



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chiná

## TESIS

**“CONTROL BIOLÓGICO DE *Melanaphis sacchari* EN *Sorghum bicolor* MEDIANTE *Beauveria bassiana* Y *Metarhizium anisopliae* (Clavicipitaceae), EN CAMPECHE, MÉXICO”**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES**

**PRESENTA:**

**DELFINO DANIEL LORENZO CAMARA**

**Chiná, Campeche, México Febrero del 2021**



Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520  
Chiná, Campeche. Tel. (981) 82-72052  
y 82-72082 E-mail:  
[ir01\\_china@tecnm.mx](mailto:ir01_china@tecnm.mx)  
tecnm.mx | china.tecnm.







División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Chiná, Campeche

22/Febrero/2021

Oficio Tesis MCAGS—or

ASUNTO: Aprobación

**C. DELFINO DANIEL LORENZO CÁMARA  
PRESENTE**

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo del trabajo de tesis denominado “Control biológico de *Melanaphis sacchari* en *Sorghum bicolor* mediante *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (Clavicipitaceae), en Campeche, México”. Es aprobado como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
Excelencia en Educación Tecnológica  
Aprender Produciendo

  
JOSÉ JAVIER PERALTA COSGAYA  
DIRECTOR

JJPC/MGRA/JFMP



MATERIAL DE REFERENCIA



S.E.P.  
T.N.M.  
INSTITUTO  
TECNOLÓGICO

84DIT0002W

## COMITÉ REVISOR

“Este trabajo fue revisado y aprobado por este Comité y presentado por el C. Delfino Daniel Lorenzo Cámara como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles el mes de febrero del año 2021 en Chiná, Campeche”.

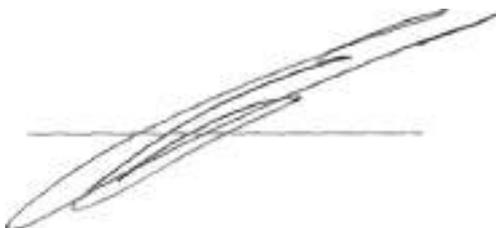
M. C. Noel Antonio González Valdivia

Presidente



---

M.C. Enrique Arcocha Gómezsecretario



---

M.D.A. Alicia Eugenia Puertovannetti Arroyo

Vocal



---

Dra. Mónica Beatriz López Hernández

Suplente



---

## DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en el presente documento deriva de los estudios realizados para alcanzar los objetivos planteados en mi trabajo de tesis, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chiná. De acuerdo a lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná. Por otra parte, de acuerdo a lo manifestado, reconozco de igual manera que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de la información generada en el desarrollo del presente estudio, le pertenecen patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná de manera que si se derivasen de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma:  \_\_\_\_\_

Ing. Delfino Daniel Lorenzo Cámara

## Resumen

El uso de los hongos entomopatógenos provee múltiples servicios benéficos a los agroecosistemas, de los cuales el más importante es su capacidad de disminuir la población de los insectos dañinos, sin ocasionar un daño aparente a poblaciones de otros organismos benéficos o no dañinos, por su selectividad, coadyuvando a la reducción del daño al ambiente y a la salud humana. Los hongos entomopatógenos más usados: *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, fueron probados en campo con el objetivo de determinar su efectividad en el manejo del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari* Zehntner), plaga de reciente aparición en el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Möench) y otros cultivos en Campeche. Los resultados muestran que en la estación seca, la efectividad de los hongos no logra superar al efecto del plaguicida Imidacloprid, y que todos no causan un efecto lo suficientemente grande como para superar al testigo (no aplicación). Tanto el crecimiento como el rendimiento de grano fueron semejantes entre los tratamientos experimentales, con ventaja ligera del manejo químico sobre los demás. Las condiciones de poca humedad relativa y la presencia de sequía anual recurrente, puede afectar las poblaciones de *M. sacchari*, que además, en la época seca cuando se realizó este experimento, tuvo una aparición tardía en el área, aun en presencia abundante su hospedero principal, el pasto Jhonson (*Sorghum halepense* (L.) Pers.).

**Palabras Claves:** Hongos entomopatógenos, Control biológico, Agroecosistemas.

## Abstract

The use of entomopathogenic fungi provides multiple beneficial services to agroecosystems, of which the most important is their ability to reduce the population of harmful insects, without causing apparent damage to populations of other beneficial or non-harmful organisms, due to their selectivity. , helping to reduce damage to the environment and human health. The most widely used entomopathogenic fungi: *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillon and *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, were tested in the field in order to determine their effectiveness in the management of the yellow sorghum aphid (*Melanaphis sacchari* Zehntner), a pest of recent appearance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Möench) and other crops in Campeche. The results show that in the dry season, the effectiveness of the fungi cannot exceed the effect of the pesticide Imidacloprid, and that all do not

cause an effect large enough to overcome the control (no application). Both growth and grain yield were similar between the experimental treatments, with a slight advantage of chemical management over the others. The conditions of low relative humidity and the presence of recurrent annual drought can affect the populations of *M. sacchari*, which also, in the dry season when this experiment was carried out, had a late appearance in the area, even when its host was abundant. main, Johnson grass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.).

**Keywords:** Entomopathogenic mushrooms, Biological control, Agroecosystems.

## AGRADECIMIENTO

Al Tecnológico Nacional de México, que me abrió las puertas a sus instalaciones y financiar mi tesis con los proyectos 6424.18-P “Control del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*) mediante hongos entomopatógenos en Campeche, México” y 6670.18-P “Uso secuencial de antagonistas biológicos, depredador (*Chrysoperla carnea*) y hongos entomopatógenos, contra *Melanaphis sacchari* en sorgo”. Al CONACYT por financiar mis estudios mediante el programa de “becas nacionales 2018-2” con número 928729. A los docentes que me apoyaron para poder sacar adelante el proyecto. A mi familia por sus constantes ánimos y apoyo, pero sobre todo quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de estudiar y terminar mi maestría.

# Contenido

I.- Introducción .....	11
II.- Antecedentes .....	11
III.- Justificación.....	12
IV.- Preguntas de investigación .....	13
4.1.- Pregunta de investigación general.....	13
4.2.- Pregunta de investigación general.....	13
V.- Hipótesis .....	13
5.1.- Hipótesis general.....	13
5.2.- Hipótesis específica .....	13
VI.- Objetivos .....	14
6.2.- Objetivos específicos.....	14
Literatura citada.....	15
VIII.- Capítulos .....	16
7.1.- Capítulo 1: CONTROL BIOLÓGICO UTILIZANDO HONGOS ENTOMOPATOGENOS:UNA REVISION .....	16
RESUMEN .....	16
ABSTRACT .....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
MATERIALES Y METODOS .....	18
RESULTADOS .....	19
CONCLUSIÓN.....	23
REFERENCIAS .....	23
7.2.- Capítulo 2: CONTROL DE <i>Melanaphis sacchari</i> UTILIZANDO <i>Beauveriabassiana</i> Y <i>Metarhizium anisopliae</i> EN ÉPOCA SECA, CAMPECHE, MÉXICO .....	29
RESUMEN .....	29
SUMMARY .....	30
INTRODUCCIÓN.....	28
MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
RESULTADOS .....	31
Efectos sobre el rendimiento.....	33
<i>Tratamientos y repeticiones</i> .....	34
Comparación de resultados por análisis financiero.....	34
DISCUSIÓN.....	36

<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>38</b>
<b>Conclusión General</b> .....	<b>43</b>

## **I.- Introducción**

En México la producción de sorgo (*Sorghum bicolor* Möench) fue superior a los 7 millones de toneladas durante el 2014 (SIAP 2016) pero esta se ha visto afectado por una nueva plaga conocida como el pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari* Zehntner (Maya-Hernández y Rodríguez del Bosque 2014) y ha demostrado ser perjudicial para el cultivo generando pérdidas que van desde el 30% hasta el 100% en campo (Quijano-Carranza et al. 2017). El pulgón amarillo se reportó por primera vez en Tamaulipas (Maya-Hernández y Rodríguez del Bosque 2014) y esta se ha ido expandiendo por los estados de Sinaloa, Guanajuato, Michoacán, Nayarit, y Morelos (Rodríguez del Bosque y Terán 2015, Bowling et al. 2016, Peña-Martínez et al. 2016).

La plaga es controlada principalmente por medio de agentes químicos sintéticos, destacando los neonicotinoides como el imidacloprid. Estos productos sistémicos afectan a la diversidad de organismos chupadores, principalmente de cuerpo blando en forma reconocida, pero también se sospecha que dañan a la fauna no dañina e incluso benéfica, destacando entre estas las abejas. La búsqueda de opciones a este tipo de productos altamente riesgosos para la salud humana, animal y del ambiente, se vuelve urgente, como mencionan González-Valdivia et al. (2019), más aún en regiones donde las características geológicas sean de tipo kárstico, con aguas confinadas en macizos de roca porosa de tipo calcáreo, como Campeche o la Península de Yucatán.

## **II.- Antecedentes**

En la búsqueda de opciones para controlar esta plaga se han sugerido la eliminación de plantas hospederas y delimitación de fechas de siembra (CESAVEG 2015), el uso de hongos entomopatógenos, depredadores y control químico (SENASICA 2014). Este último es la opción dominante (Bowling et al. 2016, Quijano-Carranza et al. 2017), pero es potencialmente perjudicial tanto para el ambiente como para la salud humana, por lo que se requieren el uso de otras alternativas (Vega, 2008).

Entre otras alternativas tenemos el uso de los hongos entomopatógenos (Meyling y Eilenberg, 2007), que completan su ciclo de vida (adhesión, penetración y micelación) en el insecto (Pucheta Diaz 2006) sin ocasionarles un daño aparente a las plantas (Hasana et al., 2012). Estos hongos se encuentran de manera natural en los ecosistemas (Rodríguez et al., 2009). Y algunos como *Beauveria bassiana* y

*Metarhizium anisopliae*, han sido encontrados como endófitos en cultivos de interés agronómico (Vega et al., 2008).

