

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO PARASITOLOGÍA



Potencial de Metabolitos de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en el Control de *Tribolium castaneum* Herbst

Por:

**JEFF ALEXANDER MENDIETA CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO.**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Potencial de Metabolitos de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en el  
Control de *Tribolium castaneum* Herbst

Por:

**JEFF ALEXANDER MENDIETA CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ernesto Cerna Chávez  
Asesor Principal



Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar  
Asesor Principal Externo



Dra. Yisa María Ochoa Fuentes  
Coasesor



Dr. Alberto Roque Enriquez  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2024

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



---

Jeff Alexander Mendieta Cruz

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme ser parte de su comunidad estudiantil y brindarme sus instalaciones para así poder desarrollarme como Ingeniero Agrónomo Parasitólogo.

A mis asesores y coasesores, el Dr. Ernesto Cerna Chávez, Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar, Dra. Yisa María Ochoa y al Dr. Alberto Roque por la paciencia, apoyo, comentarios y conocimientos brindados a lo largo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros Samuel Fonseca, Ehecatl y Tonatiuh Hernández, Axel García, Abisai Torres, David Rico, Antonio Ramos, Braulio Medina que durante mi periodo estudiantil me han brindado su apoyo.

A todos los profesores que he tenido a lo largo de mi formación académica por las enseñanzas y el apoyo brindado.

A todas las personas que indirecta y directamente hicieron posible la realización de este trabajo y que no recuerdo en estos momentos.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Trinidad Mendieta Juárez y Martha Cruz Ortega, quienes a través de su ejemplo y enseñanza han sido mi fuente inagotable de apoyo, amor, comprensión y sabiduría a lo largo de mi vida, su incuestionable amor y confianza hacia mí, así como sus sacrificios son mi constante inspiración. Sin su apoyo constante, este logro no tendría lugar.

A mi esposa Karla Sánchez y a mi hijo Alonso, por ser mi mayor inspiración, los sacrificios y apoyo mostrados me hacen más amena esta última etapa de estudios profesionales.

A mis hermanos Andy, Christopher y Leslie, que siempre me han apoyado y han sido mis amigos durante toda mi vida.

A mis amigos que han demostrado ser un pilar en buenos y malos momentos durante mi etapa profesional, sin duda alguna sus ánimos, bromas y complicidad han hecho de este viaje algo inolvidable.

Esta tesis no es solo el resultado de mi esfuerzo. Sino también de todos aquellos que han estado a mi lado durante este proceso. Gracias por inspirarme y motivarme diariamente.

Con amor y gratitud eterna.

Jeff Alexander Mendieta Cruz

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

|  |     |
|--|-----|
| ÍNDICE GENERAL.....  | i   |
| LISTA DE CUADROS.....  | iii |
| RESUMEN .....  | iv  |
| ABSTRACT .....   | v   |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1   |
| REVISIÓN DE LITERATURA.....  | 4   |
| Importancia de granos almacenados.....                                 | 4   |
| Importancia de los insectos plaga en almacén .....                     | 5   |
| Gorgojo del maíz ( <i>Sitophilus zeamays</i> ) .....                   | 6   |
| Barrenador del grano ( <i>Rhizopertha dominica</i> ) .....             | 7   |
| Gorgojo castaño de la harina ( <i>Tribolium castaneum</i> Herbst)..... | 7   |
| Taxonomía .....  | 8   |
| Descripción morfológica.....   | 8   |
| Ciclo de vida .....  | 9   |
| Daños y pérdidas .....   | 9   |
| Control de <i>Tribolium castaneum</i> .....                            | 10  |
| Control químico.....   | 12  |
| Hongos entomopatógenos.....  | 13  |
| <i>Metarhizium anisopliae</i> .....                                    | 15  |
| <i>Beauveria bassiana</i> .....  | 16  |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 18  |
| Ubicación del experimento .....  | 18  |

|  |    |
|--|----|
| Establecimiento de colonia de <i>Tribolium castaneum</i> ..... | 18 |
| Establecimiento de los bioensayos.....                         | 18 |
| Análisis estadístico .....                                     | 19 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                   | 20 |
| CONCLUSIONES .....   | 25 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 26 |

## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Porcentaje de mortalidad de <i>T. castaneum</i> en bioensayo de inmersión con metabolitos de <i>M. anisopliae</i> .....         | 20 |
| <b>Cuadro 2.</b> Porcentaje de mortalidad de <i>T. castaneum</i> en bioensayo de película residual con metabolitos de <i>M. anisopliae</i> ..... | 21 |
| <b>Cuadro 3.</b> Porcentaje de mortalidad de <i>T. castaneum</i> en bioensayo de inmersión con metabolitos de <i>B. bassiana</i> .....           | 23 |
| <b>Cuadro 4.</b> Porcentaje de mortalidad de <i>T. castaneum</i> en bioensayo de película residual con metabolitos de <i>B. bassiana</i> .....   | 24 |



## RESUMEN

El insecto *Tribolium castaneum* es considerado una de las plagas de granos almacenados más importante y ampliamente extendida en el mundo. Este escarabajo vive y se alimenta durante sus diferentes estadios en productos secos almacenados como granos y harinas provocando pérdidas cualitativas y cuantitativas, como inadecuación de harina para pan y bollería, pérdida de proteínas, almidón y diversas vitaminas lo que genera daños económicos importantes, haciendo de su control algo imprescindible.

