mismo tiempo, ha generado efectos negativos en la salud del ser humano. De acuerdo a la estimación de la OMS, cada año se producen 3 millones de casos de intoxicación por plaguicidas,

ocasionando más de 250 000 muertes, principalmente por el mal manejo y aplicación. Además, los insecticidas sintéticos han generado resistencia en las plagas, así como han provocado contaminación del agua, suelo y aire, reduciendo la biodiversidad (Pavela, 2016). Debido a los efectos negativos de los insecticidas convencionales, se ha impulsado la búsqueda de diferentes estrategias bajo un manejo integrado de plagas (MIP). El MIP es considerado, por Johnson y Hamilton (2009), como un enfoque que utiliza diversas técnicas de control para mantener o administrar a la población de las plagas en niveles inferiores a los que provocan un daño económico, al tiempo que se mantiene la calidad ambiental. Fischbein y Corley (2015) definen al MIP como un método que busca sostener las poblaciones de plagas por debajo del nivel de daño económico, basándose en la mortalidad natural ocasionada por los enemigos naturales; si es necesario, también con la aplicación de plaguicidas.

En la actualidad, se comercializan bioinsecticidas de origen vegetal y fúngico que presentan un perfil toxicológico diferente a los convencionales, haciéndolos aptos para programas de MIP (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012; Ondarza-Beneitez, 2017). Los insecticidas botánicos pueden proporcionar un control eficiente de las plagas debido a los metabolitos secundarios (MS), que las plantas sintetizan como parte de su autodefensa (Miresmailli e Isman, 2014). Estos MS se obtienen con diversos métodos de extracción, de esta forma los extractos de plantas se han convertido en sustancias activas de los insecticidas botánicos (IBs) (Tiwari *et al.*, 2011). Se consideran IBs tradicionales a aquellos que no se distribuyen comercialmente y que son elaborados por los productores de acuerdo a su conocimiento tradicional y, en otro grupo, se encuentran los productos fabricados comercialmente (Pavela, 2016). Los insecticidas botánicos pueden tener diferentes modos de acción, actuando en el sistema nervioso, en el sistema endocrino o en el balance hídrico (Shivanandappa y Rajashekar, 2014). Otra alternativa son los hongos entomopatógenos (HE), los cuales son agentes de control biológico ampliamente disponibles; los géneros más utilizados son *Beauveria* spp., *Metarhizium* spp., *Isaria* spp. y *Lecanicillium* spp. Estos hongos tienen mecanismos de acción únicos que les permiten atravesar la cutícula e infectar al insecto hospedero. A través de la fermentación se han obtenido extractos que contienen los metabolitos y enzimas de los HE, con lo que se ha demostrado que tienen efectos insecticidas e insectistáticos en plagas agrícolas (Marín-Cruz *et al.*, 2017).

Hoy en día, el conocimiento empírico tradicional sobre el control de plagas resultó aparentemente desplazado por un conocimiento tecnológico, dando origen a la llamada agricultura moderna, no obstante, es fundamental que ambas prácticas sean llevadas a cabo con una conciencia agroecológica. Esta revisión presenta la importancia del uso

de los bioinsecticidas fúngicos y botánicos en la agricultura moderna, así como de los avances y barreras en su producción para la aplicación en campo.

Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos (HE) han sido ampliamente utilizados en la agricultura. Faria y Wraight (2007) reconocieron 110 productos comerciales, de los cuales 40% son de *Beauveria bassiana* y 39% de *Metarhizium anisopliae*. El resto de los productos fueron de *B. brongniartii*, *Isaria fumosorosea*, *I. farinosus* y *Lecanicillium lecanii*. Los HE tienen la capacidad de infectar a diversas especies de insectos de los órdenes como Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Homoptera, Diptera, Hemiptera, Orthoptera, Siphonaptera, Thysanoptera, Neuroptera, Dermaptera y Embioptera (Zimmermann, 2007). Los HE no son tóxicos en mamíferos, aves y plantas, adicional a que son seguros para el medio ambiente y la salud humana (Ragavendran *et al.*, 2017). El proceso infectivo de los HE inicia cuando los conidios entran en contacto con la cutícula del insecto, adhiriéndose en la superficie cuticular mediante hidrofobinas (Zhang *et al.*, 2011). Posteriormente, el conidio germina y penetra a través de dos mecanismos: el primero, es la acción mecánica con el desarrollo y formación del haustorio; el segundo, es por la acción de enzimas hidrolíticas que degradan los componentes de la cutícula, estas enzimas son lipasas, proteasas y quitinasas (Butt *et al.*, 2016). Las lipasas degradan a los lípidos de la cutícula que son hidrocarburos de cadena larga, ácidos grasos y ésteres de cera (Ali *et al.*, 2014). Las proteasas que degradan la cutícula son serinas del tipo subtilisina Pr1 y tripsinas del tipo Pr2 y las quitinasas son de diversos tipos que hidrolizan la quitina hasta acetilglucosamina (Sánchez-Pérez *et al.*, 2014). Una vez superada la barrera estructural, los HE proliferan en el hemocel como blastosporas para evadir la respuesta inmune del insecto, llegando al tejido muscular, al cerebro, al intestino, a los túbulos de Malpighi (Ishii *et al.*, 2017). Además, el HE produce metabolitos secundarios (MS) que destruyen tejidos internos, causan malformaciones, provocan parálisis y lentitud neuromusculares (Marín-Cruz *et al.*, 2017), así como cambios conductuales y de alimentación, pérdida de peso y de fecundidad (Zimmermann, 2007), aunado a la inhibición del crecimiento de microorganismos competidores (Ortiz-Urquiza y Keyhani, 2016). Una vez que el huésped muere, el hongo emerge del cadáver y sus conidios se diseminan por factores bióticos y abióticos (Mascarin y Jaronski, 2016). Los productos comercializados de los HE se basan en el uso de conidios, sin embargo, se ha explorado el uso de metabolitos que los HE producen, como las enzimas y MS durante el proceso natural de patogénesis y que causan efectos insecticidas o insectistáticos (Marín-Cruz *et al.*, 2017).

