
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**Modo de acción de *Isaria fomosorosea*
como micoinsecticida sobre plagas
de importancia económica**

QUE PRESENTA LA ALUMNA

Mariana Nava Trejo

Matrícula

2173028845

ASESORA:

Dra. María Judith Castellanos Moguel

Laboratorio de Micología



México, D.F. Agosto, 2022

ÍNDICE

1	Resumen	1
2	Introducción	2
3	Revisión de literatura.....	2
3.1	Factores que tienen influencia en el desarrollo del hongo	2
3.2	Clasificación taxonómica	4
3.3	Características de <i>Isaria fumosorosea</i>	4
3.4	Micoinsecticidas.....	5
3.5	Modo de acción	6
3.6	Espectro de acción	7
4	Justificación.....	7
5	Objetivos	8
6	Metodología.....	9
7	Resultados y Discusión.....	9
8	Conclusiones	15
9	Literatura citada	17

1 RESUMEN

Se realizó una revisión bibliográfica en alrededor de 26 fuentes de información relacionadas con el estudio del hongo entomopatógeno *Isaria fumosorosea* como control microbiológico, identificando sus características, factores que tienen influencia sobre el desarrollo del hongo, modo y espectro de acción y su importancia como micoinsecticida, con el objetivo de analizar su uso sobre plagas de importancia económica en México, además de fomentar la divulgación científica para su uso como Agente de Control Biológico de Plagas; así como contribuir al desarrollo de nuevas investigaciones, generar y fomentar la elaboración de documentos de divulgación científica relacionado con *I. fumosorosea* como control de plagas de importancia económica.

Los hongos entomopatógenos son importantes agentes en el control natural de insectos, pueden ser utilizados combinados con plaguicidas en el manejo integrado de plagas. *I. fumosorosea* ha sido reportado infectando alrededor de 41 especies de insectos de ocho órdenes, siendo plagas de importancia económica. Algunas especies de mosca blanca adquieren la capacidad de desarrollar resistencia a diferentes insecticidas sintéticos, además, se hospedan en diferentes especies de plantas cultivadas y malezas, es por ello que la presente investigación tiene enfoque en *Bemisia tabaci*.

Entre los factores abióticos medioambientales que afectan la germinación, el crecimiento vegetativo, la viabilidad y persistencia en el campo de *I. fumosorosea*, están los rayos ultravioleta, la temperatura, la humedad relativa y los fungicidas, estos últimos son los que afectan en mayor magnitud (Vidal y Fargues, 2007).

Resulta de gran importancia conocer el modo de acción de *I. fumosorosea* para proponer programas de manejo integrado de plagas sin utilización de sustancias químicas, como plaguicidas, y promover el cuidado del ambiente con la implementación de componentes de agricultura orgánica.

Los bioinsecticidas son una alternativa viable para ser utilizados dentro de los esquemas de control biológico de plagas en los principales cultivos agrícolas. Su uso permite mantener la productividad del campo sin contaminarlo y sin poner en riesgo la salud de la población que entra en contacto directo o indirecto con estos insumos.

2 INTRODUCCIÓN

Los hongos entomopatógenos son importantes agentes en el control natural de insectos, que pueden ser utilizados combinados con fungicidas en el manejo integrado de plagas (D'Alessandro et al., 2011). Se conocen más de 20 especies de hongos entomopatógenos capaces de infectar a la mosquita blanca *Bemisia tabaci*, especie de enfoque en la presente investigación. Durante los últimos años se ha incrementado el interés en el hongo *Isaria fumosorosea*, porque ha mostrado gran potencial como agente microbiano para el control de insectos plaga pertenecientes a diferentes Órdenes, además de que ha sido inocuo contra organismos benéficos y, especialmente, por el interés en utilizarlo para el control de mosquita blanca (Zimmermann, 2008). La mosquita blanca *B. tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) es una plaga distribuida mundialmente y de gran importancia debido a los daños que causa al alimentarse del tejido vegetal y a la transmisión de virus fitopatógenos que ocasiona en los más de 600 cultivos que son sus hospederos (De Barro et al., 2011; Hong y Jeong, 2011).

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 FACTORES QUE TIENEN INFLUENCIA EN EL DESARROLLO DEL HONGO

Para que la manifestación epizootica de los hongos entomopatógenos tenga lugar, los factores bióticos y abióticos tienen una gran influencia. Entre los factores abióticos medioambientales que afectan la germinación, el crecimiento vegetativo, la viabilidad y

persistencia en el campo de *I. fumosorosea*, están los rayos ultravioleta, la temperatura, la humedad relativa y los fungicidas, estos últimos son los que afectan en mayor magnitud (Vidal y Fargues, 2007).

