

FEROMONA SEXUAL Y HONGOS ENTOMOPATÓGENOS: UN PLUS EN SU APROVECHAMIENTO EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

SEX PHEROMONE AND ENTOMOPATHOGENIC FUNGI: A PLUS IN ITS USE IN THE INTEGRATED PEST MANAGEMENT

Oscar Giovanni Gutiérrez-Cárdenas*¹, Hipolito Cortez-Madrigal¹, Edi A. Malo², Rineaud-Nord¹

¹ Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Michoacán. Justo Sierra No. 28. C. P. 59510. Jiquilpan, Michoacán, México.

² El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Grupo de Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas. Km. 2.5, Carretera Antiguo Aeropuerto, Apartado Postal 36, Tapachula, 30700, Chiapas, México.

RESUMEN

Se analiza y discute el uso de feromonas sexuales (FrSx) de insectos y su potencial para integrarse con hongos entomopatógenos (HEP's) en el Manejo Integrado de Plagas (MIP). El paradigma en la aplicación de entomopatógenos es mediante la técnica de aspersión, no obstante señalada como la menos eficiente. Una alternativa es la técnica de autodiseminación, fundamentada en la transmisión del entomopatógeno de individuos infectados a sanos. Las FrSx se utilizan en el MIP para monitorear plagas y racionalizar las aplicaciones de insecticidas. Estas sustancias pueden integrarse con HEP's para potenciar la transmisión horizontal en insectos y propiciar epizootias en sus poblaciones. Diversos estudios documentan el potencial de la técnica de autodiseminación, y en México existen estudios pioneros en plagas urbanas y agrícolas, pero solo con el gusano cogollero se ha integrado la feromona sexual. Diversos aislamientos mexicanos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, fueron patogénicos contra adultos de *Spodoptera frugiperda* (100 %). Su corto tiempo de germinación (TG₅₀ 14.14 h) y su respuesta con baja humedad (62 %), sugieren alto potencial del uso de HEP's mediante autodiseminación integrando trampas de feromona sexual del insecto. Las experiencias mundiales y mexicanas, sugieren alto potencial del uso de las FrSx integradas con HEP's.

Palabras claves: Autodiseminación, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, semioquímicos.

ABSTRACT

In this review, we analyze and discuss the use of sex pheromones (SxPh) of insects and their potential to integrate with entomopathogenic fungi (EPF) in the Integrated Pest Management (IPM). The paradigm in the application of entomopathogens is by means of the spraying technique, however is indicated as the less efficient. An alternative is the autodissemination technique, based on the transmission of the entomopathogen from infected to healthy individuals. The SxPh are used in MIP to monitor pests and rationalize insecticide applications. These substances can be integrated with EPF to enhance horizontal transmission among insects and promote epizootics in their populations. Several studies

document the potential of the autodissemination technique, and in Mexico there are pioneering studies in urban and agricultural pests, but only with the fall armyworm has integrated the sex pheromone. Several Mexican isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* were pathogenic against adults of *Spodoptera frugiperda* (100 %). Its short germination time (TG₅₀ 14.14 h) and its response with low humidity (62 %), suggests high potential for the use of EPF through autodissemination integrating insect pheromone traps. Global and Mexican experiences, suggest high potential for the use of SxPh integrated with EPF.

Keywords: Autodissemination, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, semiochemicals.

INTRODUCCIÓN

Durante la producción de alimentos, un alto porcentaje es consumido por insectos herbívoros, algunos de ellos considerados plagas de cultivos agrícolas. El manejo ambientalmente aceptable de estos insectos, se presenta como un desafío para mantener la seguridad alimentaria (González *et al.*, 2012). Los daños ocasionados por las plagas ameritan tomar medidas de control, lamentablemente la principal estrategia ha sido mediante plaguicidas órgano-sintéticos (León-García *et al.*, 2012). Sin embargo, el uso indiscriminado e irracional de esos productos, ha generado la eliminación de enemigos naturales de plagas y el desarrollo de resistencia a insecticidas (Pimentel y Edwards, 1982; Carvalho *et al.*, 2013).

Por lo anterior, es urgente desarrollar alternativas ambientalmente sanas y sostenibles para el Manejo Integrado de Plagas (MIP). Dos estrategias con alto potencial son las feromonas sexuales (FrSx) de insectos y los hongos entomopatógenos (HEP's). Las FrSx están formadas por acetatos que median la comunicación entre insectos, y están involucradas en el apareamiento (El-Sayed *et al.*, 2006; Romero-López, 2012). La utilización de feromonas en el MIP se considera ambientalmente segura; su utilización se enfoca en la especie objetivo, y no presentan toxicidad hacia organismos (Witzgall *et al.*, 2010; Guerrero *et al.*, 2014).

A nivel mundial, las FrSx han sido utilizadas en estudios sobre manejo de plagas de cultivos agrícolas (Brocknerhoff *et al.*, 2010; Cui y Zhu, 2016). En México, las FrSx se han utilizado

*Autor para correspondencia: Oscar Giovanni Gutiérrez-Cárdenas
Correo electrónico: oggutierrez25@gmail.com

en el monitoreo de melolóntidos (Coleoptera: Scarabaeoidea: Melolonthidae) (Romero-López, 2012), picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) (Figueroa-Castro *et al.*, 2016) y *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) con buenos resultados (Malo *et al.*, 2001; 2004) y en otros insectos.