Insecticidas botánicos

Las plantas han desarrollado MS que son usados como bioinsecticidas en la agricultura (Chandler *et al.*, 2011); son moléculas orgánicas que no tienen una función directa en procesos fotosintéticos, de asimilación de nutrientes o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, sin embargo, tienen una relación ecológica con su ambiente. Los insecticidas botánicos actúan como repelentes, agentes disuasorios o antialimentarios, tóxicos, retardantes del crecimiento y atrayentes (Rajashekar *et al.*, 2012), y pueden ser aceites esenciales, alcaloides, flavonoides, glucósidos, ésteres y ácidos grasos. El más utilizado es la Nicotina, alcaloide obtenido del tabaco (*Nicotiana tabacum*), que es un tóxico similar al neurotransmisor acetilcolina y causa síntomas de envenenamiento similares a los organofosforados y carbamatos (El-Wakeil, 2013). Las piretrinas son insecticidas botánicos que se obtienen del *Chrysanthemum cinerariifolium* e interrumpen el proceso de intercambio de iones sodio y potasio en las células nerviosas de los insectos, provocando la transmisión anormal de los impulsos nerviosos. Además, los MS pueden tener efectos antialimentarios y pueden ser encontrados en los terpenoides (Isman, 2006). Los aceites esenciales también tienen este efecto debido a que son mezclas volátiles de hidrocarburos con una diversidad de grupos funcionales, y su actividad repelente se ha relacionado con la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos; entre los géneros más utilizados están *Cymbopogon* spp., *Ocimum* spp. y *Eucalyptus* spp., los compuestos identificados en estas mezclas con alta actividad repelente incluyen a-pineno, limoneno, citronelol, alcanfor y timo (Nerio *et al.*, 2010).

Producción biotecnológica de extractos botánicos y fúngicos

A través de los bioprocesos biotecnológicos se han obtenido enzimas, como los MS y conidios de los HE. La producción de los HE se basan en cultivos que pueden ser de tipo sólido o líquido. En los cultivos líquidos se utilizan sustratos solubles que generalmente producen blastosporas (Ravichandran y Vimala, 2012). El cultivo sólido se define como un proceso donde los microorganismos crecen en materiales sólidos sin la presencia de agua libre; este cultivo tiene como ventajas: una baja contaminación, facilita la dispersión del hongo, hay aprovechamiento uniforme del medio, reducidos costos de producción, la aireación se logra fácilmente, además los rendimientos son confiables y reproducibles (Renge *et al.*, 2012). En el cultivo sólido de HE se usan como sustratos: granos de cebada, trigo, maíz, sorgo, salvado de trigo y de arroz (Gortari y Hours, 2016). Sin embargo, pier-

den virulencia los HE con la utilización del caparazón de camarón que induce enzimas hidrolíticas y MS de *B. bassiana* y *Lecanicillium lecanii* por FS (Barranco-Florido *et al.*, 2009).

Los insecticidas botánicos también utilizan la biotecnología, por ejemplo, para la producción de los MS, el primer paso es la recolección del material vegetal a utilizar, pueden ser de plantas cultivadas *in situ* (selección de cultivos de plantas que producen un metabolito en particular), cultivos *in vitro* de células y tejidos, cultivos de células en suspensión (compuestos de agregados celulares indiferenciados con un diámetro de 40-200 μ M) y cultivo de raíces transformadas (estas raíces transformadas pueden ser cortadas y cultivadas indefinidamente bajo condiciones estériles). Para incrementar la producción de MS, la primera estrategia es la selección y mejoramiento de la línea celular y la utilización de ingenierías genética y metabólica (Zabala *et al.*, 2009). Una vez que se tiene el material vegetal, se escoge el disolvente, polar o no polar, tomando en cuenta principalmente su polaridad, los tipos y la cantidad de fitoquímicos que se pretenden obtener, la velocidad de extracción, la facilidad de manipulación posterior de los extractos y la toxicidad. Posteriormente, se utilizan diferentes métodos de extracción, como Soxhlet, maceración, infusión y percolación (Tiwari *et al.*, 2011). En el Cuadro 1 se muestran laboratorios reproductores y comercializadores de México.