Se ha reportado que la temperatura óptima para el crecimiento de *I. fumosorosea* es entre los 20 y 30°C (Vidal et al., 1997); sin embargo, se le ha identificado como una especie compleja en el sentido de que existen aislados que pueden crecer entre los 5 y 35°C (Zimmermann, 2008). Condiciones de alta humedad (>85%) han sido reportadas como necesarias para que *I. fumosorosea* infecte a la mosquita blanca (Landa et al., 1994). Se ha señalado que una vez que las hifas penetran la cutícula desde el interior del insecto al final del ciclo de infección y emergen a la superficie se inicia la formación de esporas cuando la humedad relativa es alta (Pucheta et al., 2006).

Con relación a estos factores abióticos, se han encontrado resultados contrastantes en estudios de la virulencia de los hongos bajo diferentes condiciones ambientales, entre ellas la humedad. Se ha mencionado que el éxito logrado en el control de mosquita blanca mediante la aplicación de hongos entomopatógenos puede no alcanzarse cuando las condiciones climáticas no son favorables (Wraight et al., 2000). Por ello, resulta necesario investigar el comportamiento de los hongos utilizando diferentes protocolos de investigación y en diferentes condiciones ambientales.

El hongo *I. fumosorosea* es patógeno contra las ninfas, huevos y pupas de *B. tabaci*, ocasionando la formación de esporas sobre la superficie de los insectos. El estado adulto de mosquita blanca es menos susceptible al efecto micoinsecticida del hongo, ya que en los adultos la efectividad del hongo es menor cuando es comparada con la patogenicidad hacia los estadios ninfales.

La susceptibilidad y la relación con los hospederos dependen de los nutrimentos presentes en los insectos, que son el medio para la propagación, dispersión y persistencia de los hongos. Las esporas de los entomopatógenos tienen requerimientos específicos de agua y temperatura, así como de otros factores ambientales que en conjunto funcionan como inductores para la activación de receptores presentes en el patógeno y que les permiten llevar a cabo el proceso infectivo sobre el hospedero (Hajek, 1997).

Gams et al., (2005) propusieron el nombre *Isaria*. Este microorganismo es capaz de infectar a una gran variedad de insectos (Smith,1993).

3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino- Fungi

División- Ascomycota

Clase- Sordariomycetes

Subclase- Hypocreomycetidae

Orden- Hypocreales

Familia- Cordycipitaceae

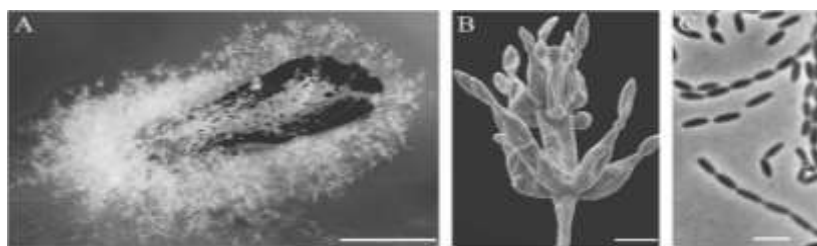
Género- *Isaria*

Especie- *I. fumosorosea*

(Según Inglis y Tigano (2006).

De acuerdo con la revisión a la filogenia y nomenclatura propuesta por Kepler et al., (2017) para la familia Cordycipitaceae, *I. fumosorosea* fue reubicado perteneciendo ahora al género *Cordyceps* y la especie continúa como *fumosorosea* (Wize) Kepler, B. Shrestha & Spatafora.

Para fines del trabajo de revisión, se continuará utilizando el nombre de *Isaria fumosorosea* ya que es con el que se tiene el mayor registro de publicaciones en los últimos años.



3.3 CARACTERÍSTICAS DE ISARIA FUMOSOROSEA

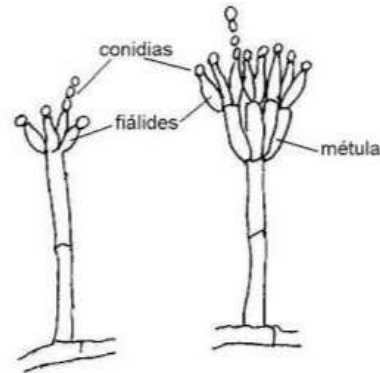
El género *Isaria* presenta hifas hialinas a amarillosas, septadas, de paredes delgadas. La mayoría presenta ramificaciones verticiladas o irregulares, llevan en la parte terminal de cada rama, grupos de fiálides, que también pueden ser solitarias.

Las fiálides constan de una porción basal cilíndrica o hinchada, adelgazándose abruptamente a menudo para formar un cuello muy notorio. Los conidióforos llevan cadenas de conidios; estas son hialinas, unicelulares y de forma ovoide (Bustillo, 2001).

Conidióforo

Constituido por:

- ★ Célula pie
- ★ Vesícula
- ★ Fiálide (células coniógenas)
- ★ Fialoconidias



3.4 MICOINSECTICIDAS

Los micoinsecticidas (productos formulados con hongos entomopatógenos) constituyen una pequeña fracción de los bioplaguicidas. El incremento en el costo de producción de los plaguicidas químicos, la resistencia desarrollada por las plagas y la presión que existe por reducir la contaminación en el ambiente han asegurado el creciente interés en estrategias alternativas para el manejo de plagas incluyendo a los hongos entomopatógenos (Butt et al., 2001).