Los HEP's más utilizados en el MIP son *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) (Hypocreales: Cordycipitaceae) (Jackson *et al.*, 2010). La unidad infectiva de los HEP's son los conidios, y son los únicos entomopatógenos que penetran al hospedero a través de la cutícula (Schrank y Vainstein, 2010). Aunque se han desarrollado estudios para el control de plagas mediante HEP's, su aprovechamiento ha sido mediante la técnica de aspersión (Romero-Arenas *et al.*, 2014; Wraight y Ramos, 2015; Mora-Aguilera *et al.*, 2017). Sin embargo, esa estrategia de aplicación es una de las menos eficientes en el control de plagas (Bateman y Chapple, 2001; Avery *et al.*, 2010).

En la naturaleza, la transmisión de los HEP's ocurre de individuo a individuo, y puede ser de forma horizontal o vertical (Pell *et al.*, 2001). La transmisión intra-específica es denominada autodiseminación, y la técnica de aplicación se conoce como autodiseminación asistida (Vega *et al.*, 2007; Baverstock *et al.*, 2010). Una alternativa para el aprovechamiento de los HEP's es la técnica de autodiseminación, en donde las FrSx juegan un papel importante en la captura de los insectos (Pell *et al.*, 2001; Vega *et al.*, 2007; Baverstock *et al.*, 2010; Kabaluk *et al.*, 2015). Con base en lo anterior, en la presente revisión se analiza y discute el estatus de la autodiseminación de HEP's asociada al uso de las FrSx en el manejo de plagas de insectos, con énfasis en estudios pioneros desarrollados en México.

Las feromonas sexuales en el MIP

La comunicación química es fundamental en aspectos biológicos de los insectos, ya que participa en la modificación fisiológica o del comportamiento del insecto, detección de alimento y localización de las parejas durante la reproducción (Rojas y Malo, 2012). El identificar las sustancias que interactúan en la comunicación química de los insectos, ha cobrado interés para entender sus efectos en las relaciones intra e inter-específicas (Malo y Rojas, 2012). Una de las principales etapas de la comunicación química entre insectos, corresponde a la reproducción sexual y su investigación se ha centrado en insectos de importancia económica (Mahob *et al.*, 2011; Van-Vang *et al.*, 2013). En la comunicación sexual, se involucran emisores (generalmente hembras) mediante la producción y liberación de la feromona sexual, que tiene como objetivo ser localizada por el receptor (machos) (Romero-López, 2016).

Los avances obtenidos en el desarrollo de técnicas analíticas, han permitido identificar feromonas de insectos. Sin embargo, muchas de ellas han sido fruto de años de investigación (Witzgall *et al.*, 2010). Actualmente, las FrSx se utilizan ampliamente a nivel mundial, y el volumen anual de producción comercial se encuentra en 20 millones de señue-

los (Cui y Zhu, 2016). Las estrategias más importantes del uso de las FrSx han sido la detección y monitoreo y captura masiva; sin embargo, la atracción y aniquilación en combinación con agentes biocontroladores de insectos, se presenta como un plus en el MIP (Witzgall *et al.*, 2010; Kabaluk *et al.*, 2015).

Detección y monitoreo. La aplicación más extensa de las FrSx ha sido en la detección y monitoreo de plagas (González *et al.*, 2012). La captura de insectos en trampas cebadas con la feromona sexual, permite detectar la presencia de la plaga y controlar su población (Byers y Naranjo, 2014). Los resultados de las capturas de la trampa se utilizan para determinar los umbrales de daño y para tomar la decisión de aplicar los procedimientos de control (González *et al.*, 2012). De acuerdo con El-Sayed *et al.* (2006), la utilización de trampas con feromona sexual funciona para rastrear diversos órdenes de insectos plaga, particularmente Lepidópteros, Coleópteros y Dípteros, así como plagas exóticas en diferentes regiones del mundo (Brocknerhoff *et al.*, 2012).

La técnica de detección y monitoreo se basa en cargar la feromona sexual en pequeños recipientes de caucho (señuelos o liberadores), donde se incluyen cantidades (1.0 a 2 mg) de feromona; posteriormente, los liberadores se colocan dentro de trampas de captura de insectos (González *et al.*, 2012). La técnica se ha utilizado para el manejo del minador del tomate *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) (Witzgall *et al.*, 2010) y en plagas forestales para el manejo del taladrillo grande de los forestales *Megaplatypus mutatus* Chapuis (Coleoptera: Platypodinae) (Gonzalez-Audino *et al.*, 2013) entre otras.

En México se ha utilizado la feromona sexual para el manejo de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae). En un estudio realizado por González-Gaona *et al.* (2010), se evaluó la efectividad de la feromona sexual de hembras de *M. hirsutus* en la captura de machos en combinación con trampas Delta Biolure® colocadas en teca (*Tectona grandis* L.), árbol de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), mango ataulfo (*Mangifera indica* L.) y guanábana (*Anona muricata* L.). Los resultados mostraron altas capturas del insecto, y se demostró que la feromona sexual monitorea la presencia y distribución de la plaga. En el caso de *S. frugiperda*, en México se han realizado trabajos para monitorear la plaga en cultivo de maíz. Por ejemplo, en la Costa de Chiapas, se evaluaron diferentes compuestos y trampas, encontrándose que las trampas con las mayores capturas fueron Scentry *Heliothis*® (Scentry Inc., Buckeye, Arizona) con el señuelo comercial ChemTica® (Heredia, Costa Rica; Malo *et al.*, 2001).