Cuadro 1. Laboratorios Reproductores y Comercializadores de Agentes de Control Biológicos

Mexico Green House S. de R.L.	Agroindustria Andrew y Willians de México S.A. de C.V.	CRIBIO, S.A. de C.V.
Centro de Producción e Investigación de Organismos Benéficos (CRIOB)	Centro Regional de Estudios y Reproducción de Organismos Benéficos	Biokrone, S.A. de C.V.
Laboratorio Reprodutor de Organismos Benéficos NOCON S.A. de C.V.	Proveedora de Servicio para el Campo, S.A. de C.V.	CESAVEG -Laboratorio de Reproducción de Organismos Benéficos
Tecnologías Naturales Internacional, S.A. de C.V.	Centro Reprodutor de HE. S.C.	Alta Tecnológica Agrotécnica SPR. de R.L. de C.V.
Laboratorio en Biotecnología Aplicada Agrícola S.A. de C.V.	Laboratorio Regional de Reproducción de Agentes de Control Biológico (DGSV-SENASICA)	Laboratorio de Control Biológico CESAVE-NL
Agrobiológicos del noroeste S.A. de C.V.	Biotecnología Agroindustrial S.A. de C.V.	Biotecnología Andreb S.A. de C.V.

Aplicación de extractos botánicos y fúngicos en plagas agrícolas

Los extractos crudos (EC) de HE han sido evaluados en insectos, por ejemplo, Resquín-Romero y col. (2016) evaluaron los EC de *Metarhizium* sp. y *Beauveria* sp. en el segundo instar de *Spodoptera littoralis*, de esto se obtuvo que: con EC de *M. brunneum* hubo la mayor mortalidad, con 83.3% en 5.1 días, y en *B. bassiana* una mortalidad de 66.7%. En otro estudio, se evaluaron los EC de *Metarhizium* sp. y *Beauveria* sp. en *Spodoptera littoralis*; los resultados mostraron que con *M. anisopliae* hubo una mortalidad entre 82.5% y 100%, y con *B. bassiana* fue de 20 a 35% (Quesada-Moraga *et al.*, 2006). Sánchez-Pérez y col. (2016) inyectaron extractos enzimáticos, conidios y combinados en larvas de *Cyclocephala lunulata*, obteniendo 100% de mortalidad, y en adultos de *Metamasius spinolae* tuvieron una mortalidad de 29% con extractos enzimáticos, de 27% con conidios y de 31% con la combinación. En gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) se inyectaron los EC y se registró 100% de mortalidad, a los ocho días de aplicación (Chávez *et al.*, 2014). Marín-Cruz y col. (2017) aplicaron EC, enzimas, MS y conidios de *B. bassiana* en *Bradysia impatiens*; los resultados mostraron que, a los 20 días de evaluación, la mortalidad por MS fue de 47.5%, y en adultos tuvo un 65% de malformaciones, esto sugiere que los MS tienen un efecto más prolongado con malformaciones en adultos emergidos de pupas como efecto insectistático.

Otras aplicaciones de los EC en la agricultura han sido dirigidas no sólo a insectos plaga, sino con hongos fitopatógenos. Reddy y col. (2010) evaluaron los EC de *B. bassiana* bajo condiciones de laboratorio sobre diferentes hongos fitopatógenos; los resultados mostraron que *B. bassiana* tuvo poca actividad antifúngica en *Aspergillus niger*, y no tuvo ningún efecto en *Alternaria tenuissima*, sin embargo, hubo una buena respuesta de actividad antifúngica sobre *Alternaria solani*, *Glomerella cingulata*, *Rhizopus oryzae*, *Chrysosporium tropicum*, *Rhizoctonia solani*, *Myrethecium roridum* y *Fusarium oxysporum*. Sahab (2012) evaluó EC de *B. bassiana* en *Alternaria tenuis*, *Fusarium avenaceum* y *F. graminearum*, sin mostrar diferencia significativa; sin embargo, con los hongos: *Aspergillus parasiticus*, *F. moniliforme* y *F. oxysporum* hubo diferencia significativa, en *Verticillium dahliae* y *Phytophthora* spp, se obtuvo como resultado 100% de inhibición en el crecimiento micelial de esos hongos (Lozano-Tovar *et al.*, 2013). Esto nos indica que los HE tienen potencial para ser utilizados en el control de hongos fitopatógenos, pero es necesario investigar sobre en qué especies es posible inducir el efecto de inhibición, lo cual dependerá del HE, el cultivo agrícola y el hongo fitopatógeno.

Para el caso de la aplicación de los extractos botánicos en los insectos, éstos han tenido efectos sobre el sistema nervioso, el sistema digestivo y el sistema inmune (Acheuk y Doumandji-Mitiche, 2013), además pueden bloquear la síntesis y liberación de hor-

monas de la muda de la glándula protorácica, lo que lleva a una ecdisis incompleta en insectos inmaduros, y en insectos adultos conduce a la esterilidad (Isman, 2006). Con el uso de aceites esenciales de *Citrus aurantium*, *Eruca sativa*, *Zingiber officinale* y *Origanum majorana* contra *Rhyzopertha dominica* se han demostrado daños en el ADN debido a alteraciones en las enzimas acetilcolinesterasa, fosfatasa ácida, fosfatasa alcalina, lactato deshidrogenasa y fenol oxidasa (Qari *et al.*, 2017). Diversas plantas han sintetizado los MS que pueden afectar a los insectos, como se muestran en el Cuadro 2. El daño provocado por los MS a su hospedero depende de la parte de la planta de donde son obtenidos los MS, el método de extracción, el estadio del insecto, la dosis y forma de aplicación, así como de las condiciones medio ambientales en que son aplicados.