Existen más de 700 especies en 100 géneros en el mundo, pero pocos son estudiados intensivamente. Este tipo de microorganismos se encuentran asociados con insectos que viven en diversos hábitats, como el agua, suelo y partes aéreas; por su forma característica de infección, son los microorganismos más importantes que infectan insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, escamas, chicharritas y chinches (Alatorre, 2007).

Los bioinsecticidas son una alternativa viable para ser utilizados dentro de los esquemas de control biológico de plagas en los principales cultivos agrícolas. Su uso permite mantener la productividad del campo sin contaminarlo y sin poner en riesgo la salud de la población que entra en contacto directo o en forma indirecta con estos insumos. Sin embargo, es necesario realizar estudios de impacto ambiental del lugar donde se utilicen, ya que si el agente biológico que se está utilizando no es originario de la región donde se esté aplicando, se corre el riesgo de la introducción de nuevas cepas u organismos que pueden en algunos

casos, traer consigo un desplazamiento de las especies que ya están establecidas. Por otro lado, estos productos han demostrado que al ser utilizados en forma adecuada favorecen la práctica de una agricultura sustentable con menos empleo de insecticidas químicos.

3.5 MODO DE ACCIÓN

La espora del hongo, al ponerse en contacto con el insecto plaga, se le adhiere a la cutícula, penetrando directamente después de la germinación de la conidia, durante esta fase se forma el tubo germinativo y puede penetrar la cutícula o por medio de un apresorio y producción de enzimas como proteasas, lipasas y quitinasas. Al desarrollarse el hongo, libera toxinas contra el insecto, que provocan su muerte. *I. fumosorosea*, se adhiere al dorso del insecto, el tubo germinal penetra y la hifa está presente en el hemocele del insecto 24 horas después (CB-06, 1999; Agrobionsa, 1995; ECONOVA, 1998).

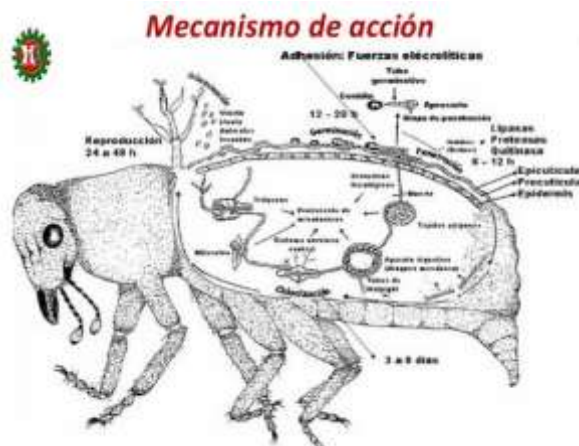
El hongo invade la hemolinfa, por lo que la muerte del insecto se debe a una combinación de daños mecánicos producidos por el crecimiento del hongo desnutrición y por la acción de los metabolitos secundarios o toxinas que el hongo produce (Kang et al., 1999). Durante el proceso de invasión, se producen cuerpos hifales y protoplastos que carecen de una pared celular, por lo que no son detectados por los hemocitos del insecto, lo que provoca que el hongo se disperse en el insecto para adquirir nutrientes, ocasionándole la muerte (Pell et al., 2001). Para seleccionar o aislar una raza se debe tomar en cuenta la susceptibilidad del insecto y el estado de desarrollo del huésped. La patogenicidad de un organismo es un término cualitativo y se refiere a la calidad o capacidad potencial de producir una enfermedad en otro organismo (Shapiro et al., 2005; García-Gutiérrez et al, 2006; Rodríguez



A) Mosquita blanca sana



B) Mosquita blanca infectada por hongo



3.6 ESPECTRO DE ACCIÓN

Este hongo entomopatógeno ha sido reportado infectando 41 especies de insectos de ocho órdenes, siendo plagas de importancia económica. *Isaria fumosorosea* es un patógeno de amplio espectro en huéspedes y ha sido aislado de insectos de diversas familias de los órdenes (Lepidóptera, Díptera, Coleóptera, Neuróptera, Himenóptera, Thysanóptera, Hemíptera y Homóptera) en diferentes partes del mundo. *I. fumosorosea* se ha utilizado especialmente para el control de *Carposina sasakii* (Matsumura), *Leptinotarsa decemlineata* (San), *Lymantria dispar* (L), *Galleria mellonella* (L), y termitas (Garza, 1992; CB – 06, 1999). Recientemente se describió entre las especies de hongos entomopatógenos que atacan al psílido asiático de los cítricos (Meyer et al., 2004; Casique-Valdés y Sánchez-Peña, 2010).