### **III.- Justificación**

El objetivo de este estudio es el de determinar la efectividad en campo del control ejercido sobre *Melanaphis sacchari* por dos hongos entomopatógenos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, comparados con el control químico (imidacloprid) durante la época seca, en el estado de Campeche, México. Los resultados obtenidos podrán utilizarse en las recomendaciones técnicas para el manejo biológico de la plaga en esta región y si se encuentra que al menos una de esas opciones es viable se pretende llevar a cabo los siguientes puntos.

**Impacto económico:** si se verifica la efectividad de al menos uno de los hongos entomopatógenos utilizados en el control del pulgón amarillo en sorgo, se estará aportando una herramienta de manejo de la plaga con bajo costo, alta rentabilidad e impacto reducido sobre el medio ambiente y la salud, por tanto de menor costo para la economía estatal.

**Impacto ecológico:** al reducir las aplicaciones de productos químicos, se reducen los impactos negativos que estas sustancias generan al ecosistema y agroecosistemas, además de proteger la salud humana y la calidad de vida de los individuos expuestos. Los hongos a utilizar forman parte de los ecosistemas, por lo que no se estará cambiando o afectando la biodiversidad local.

**Impacto social y cultural:** al utilizar esta opción ecológicamente y sanitariamente amigable, los productores y campesinos podrán conocer una opción de manejo que enriquece sus conocimientos y modifica parcialmente sus esquemas de pensamiento a la hora de manejar plagas de sus cultivos, promoviendo una mentalidad conservacionista y promotora del equilibrio ambiental. Mediante eventos de divulgación de resultados se extenderán estos a un público mayor, ampliando el alcance de las metas y objetivos del proyecto.

**Impacto tecnológico:** El desarrollo de conocimientos sobre el manejo mediado por organismos benéficos de la plaga pulgón amarillo facilitará un modelo alternativo al químico, que puede, debido a la capacidad de dispersión de estos hongos, evitar el uso de agroquímicos, sustituyéndolos por esta técnica más amigable con el medio ambiente y la salud, así como con la biodiversidad agrícola.

## **IV.- Preguntas de investigación**

### **4.1.- Pregunta de investigación general**

¿Los hongos entomopatógenos son capaces de ejercer una reducción en la población del pulgón amarillo?

### **4.2.- Pregunta de investigación general**

¿Se ve afectada la capacidad de virulencia sobre los pulgones amarillos por la temporada de aplicación, en este caso, la estación seca?

## **V.- Hipótesis**

### **5.1.- Hipótesis general**

La aplicación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* mantienen la población del pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) por debajo del umbral económico en lotes de sorgo (*Sorghum bicolor*), tratados separadamente con estos hongos entomopatógenos, durante la estación seca en Campeche.

### **5.2.- Hipótesis específica**

La aplicación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* afecta el crecimiento y rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor*), en la estación seca en Campeche.

## **VI.- Objetivos**

### **6.1.- Objetivos generales**

Evaluar opciones de manejo del pulgón amarillo que tengan menor impacto en la salud humana y en el ambiente.

### **6.2.- Objetivos específicos**

- a.- Cuantificar la efectividad de dos hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en el control del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*), plaga de importancia emergente en el estado de Campeche.
- b.- Evaluar la influencia de estas opciones de control biológico sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo en Campeche.
- c.- Estimar la relación costo beneficio de estas opciones de control biológico respecto al manejo convencional que se está aplicando en el estado de Campeche.

## Literatura citada

Bowling, R. D., M. J. Brewer, D. L. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. E. Elliott, G. D. Buntin, M. O. Way, T. A. Royer, S. Biles, and E. Maxson. 2016. Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): a new pest on sorghum in North America. *J. Integr. Pest. Manag.* 7: 1-13.

Maya-Hernández, V., y L. A. Rodríguez-del-Bosque. 2014. Pulgón amarillo: una nueva plaga del sorgo en Tamaulipas. Desplegable para productores No. MX-0-310301-32-03-13-48-30. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tamaulipas, México.

Quijano-Carranza JA et al. 2017. Guía 2017 para el manejo del pulgón amarillo del sorgo. INIFAP, Guanajuato, México. 42 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Producción de Sorgo por Estado. <http://www.siap.gob.mx/>

Peña-Martínez, R., A. L. Muñoz-Viveros, R. Bujanos-Muñiz, J. Luévano-Borroel, F. Tamayo-Mejia, y E. Cortez-Mondaca. 2016. Formas sexuales del complejo pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari/sorghii* en México. *Southwest. Entomol.* 41: 127-132

CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A.C.). 2015. Guía para el manejo de Pulgón Amarillo del Sorgo. Manual Técnico.

SENASICA. (2014). Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Ficha Técnica No. 4. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Dirección Nacional de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. 15 p.

## VIII.- Capítulos

### 7.1.- Capítulo 1: CONTROL BIOLÓGICO UTILIZANDO HONGOS ENTOMOPATOGENOS:UNA REVISION

#### BIOLOGICAL CONTROL USING ENTOMOPATHOGENOUS FUNGI: A REVIEW

Delfino Daniel Lorenzo-Cámara, Noel Antonio González-Valdivia, Enrique Arcocha-Gómez, Alicia Eugenia Puertovannetti-Arroyo y Miguel Arcángel Burgos-Campos

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24500

Autor para correspondencia: E-mail: [siankaan2003@gmail.com](mailto:siankaan2003@gmail.com)

#### RESUMEN

La información contenida en esta revisión fue obtenida mediante el método bola de nieve, a partir del artículo publicado en el 2020 titulado Tropical Occurrence and Agricultural Importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. La información obtenida fue seleccionada de las consecutivas publicaciones citadas en el documento inicial y posteriores concatenados, tomado como criterio que tuviesen una o más de las siguientes palabras claves: Pathogenic fungi, *Metarhizium*, *Beauveria*, Entomopathogenic, Entomopathogens, Fungi y Virulence. Una vez agotada la búsqueda por disminuir la aparición de nuevos artículos en la misma, se procedió a dividir estos documentos en temas y organizarlos como fuentes para comprender distintos aspectos relacionados con el uso y manejo de los hongos entomopatógenos. Entre los principales factores que se encontraron que pueden afectar la eficiencia de los mismos están: la temperatura y humedad, los rayos solares, su capacidad de coevolución, su ubicación en la planta y el uso de cepas genéticamente diferentes o iguales. Con base a la información reunida podemos tener un mejor entendimiento sobre los hongos entomopatógenos con el fin de poder aumentar la eficiencia de los mismos y así poder ir generando mejores estrategias que permitan su uso correcto.

**Palabras Claves:** Pathogenic fungi, *Metarhizium*, *Beauveria*, Entomopathogenic, Entomopathogens, Fungi y Virulence.

## ABSTRACT

The information contained in this review was obtained by the snowball method, starting with one article published in 2020 entitled “Tropical occurrence and agricultural importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*”. The information obtained was selected from the consecutive publications cited in the initial and subsequent concatenated document, taken as a criterion that had one or more of the following keywords: Pathogenic fungi, *Metarhizium*, *Beauveria*, Entomopathogenic, Entomopathogens, Fungi and Virulence. Once the search was exhausted to decrease the appearance of new articles in it, we proceeded to divide these documents into topics and organize them as sources to understand different aspects related to the use and management of entomopathogenic fungi. Among the main factors that were found to affect the efficiency of them are: temperature and humidity, the sun's rays, their coevolution capacity, their location in the plant and the use of genetically different or equal strains. Based on the information gathered we can have a better understanding about entomopathogenic fungi in order to increase the efficiency of them and thus be able to generate better strategies that allow their correct use.

**Keywords:** Pathogenic fungi, *Metarhizium*, *Beauveria*, Entomopathogenic, Entomopathogens, Fungi and Virulence.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la alta resistencia a los insecticidas por parte del insecto es necesario encontrar opciones que nos permitan manejar este problema, entre las opciones están los hongos entomopatógenos (Lee, Shin, Bae, Woo, 2015) que son considerados importantes para el manejo integrado de plagas (McGuire y Northfield 2020) por que han demostrado ser capaces de permanecer dentro de la planta tanto en su raíz (*Pochonia chlamydosporium* y *Metarhizium* spp.), como en la mayoría de ella (*B. bassiana* y *P. chlamydosporium*) (Behie, Jones y Bidochka 2015). Poseyendo un potencial como inoculantes beneficiosos en la agricultura al encontrarse de manera endófito (Murphy, Lucia, Doohan, Trevor y

Hodkinson 2015) y no solo eso, sino que también se han encontrado en suelos agrícolas (Garrido, Bravo, Campos y Moraga 2015) donde su población se ve afectada según la variedad y ubicación del mismo (Inglis, Duke, Goettel, Kabaluk y Ortega 2019) una de sus cualidades más interesantes es su capacidad de superar las barreras del huésped (Joop y Vilcinskis 2016), mediante la penetración de la cutícula por medio de enzimas fúngicas, incluyendo las proteinasas, que actúan como factores de virulencia (Mukherjee y Vilcinskis 2018). Sin embargo, el insecto huésped puede construir nuevas barreras para defenderse, en un ciclo de coevolución (Joop y Vilcinskis 2016) Esto es lo que hace a los hongos entomopatógenos una opción viable para la regulación de las plagas (Ausique, D'Alessandro, Conceschi, Mascarín y Delalibera Jr 2017). Por su capacidad de adaptarse a diversas condiciones mediante estrategias en su metabolismo (Hassan, Rafiq, Hayat 2016). Pero es fundamental no ignorar las condiciones que requiere durante el crecimiento micelial ya que es un factor importante para el desarrollo del mismo (Rangel, Braga, Fernandes, Keyser, Hallsworth y Roberts 2015).

## **MATERIALES Y METODOS**

El presente trabajo tuvo como fin la búsqueda sistemática y síntesis de la información referente al uso de hongos entomopatógenos. Para esto se realizó una revisión de artículos científicos con el método bola de nieve, modificada por González-Valdivia et al. (2017), empleando artículos o textos completos disponibles en línea y preferentemente con formato PDF (Descargando el resumen si este fuese la única opción disponible). El punto de inicio fue un artículo del 2020 titulado “Tropical occurrence and agricultural importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*”. Se revisó la bibliografía citada en este documento, eligiendo aquellas que en su título incluyeran al menos una de las siguientes palabras claves: Pathogenic fungi, *Metarhizium*, *Beauveria*, Entomopathogenic, Entomopathogens, Fungi y Virulence con una antigüedad no menor al año 2015.