En otra investigación realizada en los estados de Chiapas y Michoacán, se evaluaron cinco FrSx comerciales en la captura de *S. frugiperda* colocadas en trampas Scentry *Heliothis*® (Scentry Inc., Buckeye, Arizona) a alturas de 1.5 y 2 m sobre el suelo. Los resultados mostraron que las trampas capturaron machos de *S. frugiperda*; sin embargo, el 81.1 % de los machos fueron capturados con las trampas Scentry *Heliothis*® mientras el 18.9 % se capturó con la trampa bucket.

Con base en lo anterior, las trampas Scentry *Heliothis*® con señuelos comerciales ChemTica® y Trece® proporcionaron los mejores resultados para el manejo de *S. frugiperda*, siendo 1.5 m la mejor altura para la colocación de la trampa (Malo *et al.*, 2004).

Captura masiva. Esta estrategia de control consiste en atraer uno o ambos sexos a una trampa cebada con un señuelo, en donde el insecto es capturado en trampas diseñadas para evitar la salida de los mismos (El-Sayed *et al.*, 2006; González *et al.*, 2012). Sánchez-Husillos *et al.* (2015), utilizaron trampas con feromona sexual para el manejo del escarabajo *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Coleoptera: Cerambycidae), vector del nematodo *Bursaphelenchus xylophilus* Steiner y Buhner (Tylenchida: Aphelenchoididae), agente causal de la marchitez del pino en Europa. Para el control de este insecto, se utilizaron trampas con el atrayente Galloprotect Plus® Sociedad Española de Desarrollos Químicos, Barcelona, España. Con base en los porcentajes de captura de las trampas, se calculó el número de trampas/ha (0.82) necesarias para capturar al 95 % de la población de escarabajos, por lo que los autores llegaron a la conclusión que mediante esa técnica es posible controlar a la plaga.

En la mosca de la fruta *Bactrocera oleae* Rossi (Diptera: Tephritidae), se han realizado estudios que documentan el potencial de la captura masiva con base en la atracción causada por la feromona (Gil-Ortiz, 2015), lo que resultó en un bajo costo de control y su consiguiente factibilidad de uso. En el caso del picudo del cocotero *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae), agente causal de la enfermedad del anillo rojo (RRD por sus siglas en inglés), la aplicación de la técnica de captura masiva ha reducido significativamente la transmisión de la enfermedad hasta en un 80 % al usar densidades de trampas proporcionales a una trampa por 5 ha (Oehlschlager *et al.*, 2002).

Atracción y aniquilación. Esta técnica consiste en la utilización de una formulación semioquímica como atrayente en bajas cantidades, en combinación con insecticidas químicos o biológicos que se encuentran dentro de una trampa de gran capacidad que evita su esparcimiento (Witzgall *et al.*, 2010). Sin embargo, esta estrategia pudiera utilizarse también para la transmisión de HEP's por los mismos insectos, mediante la técnica de autodiseminación (Baverstock *et al.*, 2010). Esto es un plus en la utilización de la feromona sexual, pues mediante la técnica de aspersión, no se alcanzan las especies susceptibles que habitan en sitios difíciles (p. e. barrenadores). Además, los conidios se ven afectados por las condiciones adversas del ambiente y al aplicarse mediante aspersión, se requieren altas dosis de inóculo (Jackson *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2014).

Los hongos entomopatógenos en el MIP

En la naturaleza existen numerosos agentes biocontroladores de insectos y los más utilizados por su facilidad de incrementarse en laboratorio, son los HEP's, particularmente los órdenes Hypocreales y Entomophthorales (Jackson *et al.*, 2010; Mascarín y Jaronski, 2016). El empleo de HEP's en el

manejo de plagas a nivel mundial es mediante aspersión, no obstante es reconocida como una de las estrategias de aplicación menos eficientes en el manejo de plagas (Bateman y Chapple, 2001; Avery *et al.*, 2010); por ejemplo, se ha estimado que solo el 1 % de la aspersión cae en el insecto objetivo (Pimentel y Edwards, 1982), lo que significa que el resto del producto deriva al ambiente y a organismos no blanco como insectos polinizadores y enemigos naturales de plagas (Nicholls, 2008).

El uso actual de micoinsecticidas basado en aspersiones, imita la aplicación de insecticidas de tipo órgano-sintéticos, donde el objetivo es reducir de forma drástica la población plaga; bajo ese enfoque, una alta virulencia de las cepas utilizadas es el principal criterio para la caracterización de aislamientos de hongos (Jackson *et al.*, 2010; Mascarín y Jaronski, 2016). Sin embargo, el verdadero objetivo de la aplicación de entomopatógenos es ocasionar epizootias en la población plaga. Para que esto ocurra, deben desarrollarse estudios ecológico/epidemiológicos que documenten los principales factores bióticos y abióticos que favorecen o desfavorecen el desarrollo de los entomopatógenos. La falta de este tipo de estudios ha causado fallas en el empleo de entomopatógenos (Mora-Aguilera *et al.*, 2017).