4 JUSTIFICACIÓN

Algunas especies de mosca blanca adquieren la capacidad de desarrollar resistencia a diferentes insecticidas sintéticos, además, se hospedan en diferentes especies de plantas cultivadas y malezas. El problema radica en que la mosca blanca, aparte de succionar y alimentarse de la savia de las plantas, transmite enfermedades virales que ocasionan la pérdida total del cultivo, en el menor de los casos facilita la aparición de hongos que perjudican el desarrollo normal de la planta (Copa et al. 2005).

Todo ello aunado a una necesidad constante de mejorar el cuidado del ambiente ha

incrementado el interés de estudiar alternativas biológicas para el control de esta plaga, incluyendo la utilización de hongos (Vázquez-Moreno, 2002).

A nivel internacional las distintas especies de mosca blanca han sido reconocidas como importantes factores de “stress” biótico para las plantas, no solo por alimentarse directamente de ellas, si no por servir como vector de algunos agentes fitopatológicos. En México son plagas importantes de diferentes cultivos a lo largo de la Costa del Pacífico de México (Urias, et al. 2005).

Resulta de gran importancia conocer el modo de acción de *I. fumosorosea* para proponer programas de manejo integrado de plagas sin utilización de sustancias químicas, como plaguicidas, y promover el cuidado del ambiente con la implementación de componentes de agricultura orgánica.

5 OBJETIVOS

General: Analizar el uso de *I. fumosorosea* sobre plagas de importancia económica en México.

Particulares:

Realizar una revisión bibliográfica del uso de *I. fumosorosea* para el control biológico de la mosquita blanca en México.

Identificar el mecanismo de acción de *I. fumosorosea* sobre plagas de insectos de importancia económica en México.

Proponer una alternativa al uso de *I. fumosorosea* en el control de la mosquita blanca en cultivos de importancia económica.

6 METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica alrededor de 26 fuentes de información, entre artículos, revistas y páginas web científicas relacionadas con el estudio del hongo entomopatógeno *Isaria fumosorosea* como control microbiológico, identificando sus características, factores que tienen influencia sobre el desarrollo del hongo, modo y espectro de acción y su importancia como micoinsecticida, con el objetivo de fomentar la divulgación científica para su uso como Agente de Control Biológico de Plagas; así como contribuir al desarrollo de nuevas investigaciones, generar y fomentar la elaboración de documentos de divulgación científica relacionado con *I. fumosorosea* como control de plagas de importancia económica.

Las palabras clave de la búsqueda fueron: *Isaria fumosorosea*, *Bemisia tabaci*, micoinsecticida, modo de acción, control biológico.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se revisaron aproximadamente 26 fuentes de información, entre artículos, revistas y páginas web científicas para identificar el uso de *I. fumosorosea* sobre plagas de importancia económica, donde se menciona su utilización combinada con fungicidas en el manejo integrado de plagas, encontrando como principales objetivos de control *Carposina sasakii* (Matsumuram), *Leptinotarsa decemlineata* (San), *Lymantria dispar* (L), *Galleria mellonella* (L), *Bemisia tabaci* y termitas. Los bioinsecticidas han demostrado que al ser utilizados en forma adecuada favorecen la práctica de una agricultura sustentable con menos empleo de insecticidas químicos, debido a que se ha mostrado inocuo contra organismos benéficos, además de en los organismos sometidos al tratamiento.

Algunas especies de mosca blanca adquieren la capacidad de desarrollar resistencia a diferentes insecticidas sintéticos, además, se hospedan en diferentes especies de plantas cultivadas y malezas. El problema radica en que la mosca blanca, aparte de succionar y alimentarse de la savia de las plantas, transmite enfermedades virales que ocasionan la

pérdida total del cultivo, en el menor de los casos facilita la aparición de hongos que perjudican el desarrollo normal de la planta.

Existe una creciente y constante necesidad de mejorar el cuidado del ambiente debido a los efectos causados por la implementación de insecticidas químicos en la agricultura, esto aumenta el interés de estudiar alternativas biológicas para el control de plagas, incluyendo la utilización de hongos.

Bustillo, A. (2001) menciona que los hongos entomopatógenos juegan un papel muy importante como agentes de control de muchas especies al comportarse de forma epizootica, que ocasiona la reducción de poblaciones naturales, esto coincide con lo expresado en la investigación por D'Alessandro et al., en 2011 donde menciona que los hongos entomopatógenos son importantes agentes en el control natural de insectos, que pueden ser utilizados combinados con fungicidas en el manejo integrado de plagas.

Tanto Zimmermann en 2008 como García, et al., en 2013 reportan que se conocen más de 20 especies de hongos entomopatógenos capaces de infectar a la mosquita blanca *Bemisia tabaci*. Durante los últimos años se ha incrementado el interés en el hongo *Isaria fumosorosea* porque ha mostrado gran potencial como agente microbiano para el control de insectos plaga pertenecientes a diferentes Órdenes, además de que ha sido inocuo contra organismos benéficos y, especialmente, por el interés en utilizarlo para el control de mosquita blanca.