Una vez identificados los artículos que cumplieran con los requisitos antes mencionados, se buscaron, mediante diferentes motores de búsqueda en internet, los textos completos de los artículos publicados y citados. En cada caso, además de la lectura y obtención de la información del documento, se hizo una revisión de sus referencias bibliográficas y se repitió el procedimiento inicial incluyendo nuevos autores de forma retrospectiva hasta acumular una evidencia científica que cesó de crecer cuando la

proporción de documentos nuevos se redujo y se incrementó la tendencia a la repetición de documentos previamente incluidos.

## **RESULTADOS**

### **Hongos entomopatógenos como agentes de control biológico**

El uso de las conidias son un factor clave en los hongos entomopatógenos (García, Martínez, Carrasco, Torres y Loera 2017). Ya que son las estructuras encargadas del reconocimientos e infección de sus huéspedes, sin embargo, estas se ven afectadas por la exposición a la radiación solar (Braga, Rangel, Fernandes, Flint y Roberts 2015), mermando su capacidad de ejercer cierto grado de control sobre las plagas, aunque se emplee un producto formulado con protección contra los rayos ultravioleta (Fernandes, Rangel, Braga y Roberts 2015). Es importante tener en cuenta que las conidias sean de buena calidad o de lo contrario mostraran resultados por debajo del promedio esperado (Lopes, Souza y Wraight, 2015). Entre otro de los problemas que se pueden presentar esta el daño por imbibición que es la muerte de las conidias al sumergirse en agua a temperaturas menores de 25°C provocando una reducción en su germinación (Faria, Martins, Souza, Mascarín y Lopes, 2017.) así como también las concentraciones de oxígeno que pueden afectar su viabilidad y virulencia (García, Tlecuitl, Favela y Loera 2015). Una concentración atmosférica de oxígeno (30 %) activa los mecanismos generales de respuesta al estrés generando resistencia de las conidia a los factores ambientales adversos incrementando su eficiencia para el control de plagas (García, Martínez, Carrasco, Torres y Loera 2017). Posiblemente por la presencia de una atmosfera rica en volátiles (Lopes, Laumann, Moraes, Borges y Faria, 2015 ) Y finalmente pero no menos importante tenemos las altas y bajas temperaturas que inhiben su eficiencia (Alali, Mereghetti, Faoro, Bocchi, Al Azmeh y Montagna 2019), por eso es importante la selección de aislados adaptados localmente, al momento de establecer una estrategia de control de plagas (Klingen, Westrum y Meyling, 2015), con el fin de evitar pobres resultados al no tomar en cuenta la selección de los aislados y los efectos ambientales negativos (Keyser, Fernandes, Rangel, Foster, Jech y Reuter, 2017).

Entre las estrategias del uso de los hongos entomopatógenos tenemos, el uso de trampas con inoculación de hongos siendo esta una opción viable para el control de plagas (Delalibera 2017). También se puede empapar el suelo con suspensiones conidiales para dar lugar a la colonización endofítica de la raíz. (Greenfield, Jimenez, Ortiz, Vega, Kramer y Parsa, 2016) o el uso de cadáveres

infectados con los hongos como medio de transmisión a huéspedes sanos (Conceschi, D'Alessandro, Moral, Demétrio y Delalibera Jr 2016). En cuanto a las cepas se recomienda el uso de mezclas genéticamente diferentes con el fin de generar una mayor virulencia en comparación a las cepas individuales (Jaramillo, Montoya, Benavides y Góngora 2015). Y que durante su formulación se hayan empleado cepas tolerantes a los diversos factores de estrés y que sean virulentas Tomando en cuenta las restricciones en el aspecto económico del comercio de micoinsecticidas por su poca disponibilidad de productos a bajos costos de producción (Mascarin, Jackson, Kobori, Behle y Delalibera, 2015) con el fin de garantizar un mico insecticida rentable (Mascarin y Jaronski, 2016). De lo contrario serían incapaces de sobrevivir a procesos rápidos de deshidratación o almacenamiento bajo condiciones no refrigeradas (Mascarin, Jackson, Behle *et al.* 2016).

A continuación, se presentarán de manera resumida el trabajo de varios autores con el fin de obtener un mejor entendimiento del tema:

Se evaluaron 2 cepas de hongos entomopatógenos: *Isaria fumosorosea* y *Beauveria bassiana* sobre insectos adultos de *Diaphorina citri* bajo condiciones de laboratorio y a campo semiabierto reportando lo siguiente : Bajo condiciones de laboratorio la *Isaria fumosorosea* obtuvo un índice de mortalidad de 77.8% en comparación a la *Beauveria bassiana* que obtuvo un índice de 78.4%, ahora en condiciones de campo semiabierto se obtuvieron 80.6% para la *Isaria fumosorosea* y 83.5% para la *Beauveria bassiana* (Ausique, D'Alessandro, Conceschi, Mascarin, Delalibera Jr 2017).

Los hongos entomopatógenos pueden ser una alternativa para el control de plagas, para tener un mejor entendimiento tenemos el siguiente trabajo, se aplicaron 7 tratamientos de hongos entomopatógenos: T1 =*B. bassiana*  $3.21 \times 10^4$  conidia mL<sup>-1</sup>; T2 =*B. bassiana*  $3.21 \times 10^6$  conidia mL<sup>-1</sup>; T3 =chlorantraniliprole 100 mL ha<sup>-1</sup>; T4 =JA 1.2 mM; T5 =*B. bassiana*  $3.21 \times 10^4$  conidia mL<sup>-1</sup> +chlorantraniliprole 100 mL ha<sup>-1</sup>; T6 =*B. bassiana*  $3.21 \times 10^6$  conidia mL<sup>-1</sup> +chlorantraniliprole 100 mL ha<sup>-1</sup>; T7 =control sin hongos entomopatógenos. sobre *H. armigera* se tomaron datos los días 1, 2, 3 y 7 después de su aplicación, reportando que todos los tratamientos a base de hongos redujeron la población del insecto, en comparación al tratamiento control teniendo una diferencia significativa de (F =33.58, P ≤0.001) (Younas, Khan, Waqil, Shaaban y Prager 2016).

Otro trabajo evaluó la capacidad del *Metarhizium anisopliae* de ejercer control sobre la plaga de *Rhipicephalus microplus* manejando 3 tratamientos siendo estos: 10% de aceite mineral y 1% tween

80, aceite orgánico con 10% de agua y 1% de solución tween 80 y finalmente el tratamiento testigo que fue sin ningún agregado obteniendo los siguientes resultados: La formulación a base de aceite orgánico presentó eficacia diaria del 8,53% a 90,53%, en comparación con el grupo de aceite mineral que fue de 19,68% a 57,81% (Camargo, Nogueira, Marciano, Perinotto, CoutinhoRodrigues, Scott, Angelo, Prata y Bittencourt 2016).

También se evaluó la capacidad de transmitirse los hongos entomopatógenos de *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea* mediante los cuerpos muertos de insectos infectados siendo estos la *D. citri* y *T. citricida* por su similitud de habitat y susceptibilidad a los hongos previamente mencionados, se liberaron 10 cadáveres *D. citri* y 10 cadáveres de *T. citricida* infectados por *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea* reportando una tasa de mortalidad para el *D. citri*, que oscilan entre el 51,2 y el 81,9 % con *B. bassiana* y el 36,2 al 68 % con *Isaria fumosorosea* usando cadáveres de *T. citricida*, en el caso de *T. citricida* se obtuvieron los siguientes datos siendo la tasa de mortalidad de entre el 35,4 y el 87,7 % con *B. bassiana* y del 41,7 al 80,4 % con *I. fumosorosea*. usando cadáveres de *D. citri* (Conceschi, D'Alessandro, Moral, Demétrio, Delalibera Jr 2016.)

Las condiciones climáticas juegan un papel importante en la eficiencia de los hongos entomopatógenos logrando así afectar el rendimiento de los mismos, como muestra tenemos el siguiente trabajo donde se probaron 19 aislados de *Beauveria bassiana* sobre insectos adultos de *Phyllognathus excavates*, *Capnodis* spp, *Cerambyx dux*, *Eurygaster integriceps*, y larvas de *B. mori* bajo condiciones climáticas de 20°C, 25°C, 30°C y 35°C reportando que los aislados son capaces de germinar y crecer con temperaturas de 25 a 30°C, mientras que a temperaturas de 35°C no obtuvieron germinación. (Alali, Mereghetti, Faoro, Bocchi, Al Azmeh y Montagna 2019).

Bajo condiciones de laboratorio se evaluaron el efecto que tiene la exposición al calor en distintas horas y diferentes suspensiones sobre el hongo *Metarhizium anisopliae* siendo el hospedero *Rhipicephalus sanguineus* las horas de exposición fueron de 2, 4, 6 y 8 horas a una temperatura de 40°C al concluir su trabajo ellos reportaron un retraso significativo en la germinación a las 6 horas de calor exposición, donde la germinación relativa media de conidia suspendido en agua alcanzó el 2,2 % a 8 h y no superó 52 % a 24 h de incubación, mientras que el conidia suspendido en aceite 32 % a 8 h de incubación y del 92,2 % a 24 h (Alves, Bernardo, Paixão, Barreto, Luz, Humber y Fernandes 2017).

Se sometieron aislados de hongos entomopatógenos a una temperatura de 45°C por lapsos de 1, 2, 3 y 4 horas y con exposición de rayos ultra violeta de 0.1 y 0.2 joule, reportando que los hongos *P. lilacinum*, *B. bassiana*, *L. attenuatum* y *C. rosen*, fueron más susceptible al tratamiento térmico. Obteniendo una tasa de germinación de entre 5 y 99% después de 0,1 J cm<sup>2</sup> de exposición a la irradiación, mientras que los aislados, *C. rosea* y *A. flavus*, dieron como resultado altas tasas de germinación por encima del 80% después de 0,2 J cm<sup>2</sup>. (Shin, Bae, Kim, Yun y Woo 2017)

Diversos factores pueden afectar la viabilidad del formulado de hongos entomopatógenos y para tener un mejor entendimiento del tema se llevó a cabo el siguiente trabajo donde se evaluaron la influencia de dos métodos de secado, varios sistemas de envasado de atmósfera y temperaturas de almacenamiento con el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* obteniendo como resultado que esta tiene un índice de germinación del 80% en ambos tipos de secados empleados (Drying Air Spray y Air drying), para su almacenamiento en vacío se guardaron a temperaturas de 4°C y 28°C en ambos tipos de secado, sin mostrar alguna diferencia significativa (F1, 118 = 0.36, P = 0.5523), sin embargo si hay diferencias significativas en la vida útil de la blastospora al momento de su embalaje ya que los que se guardaron con gel absorbente mostraron una supervivencia por más tiempo en comparación de las que no se guardaron con gel absorbente (F1, 94 = 11.64, P = 0.001) (Mascarin, Jackson, Behle, Kobori y Delalibera 2016).