Se sabe que los HEP's son fuertemente influenciados por factores del ambiente; entre otros, humedad, temperatura y radiación uv (Inglis *et al.*, 2001; Mascarín y Jaronski, 2016). Al respecto, Ekesi *et al.* (2000) registraron conidios viables sobre el follaje de plantas solo durante tres a cuatro días después de su aplicación; por ello, recomiendan realizar aplicaciones repetitivas de hongos entomopatógenos, lo que significa un mayor requerimiento de inóculo y altos costos. Las recomendaciones generales para las aspersiones de HEP's son realizarlas cuando existan poblaciones suficientes de insectos para ser impactados por la aspersión, lo que aunado a la lenta acción de estos entomopatógenos, pudiera ser la causa de los frecuentes fracasos en el control microbiano de insectos (Mora-Aguilera *et al.*, 2017).

Una alternativa a la técnica de aspersión es la estrategia denominada autodiseminación, y consiste en manipular el comportamiento de los insectos plaga mediante semioquímicos para estimular la propagación de entomopatógenos a sus congéneres susceptibles, de una manera más eficiente de lo que normalmente se propagarían (Baverstock *et al.*, 2010). Este método es específico, reduce la cantidad de inóculo del entomopatógeno y lo protege de factores adversos mientras está dentro del dispositivo (Pell *et al.*, 1993).

Técnica de autodiseminación de HEP's

La autodiseminación de entomopatógenos no es una idea nueva; se basa en conocimientos epidemiológicos/ecológicos que documentan que, una de las principales formas en que los entomopatógenos se dispersan en la naturaleza, es de individuo a individuo, transmisión vertical y horizontal. Diversos estudios han sido documentados a nivel mundial (Lopes *et al.*, 2014; Mfuti *et al.*, 2015; Kabaluk *et al.*, 2015; Tinzara *et al.*, 2015; Getahun *et al.*, 2016; Dembilio *et al.*, 2018).

La técnica de autodiseminación basada en la combinación de las FrSx-HEP's, puede mejorar la dispersión del entomopatógeno, siendo este un factor clave en la capacidad de los agentes biocontroladores para desarrollar epizootias (Roy y Pell, 2000). Diversos estudios a nivel mundial han documentado el empleo de HEP's más las FrSx de insectos (Tabla 1).

Se ha documentado que los adultos de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), pueden dispersar esporas del hongo *Zoopthora radicans* A. Batko (Entomophthorales: Entomophthoraceae) hasta 5 m de distancia de la trampa cebada con la feromona más el hongo (Pell *et al.*, 1993). Por su parte, Dowd y Vega (2003), demostraron que conidios del aislado AF-4 de *B. bassiana* colocados en un dispositivo de autodiseminación, lograron dispersarse a través del insecto *Carpophilus lugubris* Murray (Coleoptera: Nitidulidae) hasta 300 m de distancia del lugar donde se colocaron las trampas. Para el manejo del picudo del plátano *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae), se diseñó un dispositivo para autodiseminación del hongo *B. bassiana*. Insectos micosados fueron recapturados a 6 y 9 m de la trampa con el hongo (Tinzaara *et al.*, 2015).

Estudios con la feromona sexual de *Agriotes obscurus* L. (Coleoptera: Elateridae) junto con conidios del hongo *M. brunneum*, registraron después de 10 días una mortalidad del 100 % (Kabaluk *et al.*, 2015). En otro estudio se utilizó un aislamiento altamente virulento de *B. bassiana* obtenido de cadáveres esporulados de *C. sordidus* en asociación con la feromona Cosmolure (Heredia°, Costa Rica), para su aplicación mediante pellets. Así fue posible la atracción y contaminación de machos y hembras de *C. sordidus*, con mortalidades del 71-96 %, 18 días después de la inoculación (Lopes *et al.*, 2014).

En México, los estudios sobre autodiseminación de entomopatógenos son básicos, particularmente enfocados a plagas de importancia médica-veterinaria (García-Munguía *et al.*, 2015). Por ejemplo, conidios de los hongos *M. anisopliae* (Reyes-Villanueva *et al.*, 2011) y *B. bassiana* (García-Munguía

et al., 2011), fueron eficientemente transferidos de machos infectados de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) a hembras sanas durante la cópula. De igual manera, los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae*, mostraron alta patogenicidad hacia larvas y adultos de *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae; García-Munguía *et al.*, 2015). Aunque en estos estudios no se utilizaron FrSx, se sabe que al menos para la mosca doméstica existen productos comerciales, por lo que su empleo pudiera potenciar el uso de HEP's mediante autodiseminación.