En cuanto a los factores que influyen en la proliferación del hongo, se realizó un estudio en las instalaciones de horticultura protegida del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO); en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y en el Laboratorio Reproductor de Organismos Benéficos del Sureste S. A., en contraste con las investigaciones hechas por Vidal y Fargues, 2007 y García, et al. 2013 durante 2010, donde se colectaron y reprodujeron las poblaciones del material biológico; los insectos fueron confinados en jaulas entomológicas (60 x 60 x 60 cm) cubiertas con malla antiáfidos, en cuyo interior se colocaron plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y de tomate (*Solanum lycopersicum*) como alimento, colocadas en bolsas de plástico negro que contenían una mezcla de suelo y vermiculita como

medio de soporte. Los conidios de los hongos entomopatógenos fueron obtenidos de cepas del Laboratorio Reprodutor de Organismos Benéficos del Sureste S.A. La multiplicación de conidios se llevó a cabo en el mismo laboratorio, utilizando la metodología de Monzon (2001), modificada (arroz comercial como sustrato y cepas nativas), el procedimiento incluyó dos fases, la de trasplante y el experimento, como resultados se obtuvieron que todos los tratamientos donde se aplicaron conidios de hongos entomopatógenos sin almacenar causaron una mortalidad igual al insecticida químico, y fueron superiores al testigo donde sólo se asperjó agua. *Beauveria bassiana* con una concentración de 2.1×10^6 conidios mL^{-1} fue el que mayor mortalidad provocó en *B. tabaci*, seguido por el tratamiento químico y por *Metarhizium anisopliae* con una concentración de 1.3×10^{10} conidios mL^{-1} y 1.3×10^{12} conidios mL^{-1} .

De acuerdo con los antecedentes y la revisión bibliográfica hecha en esta investigación, se aprecia la importancia del medio para una correcta aplicación, proliferación y patogenicidad de los hongos entomopatógenos, el uso de estos es una alternativa viable, sin embargo, se requiere mayor información de patogenicidad en cuanto a concentración de conidios y su almacenamiento, ya que en especial de *I. fumosorosea*, en este sentido específicamente, no se halló con facilidad información al respecto.

En una investigación realizada por Bustillo, A. (2001) se evaluó el hongo entomopatógeno *B. bassiana* (Bals.) Vuillemin cepa B6C contra el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), insecto vector de la enfermedad Huanglongbing. Adicionalmente, se estudió la interacción in vitro de *B. bassiana* entre dos hongos entomopatógenos: *Metarhizium brunneum* cepa 6M11 e *I. fumosorosea* cepa IF8B19. Se evaluó *B. bassiana* en campo con una concentración de 1.3×10^8 mL^{-1} y un tratamiento constituido por la mezcla de los hongos entomopatógenos antes mencionados, a una concentración de 1.4×10^8 mL^{-1} , formulado con un surfactante (Bionex) a una concentración de 0.05% v/v. En la evaluación de la mortalidad de las ninfas se obtuvo un porcentaje de mortalidad para *B. bassiana* del 40%, mientras que el tratamiento de la mezcla de los tres hongos fue de 44%, no existió diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$).

Por otra parte, tres semanas después de la aplicación se tomaron datos de insectos con

signos de micosis presentando 23% para *B. bassiana* y 22% en la mezcla de hongos, no se encontró una diferencia estadística entre ambos tratamientos. En la mezcla solo se observaron insectos con esporulación de los hongos entomopatógenos *B. bassiana* e *I. fumosorosea*, para el caso de *M. brunneum* no se presentaron insectos con signos de esporulación. En el bioensayo de la confrontación in vitro se determinó el crecimiento radial promedio de los explantes de cada hongo, separados a una distancia de 20 mm entre cada uno. En el medio únicamente con el hongo *B. bassiana*, éste presentó un crecimiento de 0.90 mm/día-1, en la interacción con *M. brunneum* obtuvo un crecimiento de 0.94 mm/día-1 y con *I. fumosorosea* fue de 0.74 mm/día-1. Los resultados obtenidos no demuestran antagonismo significativo de *B. bassiana* al mezclarlo con otros hongos entomopatógenos. Los resultados sugieren que *B. bassiana* puede ser aplicado en conjunto con otros hongos como una alternativa para el manejo integrado de *D. citri*.