Se evaluaron las velocidades de germinación de los conidias producidos en diferentes tratamientos, inoculando 40 sl (105 conidia ml<sup>-1</sup> 3) de la suspensión en 4 ml de medio PDA en 4 platos de poliestireno Petri (35 x 10 mm) a una temperatura de 28°C en la oscuridad, por ser su condición óptima de germinación y crecimiento del aislado de (*Metarhizium robertsii*) Cada tratamiento se repitió tres veces con un nuevo lote de conidia producido para cada repetición, Los tratamientos fueron: 1) Conidia producida en el medio PDA en la oscuridad; 2) Conidia producido en medio PDA bajo luz blanca; 3) Conidia producida en PDA medio bajo luz azul; 4) Conidia producida en medio PDA bajo luz roja; 5) Conidia producida en medio mínimo más 3% de lactosa. Llegando a la conclusión de que la luz blanca provoca un aumento en la velocidad de germinación de las conidias y también volviéndolas más virulentas (Oliveira, Braga, Rangel, 2018).

Los hongos entomopatógenos pueden actuar como endófitos y por tanto utilizarse con mayor eficacia contra los fitófagos (Mwanbury 2020). Levchenko, Gerus, Malish, Orazova y Lednev (2020) demostraron experimentalmente que una cepa de *B. bassiana*, fue capaz de colonizar hojas de trigo y

formar una asociación en la cual el hongo crecía de forma endófito, causando daño a dos especies de langostas (*Locusta migratoria migratorioides* y *Schistocerca gregaria*). Akello, Dubois, Coyne y Kyamanywa (2020) demostraron que *B. bassiana* actuaba como endófito en *Musa* sp. Afectando a *Cosmopolites sordidus*, sin causar efectos en el crecimiento de las plantas de banano. Wei, Li, Xu, Zhang y Liu (2020) demostraron esa misma capacidad por *B. bassiana* en el control de *Bemisia tabaci* en el tomate (*Solanum lycopersicum*). Canasa, Tall, Moral, De Lara, Delalibera y Meyling (2019) lograron demostrar el efecto endófito y endopatógeno de *B. bassiana* y *Metarhizium robertsii* en el control de ácaros (*Tetranychus urticae*) en frijol (*Phaseolus vulgaris*), sin afectar al ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis*.

## CONCLUSIÓN

El uso de los hongos entomopatógenos ha demostrado ser una opción viable para el control de plagas, incluyendo su acción como endófitos; sin embargo, hay diversos factores que pueden aumentar o reducir la eficiencia de los mismos entre los principales factores están la temperatura, la ubicación del hongo en la planta después de su aplicación, los medios que tiene el hongo para infectar a nuevos huéspedes, la adaptación de los insectos al hongo y viceversa (coevolución), la exposición a los rayos solares, su métodos de almacenamiento, la selección de la cepa y el modo en el que se va a emplear, entre otros. Todos estos están afectados actualmente, por los efectos del cambio climático. Por esto es necesario siempre tener en mente tanto a los diferentes factores, como al contexto de modificación climática y ambiental presente, para así poder garantizar mejores resultados y evitar errores por malas aplicaciones.

## REFERENCIAS

Akello, J., Dubois, T., Coyne, D. & Kyamanywa, S. (2008). Effect of endophytic *Beauveria bassiana* on populations of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, and their damage in tissue-cultured banana plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 129(2):157-165. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00759.x>Citations: 44.

Alali, S., Mereghetti, V., Faoro, F., Bocchi, S., Al Azmeh, F., and Montagna, M. (2019). Thermotolerant isolates of *Beauveria bassiana* as potential control agent of insect pest in subtropical climates. PLoS ONE 14:e0211457. doi: 10.1371/journal.pone.0211457

Alves, F.M., Bernardo, C.C., Paixão, F.R.S., Barreto, L.P., Luz, C., Humber, R.A., Fernandes, E.K.K., 2017. Heat-stressed *Metarhizium anisopliae*: viability (in vitro) and virulence (in vivo) assessments against the tick *Rhipicephalus sanguineus*. Parasitol. Res. 116, 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5267-z>

Ausique, J.J.S., D'Alessandro, C.P., Conceschi, M.R., Mascarín, G.M., Delalibera Jr., I., 2017. Efficacy of entomopathogenic fungi against adult *Diaphorina citri* from laboratory to field applications. J. Pest. Sci. 90, 947–960. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0846-z>

Behie, S. W., Jones, S. J., and Bidochka, M. J. (2015). Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi *Metarhizium* and *Beauveria*. Fungal Ecol. 13, 112–119. doi: 10.1016/j.funeco.2014.08.001

Braga GUL, Rangel DEN, Fernandes ÉKK, Flint SD, Roberts DW (2015) Molecular and physiological effects of environmental UV radiation on fungal conidia. Curr Genet In Press. <https://doi.org/10.1007/s00294-015-0483-0>

Camargo, M.G., Nogueira, M.R.S., Marciano, A.F., Perinotto, W.M.S., CoutinhoRodrigues, C.J.B., Scott, F.B., Angelo, I.C., Prata, M.C.A., Bittencourt, V.R.E.P., 2016. *Metarhizium anisopliae* for controlling *Rhipicephalus microplus* ticks under field conditions. Vet. Parasitol. 223, 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.04.014>

Canasa, F., Talla, S., Morla, R.A., De Lara, I.A.R., Delalibera, I. & Meyling, N.V. (2019). Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. Biological Control 132: 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.003>

Conceschi, M.R., D'Alessandro, C.P., Moral, R.A., Demétrio, C.G.B., Delalibera Jr., I., 2016. Transmission potential of the entomopathogenic fungi *Isaria fumosorosea* and *Beauveria bassiana* from sporulated cadavers of *Diaphorina citri* and *Toxoptera citricida* to uninfected *D. citri* adults. Biocontrol 61, 567–577. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9733-4>

- Delalibera Jr., I., 2017. Autoinoculation trap for management of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) with *Beauveria bassiana* (Bals.) in coffee crops. *Biol. Control* 111, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.05.007>
- Faria, M., Lopes, R.B., Souza, D.A., Wraight, S.P., 2015. Conidial vigor vs. viability as predictors of virulence of entomopathogenic fungi. *J. Invertebr. Pathol.* 125, 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2014.12.012>
- Faria, M., Martins, I., Souza, D.A., Mascarin, G.M., Lopes, R.B., 2017. Susceptibility of the biocontrol fungi *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma asperellum* (Ascomycota: Hypocreales) to imbibitional damage is driven by conidial vigor. *Biol. Control* 107, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.015>
- Fernandes EK, Rangel DE, Braga GU, Roberts DW, 2015. Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: a review on screening of strains and their formulation. *Current Genetics* 61: 427e440; <https://doi.org/10.1007/s00294-015-0492-z>
- García-Ortiz, N., Figueroa-Martínez, F. J., Carrasco-Navarro, U., Favela-Torres, E., and Loera, O. (2018). The oxygen concentration in cultures modulates protein expression and enzymatic antioxidant responses in *Metarhizium lepidiotae* conidia. *Fungal Biol.* 122, 487–496. doi: 10.1016/j.funbio.2017.10.013
- Garcia-Ortiz N, Tlecuitl-Beristain S, Favela-Torres E, Loera O, 2015. Production and quality of conidia by *Metarhizium anisopliae* var. *lepidiotum*: critical oxygen level and period of mycelium competence. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99: 2783e2791. <https://doi.org/10.1007/S00253-014-6225-2>.
- Garrido-Jurado, I., Fernandez-Bravo, M., Campos, C., and Quesada-Moraga, E. (2015). Diversity of entomopathogenic Hypocreales in soil and phylloplanes of five Mediterranean cropping systems. *J. Invertebr. Pathol.* 130: 97–106. doi: 10.1016/j.jip.2015.06.001
- Greenfield, M., Gomez-Jimenez, M. I., Ortiz, V., Vega, F. E., Kramer, M., and Parsa, S. (2016). *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biol. Control* 95: 40–48. doi: 10.1016/j.biocontrol.2016.01.002

- Hassan, N., Rafiq, M., Hayat, M., Shah, A.A, & Hasan, F. (2016). Psychrophilic and psychrotrophic fungi: a comprehensive review. *Rev Environ Sci Biotechnol* **15**: 147–172. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9395-9>
- Inglis, G. D., Duke, G. M., Goettel, M. S., Kabaluk, J. T., and Ortega-Polo, R. (2019). Biogeography and genotypic diversity of *Metarhizium brunneum* and *Metarhizium robertsii* in northwestern North American soils. *Can. J. Microbiol.* 65, 261–281. doi: 10.1139/cjm-2018-0297
- Jaramillo, J.L., Montoya, E.C., Benavides, P., Góngora, C.E.B., 2015. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de broca del café en frutos del suelo. *Rev. Colomb. Entomol.* 41: 95–104.
- Joop G, Vilcinskas A. Coevolution of parasitic fungi and insect hosts. *Zoology (Jena, Germany)*. 2016;119(4): 350–8. doi:10.1016/j.zool.2016.06.005
- Klingen, I., Westrum, K., Meyling, N.V., 2015. Effect of Norwegian entomopathogenic fungal isolates against *Otiorynchus sulcatus* larvae at low temperatures and persistence in strawberry rhizospheres. *Biol. Control* 81: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.10.006>
- Keyser, C. A., Fernandes, É. K. K., Rangel, D. E. N., Foster, R. N., Jech, L. E., Reuter, K. C., et al. (2017). Laboratory bioassays and field-cage trials of *Metarhizium* spp. isolates with field-collected Mormon crickets (*Anabrus simplex*). *Biocontrol* 62, 257–268. doi: 10.1007/s10526-016-9782-8
- Lee WW, Shin TY, Bae SM, Woo SD, (2015). Screening and evaluation of entomopathogenic fungi against the green peach aphid, *Myzus persicae*, using multiple tools. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 18: 607e615; <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2015.07.012>
- Levchenko, M., Gerus, A., Malish, S., Orazova, S. & Lednev, G. (2020). The effect of endophytic colonization of wheat plants by the fungus *Beauveria bassiana* on the development of the nymphs of the migratory and desert locusts. Pp. -4. In: IV All-Russian Plant Protection Congress. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201800018>
- Lopes, R.B., Laumann, R.A., Blassioli-Moraes, M.C., Borges, M., Faria, M. (2015). The fungistatic and fungicidal effects of volatiles from metathoracic glands of soybean attacking stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) on the entomopathogen *Beauveria bassiana*. *J. Invertebr. Pathol.* 132, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.08.011>