La paratrioza de las solanáceas *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae), causa daños severos por ser vector de la enfermedad denominada "punta morada" de la papa; y "zebra chip", cuyo agente causal es *Candidatus Liberibacter solanacearum* (=psyllaurous) (Munyaneza *et al.*, 2007). En México, estudios de laboratorio documentaron alta capacidad de los machos de *B. cockerelli* para transferir *B. bassiana* hacia hembras sanas de la plaga. Se estimó que un macho pudo diseminar el hongo a 10 hembras sanas en 10 días. El corto tiempo de germinación (12.7 h) de la cepa estuvo asociado con su virulencia aun a bajas humedades relativas (63 %; Suárez-Núñez *et al.*, 2017).

Otra plaga agrícola de gran importancia es el gusano cogollero del maíz *S. frugiperda*. La evaluación de diversos aislamientos mexicanos de *B. bassiana* (cuatro) y *M. anisopliae* (seis) contra adultos de *S. frugiperda*, demostró alta patogenicidad hacia adultos del insecto, con mortalidades que fluctuaron del 33.33 % al 100 % cuatro días después de la inoculación de los dos hongos. Las diferencias en el tiempo en que germinó el 50 % de los conidios (TG₅₀ 20.33-14.14 h), y la respuesta a bajas humedades (62 %) en los diferentes aislamientos, sugieren que estos HEP's tienen potencial para el control de la palomilla del gusano cogollero (Gutiérrez-Cárdenas *et al.*, 2017). Los resultados del diseño y evaluación de un dispositivo elaborado *ex professo*, mostraron que los machos de *S. frugiperda* al ser atraídos por la feromona, fueron infectados y muertos por el entomopatógeno cinco a ocho días después del ingreso al dispositivo (Gutiérrez-Cárdenas *et al.*, 2017).

Tabla 1. Especies plaga y hongos entomopatógenos en los que se ha evaluado la técnica de autodiseminación mediante feromonas sexuales.
Table 1. Plague species and entomopathogenic fungi in which the technique of autodissemination by sex pheromone has been evaluated.

Cultivo	Plaga	Hongo entomopatógeno	Localidad	Cita
Palma canaria	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> Olivier (Coleoptera: Curculionidae)	<i>B. bassiana</i>	Valencia, España	Dembilio <i>et al.</i> , 2018
Sorgo	<i>Pachnoda interrupta</i> Oliver (Coleoptera: Scarabaeidae)	<i>Metarhizium</i> sp.	Addis Ababa, Etiopía	Getahun <i>et al.</i> , 2016
Pasto azul de Kentucky y Festuca roja	<i>Agriotes obscurus</i> L. (Coleoptera: Elateridae)	<i>M. brunneum</i>	Columbia Británica, Canadá	Kabaluk <i>et al.</i> , 2015
Plátano rojo	<i>Cosmopolites sordidus</i> Germar (Coleoptera: Curculionidae)	<i>B. bassiana</i>	Kampala, Uganda	Tinzaara <i>et al.</i> , 2015
Caupí	<i>Megalurothrips sjostedti</i> Trybom (Thysanoptera: Thripidae)	<i>M. brunneum</i> y <i>M. anisopliae</i>	Wageningen, Holanda	Mfuti <i>et al.</i> , 2015
Plátano rojo	<i>Cosmopolites sordidus</i> Germar (Coleoptera: Curculionidae)	<i>B. bassiana</i>	Ceara, Brazil	Lopes <i>et al.</i> , 2014
Brócoli	<i>Plutella xylostella</i> L. (Lepidoptera: Plutellidae)	<i>Z. radicans</i>	Gatton, Australia	Vickers <i>et al.</i> , 2004

Por otra parte, se ha documentado que los HEP's requieren de una alta humedad relativa (> 90 %) para esporular (Inglis *et al.*, 2001), lo que pudiera aparentar una desventaja para el uso de la técnica de autodiseminación. Sin embargo, la germinación de conidios, infección y muerte del hospedero, pueden ocurrir con menores niveles de humedad (39-97.5 %), como se ha documentado en algunos estudios (Doberski, 1981; Arrubla *et al.*, 2010; Gutiérrez-Cárdenas *et al.*, 2017; Suárez-Núñez *et al.*, 2017). También los HEP's son clasificados como entomopatógenos de acción lenta, característica mencionada como una desventaja (Athanasios *et al.*, 2017); de igual manera, la inactivación por factores ambientales (p. e. luz ultravioleta, desecación, temperaturas extremas, etc) y por lo tanto; corta o nula persistencia bajo condiciones de campo (Ekesi *et al.*, 2000) pudiera considerarse otra desventaja.

Quizás otra desventaja de la técnica de autodiseminación sería el hecho de que algunos insectos pueden obtener ventajas evolutivas sobre los HEP's, lo que les permite detectar el riesgo de infección por parte de estos agentes biocontroladores; algunos insectos evitan acercarse a los conidios, y con ello, reducen la eficiencia de los HEP's (Baverstock *et al.*, 2010). Lo anterior ha sido documentado para insectos de los ordenes Isoptera y Orthoptera (Thompson y Brandenburg, 2005; Cheraghi *et al.*, 2012). Finalmente, se encuentran los riesgos de rechazo por parte de los usuarios acostumbrados a las estrategias tradicionales de aplicación de plaguicidas (Kaya y Lacey, 2007).