En la investigación realizada por Copa, et al. (2005) se determinó que la mosca blanca, sobre todo los géneros *B. tabaci* y *Aleurothryx sp* son una de las plagas más trascendentales para la producción agrícola. La importancia agroeconómica de este artrópodo se debe a su amplia distribución geográfica, el gran número de cultivos que afecta y su amplio rango de hospederos cultivados y silvestres. Los adultos y ninfas de este insecto succionan la savia del floema. Este es un daño directo que reduce los rendimientos en la agroproducción. La elaboración de secreciones azucaradas por adultos y ninfas afecta indirectamente la producción porque favorece el desarrollo de hongos que interfiere con la fotosíntesis. Se menciona que cuando el productor o campesino advierte la presencia de un potencial insecto plaga recurre de manera expedita a verter insecticidas en el sistema, sin embargo, el uso indiscriminado de pesticidas contra esta plaga ha ocasionado serios problemas, como: incremento en los costos de producción, eliminación de enemigos naturales, resistencia a los insecticidas, riesgos para la salud de productores y consumidores y contaminación ambiental. Se hace hincapié en la importancia de conocer la densidad de población de la mosca blanca con el fin de tomar medidas acertadas de control, es necesario también, mencionan, el muestreo de poblaciones para el control de este insecto plaga con el fin de minimizar el uso de agroquímicos. Adicionalmente se hace imperativo utilizar el manejo integrado para controlar las poblaciones de mosca blanca que se comporten como plagas,

teniendo en cuenta las diferentes técnicas agroecológicas existentes para su intervención y el control biológico.

En la investigación realizada por D'Alessandro, et al en 2011, se estudiaron los efectos de ocho fungicidas de uso común: propamocarb, fenarimol, triadimefón, procimidona, azoxistrobina, carbendazim, oxiclورو de cobre y *Trichoderma harzianum* sobre la germinación, el crecimiento micelial y la virulencia de *Isaria fumosorosea* (Wize) Brown & Smith (Ascomycota: Hypocreales). El mayor efecto sobre la germinación lo observó azoxistrobina, seguido de carbendazim, triadimefón y procimidona. Propamocarb, fenarimol, oxiclورو de cobre y *T. harzianum* no afectaron la germinación de conidios con germinaciones de 95, 93, 79 y 84%, respectivamente. La virulencia se evaluó contra ninfas tempranas del cuarto estadio de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). La mezcla que contenía suspensiones de conidios fúngicos más oxiclورو de cobre o fenarimol presentó una reducción significativa en la mortalidad en comparación con la propia suspensión de esporas. Este estudio sugiere que los fungicidas más apropiados para usar en Programas de Manejo Integrado de Plagas contra *T. vaporariorum* en combinación con *I. fumosorosea* son propamocarb y *T. harzianum*.

De acuerdo con García, et al., en 2006, se señala el uso indiscriminado de los plaguicidas sintéticos y los problemas que causan para la salud humana, la agricultura y el medio ambiente, y se presentan aspectos generales de los bioplaguicidas y su empleo en el control biológico de plagas. Por su naturaleza, estos productos pueden usarse con seguridad en una agricultura sustentable, y un ejemplo de esto es el uso de los plaguicidas botánicos cuyo ingrediente activo son los terpenos, alcaloides y compuestos fenólicos con efecto insecticida para diversas plagas agrícolas, además son menos costosos, son biodegradables y seguros para el ser humano y el medio ambiente, aunque tienen poca residualidad. Los plaguicidas microbianos están siendo introducidos con éxito en el control de plagas de cultivos como café, caña de azúcar, frijol y maíz. Estos productos son elaborados a base de bacterias, hongos, virus o nematodos entomopatógenos. Sin embargo, pocos agentes entomopatógenos se han desarrollado como agentes de biocontrol efectivo, uno de ellos es la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Berlinier) para el control del gusano cogollero del maíz

Spodoptera frugiperda (J. E Smith) abarcando cerca del 74% del mercado, los hongos 10%, los virus 5% y otros el 11%. Otro caso sobresaliente es el uso del hongo *Beauveria bassiana* (Bálsamo) contra el gorgojo del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say). Los bioplaguicidas anteriores han demostrado que al ser utilizados en forma adecuada en el control biológico de plagas favorecen la práctica de una agricultura sustentable, con menor dependencia de insecticidas químicos. Asimismo, se ve complementado lo anterior con lo mencionado por Moreno en el 2002, donde destaca la importancia económica de la mosca blanca *Bemisia tabaci* en la región Neotropical, principalmente como vector de geminivirus en varios cultivos agrícolas, y los problemas surgidos del uso de insecticidas sintéticos que han motivado la investigación sobre control biológico de esta plaga. Indica además, que se han realizado estudios para conocer los enemigos naturales de esta plaga, existentes en la mayoría de los países y como resultado se han identificado diversas especies de parasitoides de los géneros *Encarsia*, *Eretmocerus* (Hymenoptera: Aphelinidae) y *Amitus* (Hymenoptera: Platygasteriidae); depredadores de los géneros *Chrysopa*, *Nodita* (Neuroptera: Chrysopidae), *Coleomegilla*, *Cycloneda*, *Hyppodamia*, *Delphastus*, *Nephaspis*, *Scymnus* (Coleoptera: Coccinellidae), *Cyrtopeltis*, (Hemiptera: Miridae), *Orius* (Heteroptera: Anthocoridae), *Condylostillus* (Diptera: Dolichopodidae), *Syrphidae* (Diptera), *Theridula* (Araneae: Theridulidae) y entomopatógenos de los géneros *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Metarhizium*, *Aschersonia*, *Cladosporium* y *Beauveria*. Los más estudiados para su utilización en programas de control biológico han sido los parasitoides de los géneros *Encarsia* y *Eretmocerus*, predadores del género *Chrysopa* y entomopatógenos de los géneros *Paecilomyces*, *Verticillium* y *Beauveria*. En la práctica, algunos países liberan entomófagos de forma inoculativa y, aplica bioplaguicidas y muchos integran elementos del control biológico al manejo integrado de plagas.