Cuadro 2. Investigaciones del efecto insecticida de plantas sobre insectos plaga o vectores

Planta	Insecto	Referencia
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Trips, mosca blanca	Pavela, 2016
<i>Ricinus communis</i>	<i>Culex tritaeniorhynchus</i> ; <i>Anopheles gambiae</i> ; <i>Spodoptera frugiperda</i> ; <i>Plutella xylostella</i>	Rampadarath y Puchooa, 2016; Torija-Torres <i>et al.</i> , 2014; Ramos-López <i>et al.</i> , 2010; Tounou <i>et al.</i> , 2011
<i>Artemisia herbaalba</i> ; <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ;	<i>Myzus persicae</i>	Billal <i>et al.</i> , 2015
<i>Tamarindus indica</i> ; <i>Azadirachta indica</i> ; <i>Cucumis sativus</i> ; <i>Enhydra fluctuans</i> ; <i>Clerodendrum viscosum</i>	<i>Tribolium castaneum</i>	Amin <i>et al.</i> , 2012
<i>Daphne mucronata</i> ; <i>Tagetes minuta</i> ; <i>Calotropis procera</i> ; <i>Boenninghausenia albiflora</i> ; <i>Eucalyptus sideroxylon</i> ;	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Khan <i>et al.</i> , 2017

Comercialización de los bioplaguicidas

Los bioinsecticidas fúngicos y botánicos tienen como ventaja la seguridad ambiental, porque son degradados fácil y rápidamente por mecanismos naturales como la temperatura, la luz y la accesibilidad al oxígeno atmosférico. Otra ventaja es que son mezclas de sustancias activas de acción sinérgica, que en las plantas es la combinación de MS, y en los HE son diversos depsipéptidos con diferentes actividades biológicas, lo que disminuye las posibilidades de generar resistencia de las plagas (Pavela, 2016). La acción sinérgica es fundamental, ya que con un solo componente acelera la resistencia de la plaga, como lo demostró Feng e Isman (1995) con dos líneas de *Myzus persicae*, tratadas con azadirachtin (aza) puro y un extracto de semilla de neem, después de 40 generaciones la línea aza-seleccionada había desarrollado una resistencia nueve veces mayor, mientras que en la otra línea no sucedió, lo que indica que una mezcla de componentes activos en el insecticida botánico reduce el desarrollo de resistencia en comparación con lo esperado con un solo ingrediente activo. La resistencia a los HE ha sido evaluada en *Galleria mellonella* con *B. bassiana* bajo presión selectiva; las larvas de la 25ª generación mostraron resistencia, estos resultados nos indican la importancia de incorporar los bioinsecticidas a los programas de manejo integrado de plagas, ya que éstos mitigan o retrasan el desarrollo de resistencia en las poblaciones de plagas (Khater, 2012).

Las principales barreras para su comercialización en:

Material vegetal e inóculo. Es necesario tomar en cuenta que las plantas con potencial insecticida deben ser cultivadas de forma convencional o *in vitro*, de manera que puedan proporcionar una cantidad suficiente de material de alta calidad. En la actualidad, pocas especies de plantas proporcionan rendimientos suficientemente altos, por ello, es necesario utilizar MS de plantas que se encuentran en las áreas agrícolas *in situ*, contribuyendo al equilibrio y sostenibilidad del agroecosistema, lo mismo sucede con los HE, ya que su virulencia y efectividad está dada por la relación en que se encuentra el HE y su hospedero dentro del ecosistema. Se debe considerar la cantidad del inoculante, la calidad y la capacidad de reducir el tiempo de infección de los conidios (Muñiz-Paredes *et al.*, 2017), respecto a los extractos crudos de HE, debe ser la cantidad suficiente que se aplica en el cultivo, semejante a los MS de las plantas.

Regulación. Un problema al que se enfrenta la comercialización de los bioinsecticidas es el proceso de registro de los productos desarrollados, el cual es costoso y prolongado (Grzywacz *et al.*, 2014). El registro de un producto es un proceso oficial donde se examinan los bioinsecticidas para determinar su toxicidad y riesgos para el humano y otros mamíferos (cáncer, efectos teratogénicos y mutagénicos), además de sus posibles efectos ambientales, información de su toxicidad oral y dérmica y su DL_{50} (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2012). Los países en desarrollo tienen poca capacidad de personal e infraestructura para realizar pruebas múltiples de bioinsecticidas y suelen adoptar criterios normativos de otros países como: la Agencia de Protección del Ambiente (EPA), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), el Departamento de Agricultura de los EUA (USDA) y la Unión Europea (Toriello y Mier 2007), esto ocasiona que los bioinsecticidas sólo sean utilizados en cultivos de mercados especializados, como la producción orgánica certificada. Además, en muchas jurisdicciones, no se hace distinción entre plaguicidas sintéticos y bioplaguicidas, por lo que el tiempo para que los bioplaguicidas lleguen al mercado se prolonga, aun cuando la mayoría de los componentes se caracterizan por una baja toxicidad y una persistencia ambiental mínima (El-Wakeil, 2013).