En este estudio se evaluó la eficacia de formulaciones a base de metabolitos de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en adultos de *Tribolium castaneum* como alternativas al control químico, se evaluaron las técnicas de inmersión y película residual en condiciones de laboratorio, donde se aplicaron las concentraciones de 500, 1000, 2500, 3000, 3500 y 5000 ppm, donde la mortalidad fue registrada diariamente durante siete días, todas las concentraciones mostraron un efecto insecticida sobre *T. castaneum*. Existieron diferencias significativas en el porcentaje de mortalidad entre los bioensayos realizados y los productos evaluados, mostrando mayor eficacia en el bioensayo de inmersión en ambos productos y documentando la susceptibilidad en insectos tratados con los metabolitos de *B. bassiana* a las concentraciones de 3500 ppm y 3000 ppm, alcanzando hasta un 28.9% y 27.8% de mortalidad respectivamente, las mortalidades más altas con el uso de metabolitos de *M. anisopliae* fue el correspondiente a 2500 ppm, del bioensayo de inmersión alcanzado hasta un 26.6% de mortalidad. Estos metabolitos son una alternativa para el control de *T. castaneum*, sin embargo, se sugiere continuar con el estudio en un periodo más largo de evaluación.

Palabras clave: *Tribolium castaneum*, Granos, Metabolitos, Bioensayos.

## ABSTRACT

The insect *Tribolium castaneum* is considered one of the most important and widespread stored grain pests in the world. This beetle lives and feeds during its different stages in dry stored products such as grains and flours causing qualitative and quantitative losses, such as inadequacy of flour for bread and pastries, loss of proteins, starch and several vitamins, which generates important economic damages, making its control essential. This study evaluated the efficacy of formulations based on metabolites of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on adults of *Tribolium castaneum* as alternatives to chemical control. The immersion and residual film techniques were evaluated under laboratory conditions, where concentrations of 500, 1000, 2500, 2500, 3000, 3500 and 5000 ppm were applied, where mortality was recorded daily for seven days, all concentrations showed an insecticidal effect on *T. castaneum*. There were significant differences in the percentage of mortality between the bioassays performed and the products evaluated, showing greater efficacy in the immersion bioassay in both products and documenting susceptibility in insects treated with metabolites of *B. bassiana* at concentrations of 3500 ppm and 3000 ppm, reaching up to 28.9% and 27.8% mortality respectively, the highest mortalities with the use of metabolites of *M. anisopliae* was that corresponding to 2500 ppm, of the immersion bioassay reaching up to 26.6% mortality. These metabolites are an alternative for the control of *T. castaneum*; however, it is suggested to continue with the study in a longer period of evaluation.

Key words: *Tribolium castaneum*, Grains, Metabolites, Bioassays.

## INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la humanidad, el alimento ha sido un factor importante para el desarrollo y crecimiento de sus poblaciones, ya que estos aportan nutrientes esenciales para el ser humano, los granos, son de gran importancia en el mundo ya que además de consumirse como alimento, funge como materia prima para la elaboración de una gran variedad de productos (Tortajada y Zhang, 2021). El hombre necesita almacenar muchos de los productos vegetales, incluidos los granos que se utilizan como alimento, porque en la mayoría de los casos la producción es estacional, siendo una de las principales preocupaciones ya que durante el almacenamiento diversos factores deterioran y destruyen los alimentos (Dell' Orto Trivelli, 1985). Factores como el almacenamiento, zona donde se producen y daños por insectos plaga contribuyen al deterioro, siendo de gran importancia estos últimos debido a su tamaño pequeño, su gran capacidad de reproducción y la facilidad con la que logran adaptarse a los diferentes medios, causando pérdidas de hasta el 10% de la producción mundial de alimentos durante el almacenamiento, equivalente a alimentar a 130 millones de personas anualmente (Domínguez y Marrero, 2010).

En el almacenamiento de granos y subproductos las plagas presentes se pueden agrupar por el tipo de infestación que ocasionan, las plagas primarias causan la primera infestación atacando al grano sano, destacando los gorgojos perforadores de los géneros *Sitophilus* spp., *Acanthoscelides* spp. y la palomilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*), mientras que las plagas secundarias son incapaces de penetrar el grano por lo que atacan aquellos que han sido dañados por plagas primarias afectando también subproductos de la molienda y procesados destacando los géneros *Oryzaepilus*, *Cryptolestes*, *Tenebrio*, *Tenebroides*, *Ephestia* y *Tribolium* (Garrido, 2022).