Según la investigación realizada por Pucheta, et al. en 2006, los hongos entomopatógenos tienen un gran potencial como agentes de control, ya que constituyen un grupo con más de 750 especies que al dispersarse en el ambiente provocan infecciones fúngicas en las poblaciones de insectos. Estos hongos inician su proceso infectivo cuando las esporas son retenidas en la superficie del integumento, donde se inicia la formación del tubo germinativo, comenzando el hongo a excretar enzimas como las proteasas, quitinasas,

quitobiasas, lipasas y lipooxigenasas. Estas enzimas degradan la cutícula del insecto y coadyuvan con el proceso de penetración por presión mecánica iniciado por el apresorio, que es una estructura especializada formada en el tubo germinativo. Una vez dentro del insecto, el hongo se desarrolla como cuerpos hifales que se van diseminando a través del hemocele e invaden diversos tejidos musculares, cuerpos grasos, tubos de Malpighi, mitocondrias y hemocitos, ocasionando la muerte del insecto después de 3 a 14 días de iniciada la infección. Una vez muerto el insecto y ya agotados muchos de los nutrientes, el hongo inicia un crecimiento micelar e invade todos los órganos del hospedero. Finalmente, las hifas penetran la cutícula desde el interior del insecto y emergen a la superficie, donde en condiciones ambientales apropiadas inician la formación de nuevas esporas.

8 CONCLUSIONES

Con base en la revisión se identificaron, la patogenicidad de *I. fumosorosea* en diferentes etapas en el ciclo de vida de *B. tabaci* principalmente, en el caso de ninfas, huevos y pupas, ocasionando la formación de esporas sobre la superficie de los insectos, se encontró además que en estado adulto de mosquita blanca es menos susceptible al efecto micoinsecticida del hongo, ya que en los adultos la efectividad del hongo es menor comparada con la patogenicidad hacia los estadios ninfales.

Entre los factores abióticos medioambientales que afectan la germinación, el crecimiento vegetativo, la viabilidad y persistencia en el campo, se encontraron los rayos ultravioleta, temperatura, humedad relativa y fungicidas, estos últimos siendo los que afectan en mayor magnitud.

Se encontró que la temperatura óptima para el crecimiento de *I. fumosorosea* es entre los 20 y 30°C, sin embargo, ha sido identificado como una especie compleja ya que existen aislados que pueden crecer entre los 5 y 35°C. Condiciones de alta humedad (>85%) fueron reportadas como necesarias para que *I. fumosorosea* infecte a la mosquita blanca; se encontró que una vez que las hifas penetran la cutícula desde el interior del insecto al final del ciclo de infección y emergen a la superficie se inicia la formación de esporas aunado a

una humedad relativa alta.

De acuerdo a lo investigado, de las más de 700 especies conocidas de hongos entomopatógenos, pocos han sido estudiados intensivamente, sin embargo, se conoce su asociación con insectos de diversos hábitats, además son considerados los microorganismos más importantes ya que infectan principalmente a insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, escamas, chicharritas y chinches.

Los bioinsecticidas son una alternativa viable para ser utilizados dentro de los esquemas de control biológico de plagas en los principales cultivos agrícolas. Su uso permite mantener la productividad del campo sin contaminarlo y sin poner en riesgo la salud de la población que entra en contacto directo o indirecto con estos insumos.

9 LITERATURA CITADA

Alexopoulos, C. J. y C. W. Mins. 1979. *Introductory Mycology*. 3ª Ed. John Wiley and Sons Nueva York.

Bustillo, A. (2001). Hongos en insectos y posibilidades de uso en el control biológico de plagas en Colombia. *Seminario uso de entomopatogenos en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá, Colombia, Argentina.*

Butt, T. M., Jackson, C., & Magan, N. (Eds.). (2001). *Fungi as biocontrol agents: progress problems and potential*. CABI.

Casique-Valdés, R., & Sánchez-Peña, S. R. (2010). Entomopathogenic fungi attacking the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in the Gulf citrus zone of Mexico. *Proc. 58th Ann. Mtg. Southwestern Branch, Entomol. Soc. Am., Cancun, Mexico, 2-3.*

Copa, A. Anzoátegui, T. Morales, F. Martínez, A. Castaño, M. Velasco, A. Hernández, M. (2005). Primer Registro de Mosca Blanca del Biotipo de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homóptera:Aleyrodidae) en Bolivia. Instituto de Investigaciones Agrícolas "El Vallecito" IIAV. Departamento de entomología agrícola. Bolivia.