CONCLUSIONES

La técnica de autodiseminación ha sido evaluada en diferentes regiones del mundo con variados niveles de éxito. Por ello, se propone que la autodiseminación de HEP's debe considerarse como una importante herramienta del MIP. Las ventajas de la técnica son una mayor economía y racionalidad ecológica en el uso de entomopatógenos, por lo que su empleo pudiera ser más eficiente que la convencional técnica de aspersión.

REFERENCIAS

Arrubla, M., Paula, F., Cárdenas, R., Posada, F., Francisco, J. 2010. Efecto de la humedad relativa sobre la germinación de las esporas de *Beauveria bassiana* y la patogenicidad a la broca del café *Hypothenemus hampei*. Revista U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica. 13: 67-76.

Athanasios, C.G., Rumbos, C.I., Sakka, M., Potin, O., Storm, C. y Dillon, A.B. 2017. Delivering *Beauveria bassiana* with electrostatic powder for the control of stored-product beetles. Pest Management Science. 73: 1725-1736.

Avery, P.B., Queeley, G.L., Faull, J. y Simmonds, M.S.J. 2010. Effect of photoperiod and host distribution on the horizontal transmission of *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) in greenhouse whitefly assessed using a novel model bioassay. Biocontrol Science and Technology. 20: 1097-1111.

Bateman, R. y Chapple, A. 2001. The spray application of mycopesticide formulations. En: Fungi as biocontrol agents

progress, problems and potential. Butt, T.M., Jackson, W. y Magan, N. (ed.), pp 289-309. CABI Publishing, London, UK.

Baverstock, J., Roy, H.E. y Pell, J.K. 2010. Entomopathogenic fungi and insect behaviour: from unsuspecting hosts to targeted vectors. En: The ecology of fungal entomopathogens. Roy, H.E., Vega, F.E., Chandler, D., Goettel, M.S., Pell, J.K. y Wajnberg, E. (ed.), pp 89-103. Springer, Dordrecht, Netherlands.

Brockhoff, E.G., Liebhold, A.M., Richardson, B. y Suckling, D.M. 2010. Eradication of invasive forest insects: concepts, methods, costs and benefits. New Zealand Journal of Forestry Science. 40: 117-135.

Brockhoff, E.G., Suckling, D.M., Kimberley, M., Richardson, B., Coker, G., Gous, S., Kerr, L.J., Cowan, M.D., Lance, R.D., Strand, T. y Zhang, A. 2012. Aerial application of pheromones for mating disruption of an invasive moth as a potential eradication tool. Plos One. 7: 1-8.

Byers, J.A. y Naranjo, S.E. 2014. Detection and monitoring of pink bollworm moths and invasive insects using pheromone traps and encounter rate models. Journal of Applied Ecology. 51: 1041-1049.

Carvalho, R.A., Omoto, C., Field, L.M., Williamson, M.S. y Bass, C. 2013. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. Plos One. 8: 1-11.

Cheraghi, A., Habibpour, B., Mossadegh, M.S. y Shariffard, M. 2012. Horizontal transmission of the entomopathogen fungus *Metarhizium anisopliae* in *Microceroterme diversus* groups. Insects. 3: 709-718.

Cui, G.Z. y Zhu, J.J. 2016. Pheromone-based pest management in China: past, present, and future prospects. Journal of Chemical Ecology. 42: 557-570.

Dembilio, Ó., Moya, P., Vacas, S., Ortega-García, L., Quesada-Moraga, E., Jaques, A.J. y Navarro-Llopis, V. 2018. Development of an attract-and-infect system to control *Rhynchophorus ferrugineus* with the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Pest Management Science. Doi: 10.1002/ps.4888.

Doberski, J.W. 1981. Comparative laboratory studies on three fungal pathogens of the elm bark beetle *Scolytus scolytus*: effect of temperature and humidity on infection by *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Paecilomyces farinosus*. Journal of Invertebrate Pathology. 37: 195-200.

Dowd, P.F. y Vega, F.E. 2003. Autodissemination of *Beauveria bassiana* by sap beetles (Coleoptera: Nitidulidae) to overwintering sites. Biocontrol Science and Technology. 13: 65-75.

Ekesi, S., Maniania, N.K. y Lwande, W. 2000. Susceptibility of the legume flower thrips to *Metarhizium anisopliae* on different varieties of cowpea. BioControl. 45: 79-95.

El-Sayed, A.M., Suckling, D.M., Wearing, C.H. y Byers, J.A. 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. Journal of Economic Entomology. 99: 1550-1564.

Figuroa-Castro, P., Rodríguez-Rebollar, H., González-Hernández, H., Solís-Aguilar, J.F., del Real-Laborde, J.I., Carrillo-Sánchez, J.L. y Rojas, J.C. 2016. Attraction range and inter-trap distance of pheromonebaited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. Florida Entomologist. 99: 94-99.

García-Munguía, A.M., Garza-Hernández, J.A., Rebollar-Téllez, E.A., Rodríguez-Pérez, M. A. y Reyes-Villanueva, F. 2011.