- Mascarin, G.M., Jaronski, S.T., 2016. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 32, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
- Mascarin, G.M., Jackson, M.A., Behle, R.W., Kobori, N.N. & Delalibera Jr., I. (2016) .Improved shelf life of dried *Beauveria bassiana* blastospores using convective drying and active packaging processes. *Appl Microbiol Biotechnol* **100**, 8359–8370. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7597-2>
- Mascarin, G. M., Jackson, M. A., Kobori, N. N., Behle, R. W., & Delalibera Júnior, Í. (2015). Liquid culture fermentation for rapid production of desiccation tolerant blastospores of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* strains. *Journal of Invertebrate Pathology*, 127, 11–20. doi:10.1016/j.jip.2014.12.001
- McGuire AV and Northfield TD (2020) Tropical occurrence and agricultural importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:6. doi: 10.3389/fsufs.2020.00006
- Mukherjee, K., and Vilcinskis, A. (2018). The entomopathogenic fungus *Metarhizium robertsii* communicates with the insect host *Galleria mellonella* during infection. *Virulence* 9, 402–413. doi: 10.1080/21505594.2017.1405190
- Murphy, B.R., Martin Nieto, L., Doohan, F.M. & Hodkinson, T.R. (2015) *Profundae diversitas*: the uncharted genetic diversity in a newly studied group of fungal root endophytes. *Mycology*, 6:3-4, 139-150, DOI: 10.1080/21501203.2015.1070213
- Mwambury, L.A. (2020). *Beauveria*. Chapter 37. Pp. 727-748. In: *Beneficial Microbes in Agroecology. Bacteri and fungi*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00037-X>
- Oliveira, A. S., Braga, G. U. L., & Rangel, D. E. N. (2018). *Metarhizium robertsii* illuminated during mycelial growth produces conidia with increased germination speed and virulence. *Fungal Biology*, 122(6), 555–562. doi:10.1016/j.funbio.2017.12.009
- Rangel, D. E. N., Braga, G. U. L., Fernandes, É. K. K., Keyser, C. A., Hallsworth, J. E., and Roberts, D. W. (2015). Stress tolerance and virulence of insect-pathogenic fungi are determined by environmental conditions during conidial formation. *Curr. Genet.* 61, 383–404. doi: 10.1007/s00294-015-0477-y

Shin, T. Y., Bae, S. M., Kim, D. J., Yun, H. G., and Woo, S. D. (2017). Evaluation of virulence, tolerance to environmental factors and antimicrobial activities of entomopathogenic fungi against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Mycoscience* 58, 204–212.

<https://doi.org/10.1016/j.myc.2017.02.002>

Wei, Q.Y., Li, Y.Y., Xu, C., Zhang, Y.R. & Liu, H. (2020). Endophytic colonization by *Beauveria bassiana* increases the resistance of tomatoes against *Bemisia tabaci*. *Arthropod-Plant Interactions* 14:289–300. <https://doi.org/10.1007/s11829-020-09746-9>

Younas A, Khan Z, Waqil W, Shaaban M, Prager SM. The efficacy of *Beauveria bassiana*, jasmonic acid and chlorantraniliprole on larval populations of *Helicoverpa armigera* in chickpea crop ecosystems. *Pest Manage. Sci.* 2016. <https://doi.org/10.1002/ps.4297>

## **7.2.- Capítulo 2: CONTROL DE *Melanaphis sacchari* UTILIZANDO *Beauveria bassiana* Y *Metarhizium anisopliae* EN ÉPOCA SECA, CAMPECHE, MÉXICO**

### **CONTROL OF *Melanaphis sacchari* USING *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* IN DRY SEASON, CAMPECHE, MEXICO**

Delfino Daniel Lorenzo-Cámara, Noel Antonio González-Valdivia\*, Enrique Arcocha-Gómez, Alicia Eugenia Puertovannetti-Arroyo y Miguel Arcángel Burgos-Campos

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. C.P. 24500

\*Autor de correspondencia ([siankaan2003@gmail.com](mailto:siankaan2003@gmail.com))

Documento sometido en la modalidad de Artículo Científico bajo las normas editoriales de la Revista Fitotecnia Mexicana. Se anexa carta de recepción por dicha revista.
---

### **RESUMEN**

El pulgón amarillo de la caña de azúcar (*Melanaphis sacchari*) es una plaga que causa daños al cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*), que requiere acciones para su manejo efectivo, protegiendo la sustentabilidad ecológica y la economía del productor. El control biológico de la plaga, utilizando a dos hongos entomopatógenos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* fue experimentalmente contrastado, en un diseño en bloques completos al azar, contra el efecto del control químico convencional basado en Imidacloprid (Confidor Bayer), durante la época seca de 2019, en Chiná, Campeche, México. El control químico mostró el mejor desempeño. Tanto *B. bassiana* como *M. anisopliae* no causaron efectos notables en el control del pulgón. El químico superó en rendimiento de grano a los entomopatógenos, aunque todos fueron cercanos al promedio en la región. Es posible que el sorgo soporte una mayor presión y umbral de daño económico de la plaga. Los menores costos de producción asociados al uso de hongos entomopatógenos, benefician el cambio de tecnología, pero los menores rendimientos e ingresos, dificultan proponerlos como sustitutos del químico. La menor humedad y altas temperaturas presentes en el período, probablemente agravadas por el cambio climático, pudieron afectar la efectividad de los hongos, fenómeno que amerita estudiarse.

**Palabras claves:** Hongos entomopatógenos, análisis económico, control biológico, época seca sorgo,

## SUMMARY

Sugarcane yellow aphid (*Melanaphis sacchari*) is a pest causing damages on sorghum crops (*Sorghum bicolor*), which requires actions to effective management, protecting both, ecological sustainability and farmer economy. Pest biological control, using two entopathogenous fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, was experimentally contrasted, in a randomized complete block design, against the conventional chemical control effect, based on Imidacloprid (Confidor Bayer), during the dry season of 2019, in Chiná, Campeche, Mexico. Chemical control showed the best performance. Both *B. bassiana* and *M. anisopliae* did not cause notable effects on aphid control. The chemical outperformed in grain yields to entomopathogens, although all were close to the average in the region. Sorghum may support

a higher pressure and economic damage threshold for the pest. Lower production costs associated with the use of entomopathogenic fungi benefit the change in technology, but the lower yields and income make it difficult to propose them as substitutes for the chemical. The lower humidity and high temperatures present in the period, probably aggravated by climate change, could affect the effectiveness of the fungi, a phenomenon that merits study.

**Keywords:** Entomopathogenic fungus, economic analysis, biological control, dry season, sorghum.

## INTRODUCCIÓN

En México se producen anualmente más de 7 millones de toneladas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Möench) (SIAP 2016), cultivo que es afectado por el pulgón amarillo de la caña de azúcar o del sorgo, *Melanaphis sacchari* Zehntner, que ha causado pérdidas de 30% a 100% en campo (Quijano-Carranza *et al.*, 2017). Reportado por primera vez en Florida (Lagos-Kutz *et al.*, 2018) apareció en 2013 en Texas, Estados Unidos de América (Souza y Davis, 2020), desde donde pasó probablemente a México, afectando inicialmente a Tamaulipas y luego a Sinaloa, Guanajuato, Michoacán, Nayarit, Morelos y Campeche (Rodríguez del Bosque y Terán, 2015; Bowling *et al.*, 2016; Peña-Martínez *et al.* 2016).

El daño provocado por el pulgón amarillo proviene de succión de la savia, que debilita a la planta (Descamps y Sánchez, 2011), así como del depósito de secreciones azucaradas que provocan el desarrollo de fumagina en las hojas, interfiriendo con la fotosíntesis (Singh *et al.*, 2004). Todo esto afecta negativamente el crecimiento y rendimiento del sorgo (Bowling *et al.*, 2016). El umbral de daño económico se ha estimado entre 40 y 125 pulgones por planta y requiere varias aplicaciones de insecticidas químicos para su control efectivo (Gordy *et al.*, 2019; Souza y Davis, 2020), lo que puede llevar a daños ambientales o a la salud (Zepeda-Jazo, 2018).

Entre las tácticas de control sugeridas están: eliminación de plantas hospederas y delimitación de fechas de siembra, hongos entomopatógenos, depredadores y control químico (SENASICA, 2014; CESAVEG, 2015). Esta última es dominante (Bowling *et al.*, 2016;

Quijano-Carranza *et al.*, 2017), pero potencialmente perjudicial tanto para el ambiente como para la salud humana, por lo que se requieren otras alternativas (Abd El Ghany, 2015).

Los hongos entomopatógenos completan su ciclo de vida (adhesión, penetración y micelización) en el insecto sin dañar a las plantas (Pucheta-Diaz *et al.*, 2006; Meyling y Eilenberg, 2007; Hasan *et al.*, 2012). Se encuentran de manera natural en los ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2009) y algunos como *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, han sido encontrados como endófitos en cultivos de interés agronómico (Vega *et al.*, 2008). En México, Zambrano-Gutiérrez *et al.* (2019) han informado de cepas de *Lecanicilium longisporum*, *B. bassiana* e *Isaria javanica* afectando naturalmente a *M. sacchari*. La capacidad infectiva de los entomopatógenos puede verse disminuida por las altas temperaturas y menor humedad en época de estrés hídrico o seca del trópico, que además puede agravarse, por efecto del cambio climático (Bidartondo *et al.*, 2018).