En México, Cofepris, Sagarpa y la Semarnat, en su conjunto, someten los productos a estrictas evaluaciones antes de emitir un registro sanitario, lo que garantiza su calidad y seguridad. En el proceso de registro de un bioplaguicida intervienen tres áreas: a) Agricultura, que evalúa la eficacia en que el producto controla la plaga para la cual fue diseñada, b) Ambiente, que evalúa el impacto que el producto pueda tener en el agua superficial y subterránea, en la fauna y en el aire, y c) Salud, que evalúa el riesgo que el producto pueda tener en el aplicador y en el consumidor de alimentos. Esta evaluación es un requisito fundamental para otorgar el permiso de venta o registro del producto. Respecto a los plaguicidas, Cofepris se encarga de autorizar el registro y expedir certificados de libre venta y exportación, así mismo otorgar sus permisos de importación, previo análisis, evaluación y dictamen de la información técnica, toxicológica y de seguridad correspondiente, de igual forma realizar las evaluaciones de riesgo correspondientes para establecer los límites máximos de residuos. Semarnat, por su parte, emite la opinión técnica respecto de la protección del ambiente en los casos que establece el Reglamento, previo análisis y evaluación de la información técnica y ecotoxicológica, además autoriza la importación y exportación. En el caso de Sagarpa, ésta emite una opinión técnica sobre la efectividad biológica y sobre los aspectos fitosanitarios de los límites máximos de residuos. En los casos de emergencias fitozoosanitarias, el Regla-

mento establece y determina los plaguicidas de uso agrícola y de uso pecuario que se podrán utilizar.

La calidad. La calidad de los bioplaguicidas debe garantizar su efecto y tiempo de acción, así como la estabilidad; por ejemplo, la composición de los aceites esenciales de las plantas que es afectada por la estación, la geografía, el tiempo de cosecha, el quimiotipo de las especies y los métodos de extracción, además los MS son propensos a daños oxidativos, transformaciones químicas o reacciones de polimerización. Con el paso del tiempo, pierden algunos de sus atributos (Miresmailli e Isman, 2014). En el caso de los HE, al utilizar conidios en su aplicación en campo, se requieren condiciones específicas de temperatura, humedad y baja radiación solar (Khan *et al.*, 2012). En un esfuerzo por aumentar la eficacia biológica y la calidad de los bioplaguicidas, se ha buscado el desarrollo de una formulación nanoencapsulada de propiedades de liberación lenta, permeabilidad y estabilidad, sin embargo, la falta de un análisis de costo-beneficio de los materiales de nanoencapsulación ha dificultado su aplicación, además de que se necesita mayor investigación del comportamiento de dichos materiales y su destino final en el medio ambiente para su comercialización (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

En México, el Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) tiene la misión de desarrollar y establecer estrategias de control biológico para plagas reglamentadas, proporcionando tecnologías alternativas con el uso de organismos benéficos como agentes de control biológico. Sus áreas estratégicas son: el centro de insectos entomófagos, hongos entomopatógenos, colección de insectos entomófagos y colección de hongos entomopatógenos. Son usados en campañas fitosanitarias en el territorio nacional, por ejemplo, se ha reproducido masivamente el parasitoide *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) contra el psílido en limonaria *Murraya paniculata* (L.), en los estados de Colima y Yucatán.

Bioplaguicidas fúngicos y botánicos en México. La producción comercial de bioplaguicidas se realiza en 68 empresas, en ellas se reproducen masivamente 14 hongos entomopatógenos, principalmente *Beauveria bassiana* (Vuill.) Bálamo y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin; además, seis bacterias entomopatógenas, donde la principal es *B. thuringiensis* (García de León y Mier, 2010). Las empresas productoras de los bioplaguicidas en México se localizan en 25 entidades del país. Se presentan algunos de los bioplaguicidas fúngicos y botánicos registrados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Bioplaguicidas fúngicos y botánicos registrados en México

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC-FUNG-0103G-0231-009-18	Aceite de romero+aceite de clavo+aceite de tomillo	SPORATEC AG / SPORATEC	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco	18/01/2023
RSCO-MEZC-INAC-0103G-0233-009-10	Aceite de romero+aceite de hierbabuena	ECOTEC AG / ECOTEC	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco, papa, berenjena	18/01/2023
RSCO-INAC-0104S-X0298-064-20.0	Aceite esencial de neem	MIX PROTECTIVEE-N / AZAMIX-N / SUMMIX-N	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, tomate verde, chile, berenjena, papa, pimienta morrón, zarzamora, arándano, grosella, fresa, frambuesa kiwi, vid, calabacita, calabaza, chayote, pepino, melón, sandía, ajo, cebolla, cebollín, poro, espárrago	11/12/2023
RSCO-INAC-0103F-301-009-090	Aceite vegetal de semilla de soya	PROTECTOR 90 / PROTECTOR 90 PLUS / ASPHIX 90 / EPA 90 / NOTOX 90	Aplicación al follaje en los cultivos de: jitomate, cebollín, lima, limón, naranja, toronja, fresa, arándano, frambuesa, grosella, zarzamora, chile, berenjena, tomate verde, okra, papa, pimienta morrón, vid kiwi, aguacate	INDETERMINADA
RSCO-NEMA-0103Q-0232-009-70	Aceite de sésamo	SESAMIN EC / SESAMIN / NEOTEC SO / NEOTE SO	Aplicación en drench, a la base del tallo de la planta en los cultivos de: jitomate, chile, tabaco, papa, berenjena	16/01/2023
RSCO-MEZC-INAC-0104S-0104V-0302G-X0033-098-60.0	Extracto de neem+aceite esencial de canela+aceite esencial de naranja	ACCEEM / HASSASIN / CINNAFULL / ANTARES / ARTURUS	Aplicación foliar en los cultivos de: pepino melón, calabaza, calabacita, sandía, chayote, chilacayote, jitomate, berenjena, chile, chile bell, papa, tomate de cáscara y tabaco	13/09/2023
RSCO-MEZC-INAC-0103S-0645-009-21	Aceite extracto de canela+extracto de piretro	CINNACROP / DISACANEL / ALDHECROP / ALDHEGROW	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomates, chile, chile bell, berenjena, tomate de cáscara, papa	20/02/2025
RSCO-MEZC-FUNG-1803-X0254-375-90.00	Aceite de higuera+aceite extracto de canela + aceite extracto de neem+extracto de quitinasa + extracto de lipasa	EXTRACBACTER / AZACINNAGROW / BACTEROIL / MASTEROIL / BACTERFIN	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate y pimienta morrón	30/01/2025