- Transmission of *Beauveria bassiana* from male to female *Aedes aegypti* mosquitoes. *Parasites & Vectors*. 4: 1-6.
- García-Munguía, C.A., Reyes-Villanueva, F., Rodríguez-Pérez, M.A., Cortez-Madrugal, H., Acosta-Ramos, M., Ibarra-Juárez, L.A., Velázquez-Machuca, M.A., Silva-García, J.T., Rebollar-Plata, M. y García-Munguía, A.M. 2015. Autodissemination of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in *Musca domestica* L. results in less oviposition and short gonotrophic cycle. *Southwestern Entomologist*. 40: 519-529.
- Getahun, M.N., Biasazin, T.D., Wolde-Hawariat, Y., Bengtsson, J.M., Hillbur, Y. y Seyoum, E. 2016. *Metarhizium* sp. isolated from dead *Pachnoda interrupta* (Coleoptera: Scarabaeidae) as a potential entomopathogenic fungus for the pest insect: proof-of-concept for autodissemination. *International Journal of Tropical Insect Science*. 36: 1-9.
- Gil-Ortiz, R. 2015. Development of new ecological long-lasting dispensers of semiochemicals for the control of *Bactrocera oleae* (Rossi). *Pest Management Science*. 71: 1685-1693.
- González, A., Altesor, P., Sellanes, C. y Rossini, C. 2012. Aplicación de feromonas sexuales en el manejo de lepidópteros plaga de cultivos agrícolas. En: *Temas selectos en ecología química de insectos*. Rojas J.C. y Malo, E.A. (ed.), pp. 343-360. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chiapas, México.
- Gonzalez-Audino, P., Griffio, R., Gatti, P., Allegro, G. y Zerba, E. 2013. Pheromone detection of the introduced forest pest *Megaplatus mutatus* (= *Platypus mutatus*) (Chapuis) (Platypodinae: Curculionidae) in Italy. *Agroforestry Systems*. 87: 109-115.
- González-Gaona, E., Sánchez-Martínez, G., Zhang, A., Lozano-Gutiérrez, J. y Carmona-Sosa, F. 2010. Validación de dos compuestos feromonales para el monitoreo de la cochinilla rosada del hibisco en México. *Agrociencia*. 44: 65-73.
- Guerrero, A., Malo, E.A., Coll, J. y Quero, C. 2014. Semiochemical and natural product-based approaches to control *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Pest Science*. 87: 231-247.
- Gutiérrez-Cárdenas, O.G., Cortez-Madrugal, H. y Malo, E.A. 2017. Integración de hongos entomopatógenos-feromona sexual para el manejo de adultos de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae). MSc disertación. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, México.
- Inglis, G.D., Goettel, M.S., Butt, T.M. y Strasser, H. 2001. Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. En: *Fungi as biocontrol agents progress, problems and potential*. Butt, T.M., Jackson, W. y Magan, N. (ed.), pp 23-71. CABI Publishing, London, UK.
- Jackson, M.A., Dunlap, C.A. y Jaronski, S.T. 2010. Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. *BioControl*. 55: 129-145.
- Kabaluk, J.T., Lafontaine, J.P. y Borden, J.H. 2015. An attract and kill tactic for click beetles based on *Metarhizium brunneum* and a new formulation of sex pheromone. *Journal of Pest Science*. 88: 707-716.
- Kaya, H.K. y Lacey, L.A. 2007. Introduction to microbial control. En: *Field manual of techniques in invertebrate pathology*, second edition. Lacey, L.A. y Kaya, H.K. (ed.), pp 3-9. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L.D. y Solís-Aguilar, J.F. 2012. Susceptibilidad de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a insecticidas asociada a césped en Quintana Roo, México. *Agrociencia*. 46: 279-287.
- Lopes, R.B., Laumann, R.A., Moore, D., Oliveira, M.W. y Faria, M. 2014. Combination of the fungus *Beauveria bassiana* and pheromone in an attract-and-kill strategy against the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 151: 75-85.
- Mahob, R.J., Babin, R., ten Hoopen, G.M., Dibog, L., Hall, D.R. y Bilong, C.F. 2011. Field evaluation of synthetic sex pheromone traps for the cocoa mirid *Sahlbergella singularis* (Hemiptera: Miridae). *Pest Management Science*. 67: 672-676.
- Malo, E.A. y Rojas, J.C. 2012. Métodos de investigación en semioquímicos. En: *Temas selectos en ecología química de insectos*. Rojas, J.C. y Malo, E.A. (ed.), pp 17-41. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chiapas, México.
- Malo, E.A., Bahena, F., Miranda, M.A. y Valle-Mora, J. 2004. Factors affecting the trapping of males of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) with pheromones in México. *Florida Entomologist*. 87: 288-293.
- Malo, E.A., Cruz-López, L., Valle-Mora, J., Virgen, A., Sánchez, J.A. y Rojas, J.C. 2001. Evaluation of commercial pheromone lures and traps for monitoring male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the coastal region of Chiapas, México. *Florida Entomologist*. 84: 659-664.
- Mascarin, G.M. y Jaronski, S.T. 2016. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 32: 1-26.
- Mfuti, D.K., Subramanian, S., van Tol, R.W., Wieggers, G.L., de Kogel, W.J., Niassy, S., du Plessis, H., Ekesi, S. y Maniania, N.K. 2015. Spatial separation of semiochemical lurem-TR and entomopathogenic fungi to enhance their compatibility and infectivity in an autoinoculation system for thrips management. *Pest Management Science*. 72: 131-139.
- Mora-Aguilera, G., Cortez-Madrugal, H. y Acevedo-Sánchez, G. 2017. Epidemiology of entomopathogens: Basis for rational use of microbial control of insects. *Southwestern Entomologist*. 42: 153-169.
- Munyanza, J.E., Crosslin, J.M. y Upton, J.E. 2007. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "zebra chip," a new potato disease in southwestern United States and Mexico. *Journal of Economic Entomology*. 100: 656-663.
- Nicholls, C. I. 2008. Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. 1ra edición. Editado por la Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Oehlschlager, A.C., Chinchilla, C., Castillo, G. y Gonzalez, L. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*. 85: 507-513.
- Pell, J.K., Eilenberg, J., Hajek, A.E. y Steinkraus, D.C. 2001. Biology, ecology and pest management potential of Entomophthorales. En: *Fungi as biocontrol agents progress, problems and potential*. Butt, T.M., Jackson, W. y Magan, N. (ed.), pp 71-155. CABI Publishing, London, UK.
- Pell, J.K., Macaulay, E.D.M. y Wilding, N. 1993. A pheromone trap for dispersal of the pathogen *Zoopthora radicans* Brefeld. (Zygomycetes: Entomophthorales) amongst populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Biocontrol Science and Technology*. 3: 315-320.