A partir de lo antes mencionado, se planteó como objetivo de este estudio, determinar la efectividad en campo, del control ejercido sobre *Melanaphis sacchari* por dos hongos entomopatógenos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, comparados con el control químico (imidacloprid) durante la época seca, en el estado de Campeche, México. Los resultados podrán ayudar a mejorar estas técnicas del manejo de la plaga en la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento en campo se realizó durante la época de seca, del 7 de febrero al 30 de mayo del 2019, en la Unidad de Producción “Rancho Xamantun”, del Instituto Tecnológico de Chiná, en Campeche, en luvisol férrico, bajo el clima de la región (AW0), considerado como cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 26 a 28°C (García, 1986). En el periodo de estudio se presentaron temperaturas diurnas superiores a los 35°C y humedad relativa menor que 70%, particularmente en los meses de abril y mayo (CONAGUA, 2019).

Se estableció un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de 30 m<sup>2</sup> (6 m x 5 m) cultivadas con sorgo de grano (*Sorghum bicolor* (L.) Möench.), a una densidad de 300 mil plantas/ha, sembradas en la primera semana de febrero.

Cada bloque se conformó por tres parcelas experimentales, asignando a cada una un tratamiento: a) Imidacloprid (Confidor Bayer), b) *Beauveria bassiana* y, c) *Metarhizium anisopliae* (la cepa HMaoo5m denominada comercialmente MetaKill). Los hongos procedieron del Colegio de Posgraduados, sede Sihochac, Campeche, con una formulación de  $1 \times 10^{10}$  conidios y la dosis empleada fue la recomendada por el proveedor (750 g/ha/aplicación), por cuatruplicado durante el ciclo, iniciando después de 25 días de establecido el cultivo, con intervalo de una semana entre estas. Las tres bombas de aspersión que se emplearon fueron Jacto PJH de 20 L.

Se fertilizó a la siembra con 200 kg/ha de DAP (18-46-00), más una aplicación de Urea 46%, 15 días después de la siembra. El área se mantuvo libre de plantas arvenses durante los primeros 45 días, que es el crítico de competencia para el sorgo. El borde perimetral externo fue de 3 m de ancho. Dentro de la parcela útil, es decir, los cuatro surcos centrales de un total de seis, considerando bordes 50 cm en sus extremos, se marcaron 10 plantas de sorgo, a las cuales se visitó cada semana para medir las variables de crecimiento. Estas fueron: pulgones totales, altura, promedio de hojas, hojas sanas y hojas afectadas por el pulgón amarillo por planta. Los pulgones fueron contabilizados en una hoja de la parte media de la planta y otra de la parte superior en cada planta.

Se realizaron análisis de varianzas paramétricas (ANOVA de una vía) y separación de medias por el método de Tukey (95% confianza), para las variables de crecimiento, cuando se determinó normalidad y homocedasticidad en sus distribuciones, mediante las pruebas de Shapiro-Wilkinson y Levene, respectivamente. En el caso de la densidad de pulgones, se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y de Mann-Whitney. Para realizar los análisis estadísticos se empleó el programa PAST 3.25 (Hammer *et al.*, 2001).

Se registraron los costos de producción asociados a cada tratamiento experimental, extrapolando estos a una hectárea, así como los ingresos por venta de grano en la temporada. Con estos datos se estimaron otras variables financieras básicas, como el costo total de producción, los ingresos brutos y netos, que sirvieron luego para determinar si uno de los

entomopatógenos podía desplazar, desde esa perspectiva al manejo convencional basado en químicos de síntesis industrial.

## RESULTADOS

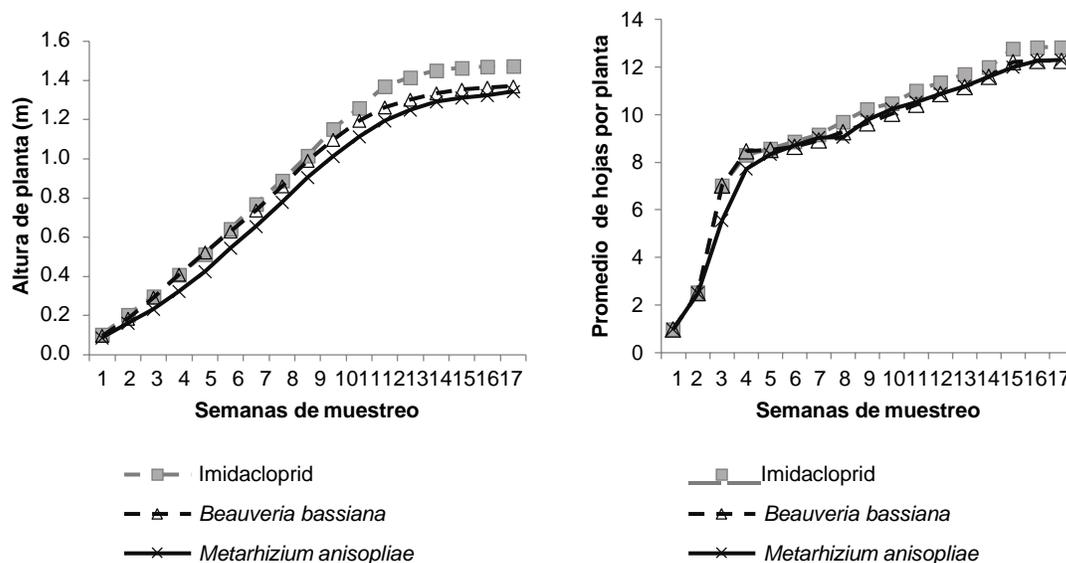
### Efectos sobre el pulgón amarillo del sorgo

Aun cuando se encontraba en plantas hospederas del perímetro desde el mes de febrero, la aparición de la plaga fue tardía dentro del cultivo, detectándose hasta el mes de mayo, lo que permitió que el sorgo creciera e iniciara panojas, libres de la presión por el pulgón amarillo. Esta situación pudo minimizar el daño en campo al cultivo. No obstante, la cantidad de pulgones contabilizados en promedio por planta de sorgo superó el umbral de daño económico, de manera que el menor promedio con el uso de imidacloprid, registró 68( $\pm$ 25), 101( $\pm$ 75) y 110( $\pm$ 89) pulgones por planta en la segunda, tercera y cuarta semana de mayo, mientras que en las plantas tratadas con hongos, las densidades fueron más altas, con *B. bassiana* permitiendo entre 32( $\pm$ 18), 469( $\pm$ 126) a 488( $\pm$ 150) y *M. anisopliae* entre 37( $\pm$ 13), 520( $\pm$ 128) a 481( $\pm$ 183) pulgones por planta, respectivamente. El químico superó a ambos controladores biológicos en los tres muestreos (Kruskal-Wallis = 14.09, 16.67 y 19.37,  $p < 0.0001$ ), que no tuvieron diferencias entre sí.

### Sobre el crecimiento

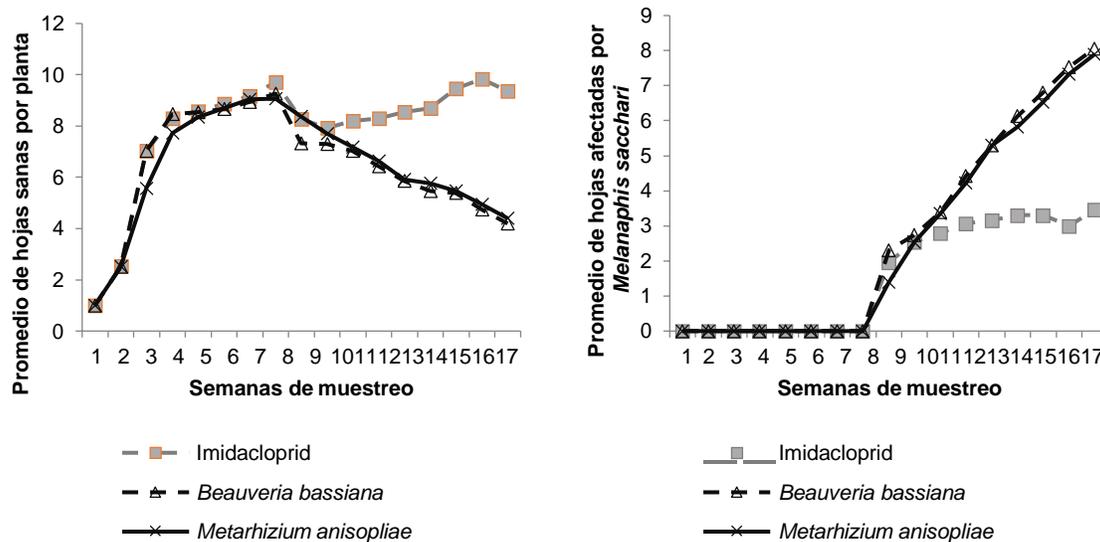
La altura y el número de hojas en las plantas de sorgo no mostraron diferencias ( $p > 0.05$ ), pero estas sí se presentan respecto al promedio de hojas de las plantas de sorgo sanas ( $F = 108.1$ ,  $p < 0.0001$ ) y también entre las que fueron afectadas por el pulgón amarillo ( $F = 150.6$ ,  $p < 0.0001$ ). Con un promedio de 2( $\pm$ 1) hojas afectadas por el pulgón, imidacloprid protegió significativamente mejor el follaje que los entomopatógenos, mismos que alcanzaron promedios de 8( $\pm$ 1) hojas afectadas por planta. En el caso de las hojas sanas, la relación es semejante, y bajo el imidacloprid se observó un promedio de 10( $\pm$ 1) hojas sanas, significativamente mayor que los promedios de 5( $\pm$ 1) hojas sanas contabilizadas en plantas

tratadas con hongos. En la figura 1 se pueden observar las semejanzas que las plantas presentaron respecto a la altura y el número de hojas durante todo su ciclo de crecimiento.