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC-FUNG-1304-X0017-096-055	<i>Bacillus</i> spp.+aceite de clavo +aceite de neem	ROYA OUT / ROYA AWAY / YAVASTATRIXX / ROYA BROWN / ROYA STOP / ROYAL OUT	Aplicación foliar en el cultivo: cafeto	11/05/2022
RSCO-IN-AC-0195-0636-096-54	<i>Beauveria bassiana</i> Conidios + <i>Nomurea rileyi</i> conidios + aceite de neem + <i>Bacillus thuringiensis</i> esporas var. kurstaki y var. israelensis	LARBIOL 2X / BIOHAMMER / LARVIOUT / KILLARV / LARBIOL GM / LEPIDOUT / ENTOMAXX 5X2 / BIOPESTMAX	Aplicación foliar en los cultivos de: brócoli, col, coliflor	21/01/2020
RSCO-MEZC-INAC-1101Q-0680-096-30.0	Aceite de orégano + aceite de menta+aceite de canela + aceite de clavo + aceite de soya + aceite de neem+aceite de pescado	AKABROWN / ACALLESS / AKAR OUT / KILLER AC / KILLMITE /AKAR GREEN	Aplicación foliar en el cultivo de: zarzamora, fresa, arándano	23/06/2020
RSCO-MEZC-NEMA-0910-X0008-096-29.0	Extracto de cempazúchitl + extracto de gobernadora + extracto de cáscara de nuez + aceites esenciales de origen vegetal + quitosan + materia orgánica	NEMAXXION XT PLUS / BIOFUMIGATE OR N	Aplicación a base de la planta del cultivo: cafeto	28/05/2023
RSCO-INAC-1108-X0297-052-90.0	Aceite vegetal de palma Africana	TARU OIL / TONALI OIL / TEMINI OIL / TLALI OIL / ATL OIL / UKUL OIL / ABAN OIL / KWEEN OIL	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, chile, tomate de cáscara, papa, tabaco y berenjena	13/12/2023
RSCO-INAC-FUNG-0808-X0354-350-6.00	Aceite de naranja	PREV-AM /OR-009-C	Aplicación foliar en los cultivos de: jitomate, berenjena, chile, papa, pimiento morrón, tomate de cáscara, fresa, arándano, frambuesa, grosella, zarzamora, calabacita, calabaza, chayote, melón, sandía, pepino, aguacatero y vid.	28/10/2024
RSCO-IN-AC-0195-303-012-002	<i>Beauveria bassiana</i> CEPA GHA	NATURALIS L	Aplicación al follaje en los cultivos de: algodón, cacahuate, caña de azúcar, frijol, jitomate, lechuga, melón, soya	INDETERMINADA
RSCO-IN-AC-0908-0285-002-5.7	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	TRI-SIN / TRI PLUS / TRI- TRON / CONTROL-TRI	Aplicación al follaje en los cultivos de: jitomate, chile, chile bell, tomate de cáscara, berenjena, papa	18/05/2023

Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Usos	Vigencia
RSCO-MEZC- INAC-0903- 0195-X0052-002-16.0	<i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	BIOMABB	Aplicación foliar en el cultivo de: chile	11/02/2025
RSCO-MEZC- INAC-0903- 0195-X0050-0008-3.0	<i>Metarhizium anisopliae</i> + <i>Beauveria bassiana</i>	ANIQUM / MBgolf / METABASS / BM CONTROL	Aplicación foliar en cultivos de: brócoli, col, col de bruselas, coliflor, colinabo, colza, mostaza, lechuga, fresa, frambuesa, mora, zarzamora, cebolla, cebollín, chile, avena, centeno, maíz, sorgo, trigo, berenjena, jitomate, papa, tabaco, tomate de cáscara, calabaza, calabacita, chayote, melón, pepino y sandía	14/11/2024