- Pimentel, D. y Edwards, C.A. 1982. Pesticides and ecosystems. *BioScience*. 32: 595-600.
- Reyes-Villanueva, F., Garza-Hernández, J.A., García-Munguía, A.M., Tamez-Guerra, P., Howard, A.F. y Rodríguez-Pérez, M.A. 2011. Dissemination of *Metarhizium anisopliae* of low and high virulence by mating behavior in *Aedes aegypti*. *Parasites & Vectors*. 4: 1-7.
- Rojas, J.C. y Malo, E.A. 2012. Temas selectos en ecología química de insectos. 1ª edición. Editado por el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Tapachula, Chiapas, México.
- Romero-Arenas, O., Rivera, A., Aragon, A., Parraguirre, C., Cabrera, E. y López, F. 2014. Mortality evaluation of armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) by using *Metarhizium anisopliae* *in vitro*. *Journal of Pure & Applied Microbiology*. 8: 59-67.
- Romero-López, A.A. 2012. Uso de feromonas sexuales para el conocimiento y manejo de los "Ensamblajes de gallina ciega" en México. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*. 37: 559-564.
- Romero-López, A.A. 2016. Comunicación química de coleópteros Melolonthidae distribuidos en México: a una década de distancia. *Dugesiana*. 23: 59-73.
- Roy, H.E. y Pell, J.K. 2000. Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology*. 10: 737-752.
- Sánchez-Husillos, E., Etxebeste, I. y Pajares, J. 2015. Effectiveness of mass trapping in the reduction of *Monochamus galloprovincialis* Olivier (Col.: Cerambycidae) populations. *Journal of Applied Entomology*. 139: 747-758.
- Schrank, A. y Vainstein, M.H. 2010. *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. *Toxicon*. 56: 1267-1274.
- Suárez-Núñez, J., Cortez-Madrigal, H. y García-Munguía, A.M. 2017. Epidemiology of *Beauveria bassiana* in controlled populations of *Bactericera cockerelli*. *Southwestern Entomologist*. 42: 1041-1056.
- Thompson, S.R. y Brandenburg, R.L. 2005. Tunneling responses of mole crickets (Orthoptera: Gryllotalpidae) to the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Environmental Entomology*. 34: 140-147.
- Tinzaara, W., Emudong, P., Nankinga, C., Tushemereirwe, W., Kagezi, G., Gold, C. S., Dike, M., Van Huis, A. y Karamura, E. 2015. Enhancing dissemination of *Beauveria bassiana* with host plant base incision trap for the management of the banana weevil *Cosmopolites sordidus*. *African Journal of Agricultural Research*. 10: 3878-3884.
- Van-Vang, L., Thuy, H.N., Khanh, C.N.Q., Son, P.K., Yan, Q., Yamamoto, M., Jinbo, U. y Ando, T. 2013. Sex pheromones of three citrus leafrollers, *Archips atrolucens*, *Adoxophyes privatana*, and *Homona* sp., inhabiting the mekong delta of Vietnam. *Journal of Chemical Ecology*. 39: 783-789.
- Vega, F.E., Dowd, P.E., Lacey, L.A., Pell, J.K., Jackson, D.M. y Klein, M.G. 2007. Dissemination of beneficial microbial agents by insects. En: *Field manual of techniques in invertebrate pathology* (2nd ed.). Lacey, L.A. y Kaya, H.K. (ed.), pp. 127-148. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Vickers, R.A., Furlong, M.J., White, A. y Pell, J.K. 2004. Initiation of fungal epizootics in diamondback moth populations within a large field cage: proof of concept for auto-dissemination. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 111: 7-17.
- Witzgall, P., Kirsch, P. y Cork, A. 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*. 36: 80-100.
- Wright, S.P. y Ramos, M.E. 2015. Delayed efficacy of *Beauveria bassiana* foliar spray applications against Colorado potato beetle: impacts of number and timing of applications on larval and next-generation adult populations. *Biological Control*. 83: 51-67.