D'Alessandro, C. P., Padin, S., Urrutia, M. I., & López Lastra, C. C. (2011). Interaction of fungicides with the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea*. *Biocontrol Science and Technology, 21(2)*, 189-197.

De Barro, P. J., Liu, S. S., Boykin, L. M., & Dinsdale, A. B. (2011). *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Annual review of entomology, 56*, 1-19.

García-Gutiérrez C., Hernández-Velázquez V. M. y M. B. González-Maldonado. 2006b. Procesos biotecnológicos de producción de bioplaguicidas: hongos entomopatógenos. En: *Biotecnología Financiera Aplicada a Bioplaguicidas*. Cipriano García Gutiérrez e Hiram Medrano Roldán (Eds). 91- 118 pp.

Gams, W., Hodge, K. T., Samson, R. A., Korf, R. P., & Seifert, K. A. (2005). (1684) Proposal to conserve the name *Isaria* (anamorphic fungi) with a conserved type. *Taxon, 54(2)*, 537-537.

- Hajek, A. E. (1997). Ecology of terrestrial fungal entomopathogens. *Advances in microbial ecology*, 193-249.
- Moreno, L. L. V. (2002). Avances del control biológico de *Bemisia tabaci* en la región neotropical. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (66), 82-95.
- Inglis PW, Tigano MS. 2006. Identification and taxonomy of some entomopathogenic *Paecilomyces* spp. (Ascomycota) Isolates Using rDNA-ITS Sequences, Genetics and Molecular Biology 29: 132-136.
- Kang, S. C., Park, S., & Lee, D. G. (1999). Purification and characterization of a novel chitinase from the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*. *Journal of invertebrate pathology*, 73(3), 276-281.
- Kepler, R. M., Luangsa-Ard, J. J., Hywel-Jones, N. L., Quandt, C. A., Sung, G. H., Rehner, S. A., ... & Shrestha, B. (2017). A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). *IMA fungus*, 8(2), 335-353.
- McCoy, C. W., Samson, R. A., & Boucias, D. G. (1988). Entomogenous fungi. *Handbook of natural pesticides*, 5(Part A), 151-236.
- Meyer, J. M., Hoy, M. A., & Boucias, D. G. (2007). Morphological and molecular characterization of a *Hirsutella* species infecting the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), in Florida. *Journal of Invertebrate Pathology*, 95(2), 101-109.
- Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., & Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.
- Pell, J. K., Eilenberg, J., Hajek, A. E., & Steinkraus, D. C. (2001). Biology, ecology and pest management potential of Entomophthorales. *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*, 390, 71-154.
- Pucheta DM, Flores MA, Rodríguez NS, De la Torre MM (2006) Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia* 31: 856-860.
- Rodríguez del Bosque, L. A. 2007. Terminología sobre control biológico. pp. 277- 303. En:

- Rodríguez-del_Bosque, L. A. y Arredondo-Bernal, H. C. (eds.). Teoría y aplicación del control biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- Samson, R. A. 1988. Identification: Entomopathogenic Deuteromycetes. Academic Pres. Cap. 6. Pp. 194-222.
- Shapiro-Ilan, D. I., Fuxa, J. R., Lacey, L. A., Onstad, D. W., & Kaya, H. K. (2005). Definitions of pathogenicity and virulence in invertebrate pathology. *Journal of invertebrate pathology*, 88(1), 1-7.
- Smith, P. (1994). Increased infectivity of oil and emulsifiable oil formulations of *Paecilomyces fumosoroseus* conidia to *Bemisia tabaci*. In *VI International Colloquium on Invertebrate Pathology and Microbial Control* (p. 82).
- Urias, A. Byerly, K. Osuna, J. García, A. (2007). Incidencia de la Mosquita Blanca (Homóptera: Aleyrodidae), Áfidos (Homóptera: Aphidae) y Virosis en Melón de Jalisco, México. *Folia Entomológica Mexicana*. Vol. 44, Nº 3.
- Vidal, C., & Fargues, J. (2007). Climatic constraints for fungal bioinsecticides. *Use of entomopathogenic fungi in biological pest management*, 39-55.
- Vidal C, Fargues J, Lacey LA (1997) Intraspecific variability of *Paecilomyces fumosoroseus*: Effect of temperature on vegetative growth. *J. Invert. Pathol.* 70: 1826.
- Wraight SP, Carruthers RI, Jaronsk ST, Bradley CA, Garza CJ, Galaini - Wraight S (2000) Evaluation of the Entomopathogenic fungi *Beauveria Bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolli*. *Biol. Control* 17: 203-217.
- Zimmermann, G. (2008). The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. *Biocontrol science and technology*, 18(9), 865-901.