CONCLUSIONES

Los EC obtenidos por fermentación sólida muestran un gran potencial para el manejo agroecológico de plagas y enfermedades, así mismo es importante escalar su producción, tomando en cuenta aspectos como una adecuada vida útil y de almacenamiento, tecnología aplicativa eficiente con bioseguridad y registro del producto desarrollado. Además, es requerida su evaluación en campo con diferentes plagas, cultivos y condiciones ambientales. Las aplicaciones de extractos fúngicos y botánicos en diversos insectos plaga tienen diferentes efectos como insecticidas, inhibidores del crecimiento y antialimentarios; el uso de mezclas de los bioinsecticidas tienen efectos sinérgicos que reducen el desarrollo de resistencia de los insectos. Así mismo, es necesario seguir incursionando en los métodos de extracción económicamente viables, y que permitan tener un mejor control de los componentes, así como conocer los componentes y su modo de acción. Para que los bioinsecticidas puedan ser comercializados, competitivos y exitosamente, a gran escala en el futuro, se requiere de organizar las fuentes naturales de suministro, desarrollar controles de calidad, adoptar estrategias de estandarización y modificar las restricciones regulatorias. Finalmente, todos los que componen la cadena agroalimentaria deben tener confianza en los bioinsecticidas que, en un principio, no producen un efecto inmediato, sin embargo, tienen ventajas que los hacen, en un futuro, ser esenciales en el manejo integrado de plagas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acheuk, F.; Doumandji-Mitiche, B., 2013, "Insecticidal activity of alkaloids extract of *Perularia tomentosa* (Asclepiadaceae) against fifth instar larvae of *Locusta migratoria cinerascens* (Fabricius 1781) (Orthoptera: Acrididae)", en *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 3: 8-13.
- Ali, S., Ren, S.; Huang Z., 2014, "Extracellular lipase of an entomopathogenic fungus effecting larvae of a scale insect", en *Journal of Basic Microbiology*, 54: 1148-1159.
- Amin, R. *et al.*, 2012, "Evaluation of insecticidal activity of three plant extracts against adult *Tribolium castaneum* (Herbst)", en *Biologija*, 58: 37-41.
- Badii, M., Landeros, J.; Cerda, E., 2007, "Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable", en *Cultura Científica y Tecnológica*, 23: 13-30.
- Barranco-Florido, J. E. *et al.*, 2009, "β-N Acetylglucosaminidase Production by *Lecanicillium* (*Verticillium*) *lecanii* ATCC 26854 by Solid-State Fermentation Utilizing Shrimp Shell", en *Interciencia*, 34: 356-360.
- Billal, NIA.; Naama, Frah; Imane, Azoui, 2015, "Insecticidal activity of three plants extracts against *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) and their phytochemical screening", en *Acta agriculturae Slovenica*, 105: 261-267.
- Butt, T. *et al.*, 2016, "Entomopathogenic fungi: new insights into host-pathogen interactions", en *Advances in Genetics*, 94: 307-364.
- Chandler, D. *et al.*, 2011, "The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366: 1987-1998.
- Chávez, I. E. *et al.*, 2014, "Actividad insecticida *in vitro* de extracto crudo de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin sobre larvas de *Phyllophaga* spp. (Harris)", en *Revista de Protección Vegetal*, 29: 226-230.
- Dimetry, A. N., 2014, "Different plant families as bioresource for pesticides", en Dwijendra, S. (Eds), *Advances in Plant Biopesticides*, (pp. 1-20), New Delhi, India.
- El Wakeil, N., 2013, "Botanical Pesticides and Their Mode of Action", en *Gesunde Pflanzen*, 65 :125-149.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura), 2015, Agricultura sostenible. La agenda de desarrollo post-2015 y los objetivos del desarrollo del milenio, en <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>, (Consultado: 20/09/2019).

- Faria, M.; Wraight, S., 2007, "Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types", en *Biological Control*, 43: 237-256.
- Feng, R.; Isman. M. B., 1995, "Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae*", en *Experientia*, 51: 831-833.
- Fischbein, D.; Corley, J. C., 2015, "Classical biological control of an invasive forest pest: a world perspective of the management of *Sirex noctilio* using the parasitoid *Ibaliia leucospoides* (Hymenoptera: Ibaliidae)", en *Bulletin of Entomological Research*, 105: 1-12.
- García Gutiérrez, C.; González-Maldonado, M., 2012, "Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa", en *Ra Ximhai*, 8: 31-45.
- Gortari, M. C.; Hours, R. A., 2016, "*Purpureocillium lilacinum* LPSC # 876: producción de conidias en cultivos sobre sustratos sólidos y evaluación de su actividad sobre *Nacobbus aberrans* en plantas de tomate", en *Revista de la Facultad de Agronomía*, 115: 239-249.
- Grzywacz, D. et al., 2014. "The use of indigenous ecological resources for pest control in Africa", en *Food Security*, 6: 71-86.
- Ishii, M. et al., 2017, "Proboscis infection route of *Beauveria bassiana* triggers early death of *Anopheles* mosquito", *Scientific Reports*, 7: 1-10.
- Isman, M. B., 2006, "Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world", en *Annual Review of Entomology*, 51:45-66.
- Johnson, M. P.; Hamilton, G. C., 2009, "Invasive Species: Real Threats to the Homeland", en *American Entomologist* 55: 14.
- Khan, S. et al., 2017. "Insecticidal activity of plant-derived extracts against different economically important pest insects", en *Phytoparasitica*, 45: 113-124.
- Khan, S. et al., 2012, "Entomopathogenic Fungi as Microbial Biocontrol Agent", en *Molecular Plant Breeding*, 3: 63-79.
- Khater, H. F., 2012, "Prospects of botanical biopesticides in insect pest management", en *Pharmacology*, 3: 641-655.
- Lozano-Tovar, M. D. et al., 2013, "Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive", en *Biological Control*, 67: 409-420.
- Marín Cruz, V. et al., 2017. "Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae)", en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23: 329-340.