**Figura 1. Izquierda, altura de la planta de sorgo (*Sorghum bicolor* Möench). Derecha, promedio de hojas por planta observados bajo tres tratamientos experimentales de control del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari* Zehntner), en la época seca del 2019, en la localidad de Chiná, Campeche, México.**

La Figura 2, muestra que el promedio de hojas sanas bajo el efecto de Imidacloprid, permanece constantemente por encima de los resultados observados bajo los dos hongos entomopatógenos estudiados. Semejante al comportamiento observado respecto al promedio de hojas afectadas por el pulgón, que resulta menor cuando la planta recibió el tratamiento químico, y se incrementa el nivel de daño observado en función del tiempo, bajo los dos hongos entomopatógenos utilizados, *B. bassiana* y *M. anisopliae*.



**Figura 2. Izquierda: Promedio de hojas sanas por planta de sorgo (*Sorghum bicolor*). Derecha: promedio de hojas afectadas por el pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*), observados bajo tres tratamientos experimentales en la época seca de 2019 en Chiná, Campeche, México.**

## Efectos sobre el rendimiento

El rendimiento del sorgo, al controlar la plaga con imidacloprid, demostró una significativa superioridad al ser comparado con los obtenidos en las parcelas protegidas con los hongos ( $p < 0.001$ ). Los entomopatógenos, no tuvieron diferencias significativas entre sí para esta variable ( $p = 0.9088$ ). En la figura 3 se describen los resultados, los que permiten observar que, de manera consistente, el tratamiento con el insecticida neonicotinoide casi duplica la producción de grano, respecto a las opciones biológicas.

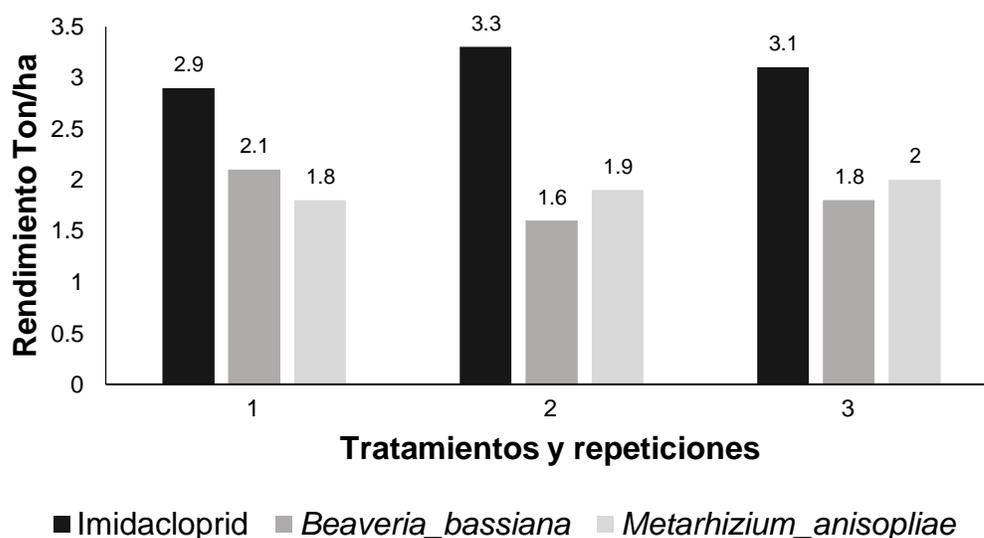


Figura 3. Rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor*) bajo tres tratamientos, control químico (Imidacloprid), *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, empleados en la época seca de 2019 en Chiná, Campeche, México.

### Comparación de resultados por análisis financiero

Los análisis financieros realizados a las opciones de control del pulgón amarillo del sorgo, muestran que los costos de utilizar el imidacloprid superan a los incurridos al utilizar hongos entomopatógenos (Cuadro 1). El precio de venta del grano de sorgo para el periodo se ubicó en los \$3.50 pesos MN, permitiendo realizar el estimado de ingresos brutos por hectárea de cultivo bajo cada tratamiento, a los cuales se les dedujeron los costos correspondientes, para establecer el ingreso neto. Ambos entomopatógenos causaron pérdidas económicas y no lograron superar al imidacloprid, que con un ingreso neto marginal, los superó a ambos (Cuadro 2).

**Cuadro 1. Estimación de costos de producción, ingresos totales y ganancia o pérdidas obtenidas de manejar una hectárea de sorgo bajo tres diferentes tácticas de control de *Melanaphis sacchari*, durante la estación seca (febrero a mayo) del año 2019, en la localidad de Chiná, Campeche, México.**

Tratamiento	Actividad por Ha	Costo	Ganancia o Pérdida
<b>Imidacloprid</b>	Preparación del suelo*	1800.00	1,583.00
	Siembra de semilla	400.00	
	Confidor Bayer**	4,200.00	
	Semilla de sorgo	367.00	
	Renta de riego	2,500.00	
	Gasto total	9,267.00	
	Venta de cosecha	10,850.00	
<b><i>Beauveria bassiana</i></b>	Preparación del suelo	1800.00	-400.33
	Siembra de semilla	400.00	
	<i>Beauveria bassiana</i>	1,750.00	
	Semilla de sorgo	367.00	
	Renta de riego	2,500.00	
	Gasto total	6,817.00	
	Venta de cosecha	6,416.67	
<b><i>Metarhizium anisopliae</i></b>	Preparación del suelo	1,800.00	-167.00
	Siembra de semilla	400.00	
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1,750.00	
	Semilla de sorgo	367.00	
	Renta de riego	2,500.00	
	Gasto total	6,817.00	
	Venta de cosecha	6,650.00	

\*Preparación de suelo incluye un pase de chapodadora, dos pases de rastra pesada y un surcado. \*\*Tanto el tratamiento químico como con los hongos entomopatógenos incluyen en su costo el precio de producto para aplicar las dosis recomendadas por los proveedores, como el de la bomba específica utilizada en cada caso.

**Cuadro 2. Costo de producción e ingresos estimados con base a los rendimientos promedio de grano de sorgo (en kg/ha), obtenidos bajo tres tratamientos (Imidacloprid, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), utilizados en el control del pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari*, durante la época seca en la localidad de Chiná, Campeche, México.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>Precio kg (\$MN)*</b>	<b>Ingreso bruto (\$MN)</b>	<b>Costos (SMN)</b>	<b>Ingreso neto (\$MN)</b>
<b>Imidacloprid</b>	3,110.00	3.50	10,850.00	9,267.00	1,583.00
<i>B. bassiana</i>	1,833.33	3.50	6,416.67	6,817.00	-400.30
<i>M. anisopliae</i>	1,900.00	3.50	6,650.00	6,817.00	-167.00

\*Precio de compra de cada kilogramo de grano de sorgo en el mercado local de la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche, en el mes de mayo de 2019.

## DISCUSIÓN

El bajo desempeño de los hongos entomopatógenos puede deberse a las altas temperaturas, superiores a los 35°C, así como la baja humedad en la época seca, periodo cuando se realizó el experimento. Esto concuerda con Ekesi *et al.* (1999) y Dimbi *et al.* (2004), quienes mencionan que la temperatura óptima para el desarrollo de los hongos entomopatógenos es menor a 35°C. En México, la infectividad de hongos Hypocreales fue mayor a temperaturas entre 15 y 33°C y humedad relativa entre 65 y 82% (Zambrano-Gutiérrez *et al.*, 2019). Por otro lado, Souza y Davis (2020) afirman que la temperatura es un factor importante en la capacidad de daño que muestra *M. sacchari* en campo. Hódar *et al.* (2012) sugieren que el cambio climático, que incluye modificaciones en variables ambientales, como la temperatura o la humedad, está alterando el comportamiento de las plagas mientras.

El rendimiento de grano observado en el sorgo bajo el manejo con hongos se encuentra ligeramente por debajo del promedio estatal de 2,065 kg/ha (SIAP, 2018), que es superado

bajo el imidacloprid. Los resultados concuerdan con los obtenidos por González-Robaina *et al.* (2018) durante la época de sequía en Cuba y por González-Valdivia *et al.* (2019) durante la estación lluviosa en Campeche, México, con rendimientos semejantes bajo el uso de control químico en comparación con el obtenido con los hongos entomopatógenos, *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Estos últimos autores, coincidentemente, no encontraron diferencias significativas entre el número de hojas y la altura de la planta bajo los mismos tratamientos empleados en el presente trabajo, pero observaron que los entomopatógenos no pudieron equipararse al químico en el manejo en campo de *M. sacchari*. Puede presentarse el caso de que una cepa que funciona en ambientes controlados no logre repetir su efectividad una vez que se prueba en campo, por lo que este tipo de trabajos son requeridos y aportan datos importantes para el control de plagas (Sayed *et al.*, 2019)

El menor costo de producción que se alcanza al utilizar ambos entomopatógenos, es anulado al reducirse el rendimiento en campo, que incide en que bajo ambos controladores biológicos no se obtienen ingresos para el productor. Deben realizarse más esfuerzos para hacer competitivas estas opciones, en el contexto de que los cambios ambientales pueden estar afectado la efectividad de las cepas que se producen como opciones para el control biológico de plagas. Hódar *et al.* (2012) hacen énfasis en que el cambio en el clima y los factores que lo integran, ya está causando modificaciones en el comportamiento de insectos, por lo que también puede afectar el de otros organismos vivos, como los hongos.

Varios estudios explican como las modificaciones en la temperatura la humedad relativa pueden afectar el crecimiento y esporulación, por tanto la infectividad virulencia de *M. anisopliae* y *B. bassiana* y, establecen que el mejor comportamiento se ubica en el rango de 25 a 30°C, que mejora a medida que incrementa la humedad (Borisade y Magan, 2014; Mishra *et al.*, 2015). Estos dos factores son los más afectados en Campeche, donde se incrementa la frecuencia y severidad de la sequía, asociada a altas temperaturas, en detrimento de la acción de los hongos y favorable a la dinámica de población de insecto plaga. Bidartondo *et al.* (2018) afirman que el cambio climático ya afecta la biología de los hongos en el mundo. No obstante, sobre las especies entomopatógenas aún no hay suficiente información y, por tanto;

se deben profundizar las implicaciones del fenómeno global, en la implementación de estrategias de manejo integrado o agroecológico de plagas a nivel local.

## CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento podemos concluir que el uso de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* no logra superar o aproximarse a la acción de control ejercida por el imidacloprid sobre *M. sacchari*. La infestación por el pulgón amarillo, aunque tardía, perjudicó al sorgo, reduciendo su rendimiento particularmente en las parcelas tratadas con los hongos. Ambos hongos se comportaron de manera semejante entre sí, en la mayoría de las variables medidas. Las condiciones climáticas con baja humedad y temperaturas superiores a los 35°C, pudieron inhibir el desarrollo de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, disminuyendo su efectividad.

El costo del uso de hongos entomopatógenos para enfrentar al pulgón amarillo en temporada de sequía, resultó más económico que el de imidacloprid, sin embargo, los rendimientos de grano en campo, fueron significativamente menores, causando pérdida económica. Una observación importante es que, en el caso del empleo de los biológicos, los rendimientos se encuentran cerca del promedio observado en la producción de sorgo en el estado de Campeche, que es manejado convencionalmente con químicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abd El Ghany T. M. (2015). Entomopathogenic fungi and their role in biological control. OMICS eBooks Group, California, USA. 47 p. <http://doi.org/10.4172/978-1-63278-065-2-66>
- Bidartondo M. I., C. Ellisc, H. Kauserudd, P. G. Kennedye, E. A. Lilleskovf, L. M. Suza and C. Andrew (2018) Climate change: Fungal responses and effects. *In: State of the World's Fungi. Report.* K. J. Willis (ed.). Royal Botanic Gardens, Kew, UK. pp. 62–69.
- Borisade O. A. and N. Magan (2014) Growth and sporulation of entomopathogenic *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria farinosa* and *Isaria fumosorosea* strains in relation to

water activity and temperature interactions. *Biocontrol Science and Technology* 24(9): 999–1011. <https://doi.org/10.1080/09583157.2014.909007>

Bowling R. D., M. J. Brewer, D. L. Kerns, J. Gordy, N. Seiter, N. E. Elliott, G. D. Buntin, M. O. Way, T. A. Royer, S. Biles and E. Maxson (2016) Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): a new pest on sorghum in North America. *Journal of Integrated Pest Management* 7(1): 1–13. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmw011>

CESAVEG. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A.C. (2015) Guía para el manejo de Pulgón Amarillo del Sorgo. Manual Técnico. CESAVEG, Irapuato, Guanajuato, México. 24 p.

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (2019). Información estadística climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Estadistica/4053.pdf> (Diciembre 2019)

Coscollá R. (1980) Incidencia de los factores climatológicos en la evolución de las plagas y enfermedades de las plantas. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas* 6(2): 123–139.

Descamps L. R. and C. Sánchez Chopa (2011) Population growth of *Rhopalosiphum padi* L. (Homoptera: Aphididae) on different cereal crops from the semiarid pampas of Argentina under laboratory conditions. *Chilean Journal of Agriculture Research* 71: 390–394. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000300007>.

Dimbi S., N. K. Maniania, S. A. Lux and J.M. Mueke (2004) Effect of constant temperatures on germination, radial growth and virulence of *Metarhizium anisopliae* to three species of African tephritid fruit flies. *BioControl* 49:83–94. <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000009397.84153.79>

Ekesi S., Maniania N.K. and K. Ampong-Nyarko (1999) Effect of temperature on germination, radial growth and virulence of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Megalurothrips sjostedti*. *Biocontrol Science and Technology* 9(2):177–185. <https://doi.org/10.1080/09583159929767>

García, E. (1986) Apuntes de climatología. 5ª. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México. 155 p.

González-Robaina, F., R. Delgado-Acosta, Y. Díaz-Pérez, J. Herrera-Puebla, T. López-Seijas y G. Cid-Lazo (2018) Simulación del efecto del estrés hídrico en el cultivo del sorgo en suelo Ferralítico Rojo. *Revista Ingeniería Agrícola* 8(1): 3–12.

González-Valdivia, N.A., J. R. Cauich-Cauich, S. H. Pérez-Molina, M. A. Burgos-Campos y E. Arcocha-Gómez (2019) Control de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) con entomopatógenos en sorgo, en Campeche, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 5: E0051005. <https://doi.org/10.30973/aap/2019.5.0051005>.

Gordy, J. W., Brewer, M. J., Bowling, R. D., Buntin, G. D., Seiter, N. J., Kerns, D. L., Reay-Jones, F. P. F. and M. O. Way (2019) Development of economic thresholds for sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae) in susceptible grain sorghum hybrids. *Journal of Economic Entomology* 112(3): 1251–1259. <https://doi.org/10.1093/jee/toz028>

Hasan, W. A., Assaf, L. H. and S. K. Abdullah (2012). Occurrence of entomopathogenic and other opportunistic fungi in soil collected from insect hibernation sites and evaluation of their entomopathogenic potential. *Bulletin of The Iraq Natural History Museum* 12: 19–27.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. and P. D. Ryan (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1): 1–9. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)

Hódar, J. A., R. Zamora y L. Cayuela (2012) Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas* 21(3):73-78. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.0>

Lagos-Kutz, D., D. Voegtlin, J. Davis and G. Hartman (2018) Dispersal records of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae), through the Midwest Suction Trap Network. *Florida Entomologist* 101(3): 508–510. <https://doi.org/10.1653/024.101.0310>

Meyling, N. V. and J. Eilenberg (2007) Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation

biological control. *Biological Control* 43(2): 145–155.

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.07.007>

Mishra, S., P. Kumar and A. Malik (2015) Effect of temperature and humidity on pathogenicity of native *Beauveria bassiana* isolate against *Musca domestica* L. *Journal of Parasitic Diseases* 39(4): 697–704. <https://doi.org/10.1007/s12639-013-0408-0>

Peña-Martínez, R., A. L. Muñoz-Viveros, R. Bujanos-Muñiz, J. Luévano-Borroel, F. Tamayo-Mejía, y E. Cortez-Mondaca (2016) Formas sexuales del complejo pulgón amarillo del sorgo, *Melanaphis sacchari/sorghii* en México. *Southwestern Entomologist* 41(1): 127–132. <https://doi.org/10.3958/059.041.0114>

Pucheta-Díaz, M., Flores-Macías, A., Rodríguez-Navarro, S. y M. de la Torre (2006) Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia* 31(12): 856-860.

Quijano-Carranza J. A., V. Pecina-Quintero, R. Bujanos-Muñiz, A. Marín-Jarillo y R. Yañez-López (2017) Guía 2017 para el manejo del pulgón amarillo del sorgo. INIFAP, Guanajuato, México. 42 p.

Rodríguez-del Bosque, L.A. and A.P. Terán (2015) *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae): A new sorghum insect pest in Mexico. *Southwestern Entomologist* 40(2):433–434. <https://doi.org/10.3958/059.040.0217>

Sayed, S.M., Ali, E.F. and S. S. Al-Otaibi (2019) Efficacy of indigenous entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, isolates against the rose aphid, *Macrosiphum rosae* L. (Hemiptera: Aphididae) in rose production. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29(19): 1–7. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0123-y>

SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2014) Pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner). Ficha Técnica No. 43. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Ciudad de México. [http://www.cesavep.org/descargas/SORGO/FichaTécnicaNo.43Pulgonamarillo\\_25junio.pdf](http://www.cesavep.org/descargas/SORGO/FichaTécnicaNo.43Pulgonamarillo_25junio.pdf). (Junio 2020).

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018) Producción de Sorgo por Estado. <http://www.siap.gob.mx/> (Octubre 2019).

Singh, B. U., P. G. Padmaja and N. Seetharama (2004) Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: a review. *Crop Protection* 23: 739–755.

Souza M. F. and J. A. Davis (2020) Potential population growth of *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) under six constant temperatures on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Florida Entomologist* 103(1): 116–123. <https://doi.org/10.1653/024.103.0419>

Zambrano-Gutiérrez, J., Alatorre-Rosas, R., Carrillo-Benítez, M.G., Lomelí-Flores, J.R., Guzmán-Plazola, R.A., Azuara-Domínguez, A. and A. P. Terán-Vargas (2019) Species diversity of entomopathogenic fungi infecting the Sugarcane Aphid *Melanaphis sacchari*: A recently introduced pest in Mexico. *Advances in Microbiology* 9: 38–55. <https://doi.org/10.4236/aim.2019.91004>

Zepeda-Jazo, I. (2018) Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15(1): 99–108.

## **Conclusión General**

Como hemos podido observar en el presente trabajo los hongos entomopatógenos son una opción viable para combatir varias plagas agrícolas, además de reducir los distintos efectos negativos que tienen los agroquímicos sobre la salud humana y del medio ambiente, sin embargo, hay que tener en cuenta los requisitos de los mismos para que puedan cumplir su función, también los hongos entomopatógenos probablemente son mas persistentes que los agroquímicos por su capacidad de seguir presente en el campo tanto en el suelo como en la misma planta reduciendo la cantidad de hongos entomopatógenos a aplicar mediante cada ciclo con el fin de ir renovando las cepas y evitar que pierdan su virulencia, otros de los beneficios que tienen los hongos entomopatógenos es su capacidad de adaptación para seguir depredando a los insectos plagas aunque estos evolucionen cosa que los agroquímicos no poseen por lo tanto los hongos entomopatógenos probablemente poseen mejores efectos a largo plazo que los agroquímicos.

## ANEXOS

### Anexo 1. Carta de recepción de artículo científico sometido a la Revista Fitotecnia Mexicana.



#### CARTA DE RECEPCIÓN

Chapingo, Estado de México, 04 de julio de 2020

**NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la **REVISTA FITOTECNIA MEXICANA** titulado:

**CONTROL DE *Meianaphis sacchari* UTILIZANDO *Beauveria bassiana* Y *Metarhizium anisopliae* EN EPOCA SECA, CAMPECHE, MÉXICO.**

**AUTORES:** DELFINO DANIEL LORENZO CÁMARA, NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA, ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ, ALICIA EUGENIA PUERTOVANNETTI ARROYO Y MIGUEL ARCANGEL BURGOS CAMPOS

Para su evaluación, el manuscrito con clave: **R2020080** será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto esté disponible.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio y que nos proporcione su número telefónico, y correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

  
Atentamente  
Dr. Amalio Santacruz Varela  
Director

APV/gp