- Mascarin, M.; Jaronski, T., 2016, "The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide", en *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32: 177-202.
- Miresmailli, S.; Isman, M., 2014, "Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions", en *Trends in plant science*, 19: 29-35.
- Muñiz-Paredes, F.; Hernández, M.; Loera, O., 2017, "Production of conidia by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests", en *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33: 57-66.
- Nerio, L. S.; Olivero-Verbel, J.; Stashenko, E., 2010, "Repellent activity of essential oils: A review." *Bioresource Technology*, 101: 372-378.
- Nuruzzaman, M. *et al.*, 2016, "Nanoencapsulation, Nano-guard for Pesticides: A New Window for Safe Application", en *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64:1447-1483.
- Ondarza Beneitez, M. A., 2017, "Biopesticidas: Tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas", en *Revista Agroproductividad*, 10: 31-36.
- Ortiz Urquiza, A.; Keyhani, N. O., 2016, "Molecular Genetics of *Beauveria bassiana* Infection of Insects", en Brian Lovett, Raymond J. St. Leger (Ed), *Advances in Genetics*, Academic Press, 94: 165-249
- Pavela, R., 2016, "History, Presence and Perspective of Using Plant Extracts as Commercial Botanical Insecticides and Farm Products for Protection against Insects - a Review", en *Plant Protection Science*, 4: 229-241.
- Pérez, E. *et al.*, 2013, "La química verde como fuente de nuevos compuestos para el control de plagas agrícolas", en *Ciencia en Desarrollo*, 4: 83-91.
- Qari, S. H. *et al.*, 2017. "Assessment of DNA damage and biochemical responses in *Rhyzopertha dominica* exposed to some plant volatile oils", en *Journal of Pharmacology and Toxicology*, 12: 87-96.
- Quesada-Moraga, E.; Carrasco-Díaz, A.; Santiago-Álvarez, C., 2006, "Insecticidal and antifeedant activities of proteins secreted by entomopathogenic fungi against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera:Noctuidae)", en *Journal of Applied Entomology*, 130: 442-452.
- Ragavendran, C.; Dubey, N.; Natarajan, D., 2017, "*Beauveria bassiana* (Clavicipitaceae): a potent fungal agent for controlling mosquito vectors of *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)", en *The Royal Society of Chemistry Advances*, 7: 3838-3851.
- Rajashekar, Y.; Bakthavatsalam, N.; Shivanandappa, T., 2012, "Botanicals as grain protectants", en *Psyche*, 2012: 1-13.

- Ramos López, M. A. *et al.*, 2010. "Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)", en *African Journal of Biotechnology*, 9: 1359-1365.
- Rampadarath, S.; Puchooa, D., 2016, "In vitro antimicrobial and larvicidal properties of wild *Ricinus communis* L. in Mauritius", en *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6: 100-107.
- Ravichandran, S.; Vimala, R., 2012, "Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study", en *International Journal of Science and Nature*, 3: 480-486.
- Reddy, P. N. *et al.*, 2010, "Antifungal Efficacy of Secondary Metabolites from Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana*", en *Journal of Pharmacy Research*, 3: 854-856.
- Renge, V. C.; Khedkar, S. V.; Nandurkar, N. R., 2012, "Enzyme Synthesis by Fermentation Method: A Review", en *Scientific Reviews and Chemical Communications*, 2: 585-590.
- Resquín-Romero, G.; Garrido-Jurado, I.; Quesada-Moraga, E., 2016, "Combined use of entomopathogenic fungi and their extracts for the control of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae)", en *Biological Control*, 92: 101-110.
- Sahab, A. F., 2012, "Antimicrobial efficacy of secondary metabolites of *Beauveria bassiana* against selected bacteria and phytopathogenic fungi", en *Journal of Applied Sciences Research*, 8: 1441-1444.
- Sánchez-Pérez, L. *et al.*, 2014, "Enzymes of Entomopathogenic Fungi, Advances and Insights", en *Advances in Enzyme Research*, 2: 65-76.
- Sánchez Pérez, L. *et al.*, 2016, "Assessment of *Beauveria bassiana* and their enzymatic extracts against *Metamasius spinolae* and *Cyclocephala lunulata* in Laboratory", *Advances in Enzyme Research*, 4: 98-112.
- Shivanandappa, T.; Rajashekar Y., 2014, "Mode of Action of Plant-Derived Natural Insecticides", en Singh D. (Eds.), *Advances in Plant Biopesticides* (pp. 323-345), Springer, New Delhi.
- Tiwari, P. *et al.*, 2011, "Phytochemical screening and Extraction: A Review", en *Internationale Pharmaceutica Scientia*, 1: 98-106.
- Toriello, C.; Mier, T., 2007, "Bioseguridad de Agentes de Control Biológico", en *Teoría y Aplicación del Control Biológico*, Sociedad Mexicana de Control Biológico, México, 303.
- Torija Torres, A.; Huerta-De la Peña, A.; Aragón-García, A., 2014, "Evaluación de dos extractos vegetales y el colorante phloxine-b, para la captura de la mosca del nogal de Castilla, en Puebla, México", en *Ra Ximhai*, 10: 9-22.

- Tounou, A. K. *et al.*, 2011, "Bioinsecticidal effects of plant extracts and oil emulsions of *Ricinus communis* L. (Malpighiales: Euphorbiaceae) on the diamondback, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory and semi-field conditions", en *Journal of Applied Biosciences*, 43: 2899-2914.
- Zabala, M. *et al.*, 2009. "Estrategias para incrementar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales", en *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 62:4881-4895.
- Zhang, S., Xia, Y.; Keyhani, N. O., 2011, "Contribution of the *gas1* gene of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*, encoding a putative glycosylphosphatidylinositol-anchored beta-1,3-glucanosyltransferase, to conidial thermotolerance and virulence", en *Applied and Environmental Microbiology*, 77: 2676- 2684.
- Zimmermann, G., 2007. "Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*", en *Biocontrol Science and Technology*, 17: 553-596.