El gorgojo castaño de la harina *Tribolium castaneum* es una plaga de granos almacenados de gran importancia, debido a los daños directos que adultos y larvas causan sobre los granos y subproductos por su alimentación, sumado a que los

estándares de comercialización prohíben la venta de mercaderías con insectos vivos (Novo *et al.*, 2011). A nivel mundial, el control convencional, en su mayoría, se realiza con insecticidas químicos sintéticos, su uso es cuestionado debido a los efectos negativos provocados, como la aparición de resistencia en los insectos, contaminación ambiental, eliminación de especies benéficas y acumulación de sustancias tóxicas en los alimentos, haciendo esencial la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente y menos residuales para prevenir la pérdida de calidad de los granos y subproductos (García *et al.*, 2007).

### **Objetivo general**

Determinar el efecto insecticida de metabolitos de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* a diferentes concentraciones sobre adultos de *Tribolium castaneum* en condiciones de laboratorio.

### **Objetivos específicos**

Evaluar a diferentes concentraciones los metabolitos del hongo *Metarhizium anisopliae* para el control de *Tribolium castaneum* en bioensayos de inmersión y película residual.

Evaluar a diferentes concentraciones los metabolitos del hongo *Beauveria bassiana* para el control de *Tribolium castaneum* en bioensayos de inmersión y película residual.

### **Hipótesis**

Se espera que al menos uno de los tratamientos evaluados sea efectivo en el control de *Tribolium castaneum*.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia de granos almacenados

Desde la aparición de la agricultura y ganadería hace más de 10,000 años el hombre pudo cambiar su evolución, gracias a la domesticación de plantas y animales, surgieron así los primeros asentamientos humanos, dejando el sedentarismo como estilo de vida (Bula, 2020). La agricultura y su desarrollo han sido piezas claves en la historia de la humanidad, hoy en día esta se ha vuelto indispensable para el desarrollo del hombre y sus civilizaciones (Mazzucco *et al.*, 2020). Uno de los principales productos agrícolas son los granos, alimentos de gran valor nutritivo y gran importancia alimentaria que han visto incrementada su producción durante los últimos 50 años (Arisseto *et al.*, 2017), alcanzando una producción mundial estimada de 2,281,000,000 ton (IGC, 2022).

En México, granos como arroz, trigo, maíz y frijol requieren de cuidados especiales ya que contribuyen de manera significativa a la seguridad alimentaria de la población (SADER, 2019), de acuerdo a lo reportado por el SIAP en el año 2021 el arroz obtuvo una producción de 295, 338 ton, donde los principales estados productores fueron Nayarit, Campeche y Veracruz, en cuanto a producción de trigo, se alcanzó una producción de 2, 986, 69 ton, siendo los principales productores los estados de Sonora, Guanajuato y Sinaloa, nuestro país destaca como uno de los principales productores de maíz en grano, ocupando el octavo lugar a nivel mundial produciendo alrededor de 27, 424, 528 ton, donde destacan los estados de Sinaloa, Jalisco y Michoacán., para el caso del frijol se registró una producción de cerca de 1, 056, 071 ton, en donde Zacatecas, Sinaloa y Nayarit tienen una gran participación (SIAP, 2021), por lo cual, es importante el almacenamiento y conservación de los granos (ASERCA, 2018), debido a que en su mayoría no se consumen de inmediato, debido a la distancia entre los puntos de producción y los puntos de consumo y los excedentes de cosechas, haciendo del almacenamiento un proceso importante, el cual no está exento de pérdidas (Musso *et al.*, 2018).

## **Importancia de los insectos plaga en almacén**

Durante el proceso de producción y almacenamiento de alimentos de origen vegetal existen factores de riesgo, como los daños hechos por organismos como hongos, bacterias, virus e insectos plaga, las cuales representan de manera significativa pérdidas en volúmenes cosechados y almacenados donde se estiman pérdidas del 20 al 40%, siendo un 10% destruidas por roedores e insectos (Golden *et al.*, 2017), es en la etapa de postcosecha donde los productores y acopiadores almacenan la producción en lugares con condiciones adecuadas para la conservación de calidad y propiedades intrínsecas de los granos y semillas (Vilchez y Miller, 2006), donde los insectos de granos almacenados suponen un peligro para particulares e industrias como procesadoras de productos, almacenes, panificadoras, molinos entre otros, donde pueden provocar grandes pérdidas económicas por contaminación de alimentos, especialmente en productos terminados ya que cualquier contaminación hace que no sean aptos para el consumo humano (Mahroof y Hagstrum, 2012), en México se estiman pérdidas del 5 al 25% por insectos plaga, esto dependiendo de las condiciones del medio, lo que se refleja en pérdidas de peso, calidad, viabilidad de la semilla y además, crean condiciones óptimas para el desarrollo de hongos (Hernández *et al.*, 2014) afectando principalmente a pequeños productores de temporal, que en su mayoría carecen de lugares apropiados para almacenar granos, hacen mal uso de pesticidas y en algunos casos, no tienen accesibilidad a estos (FAO, 2010).

Numerosas especies de insectos plagas en almacén han sido reportadas, donde la mayoría de estas poseen una alta capacidad de reproducción y multiplicación, alcanzando a destruir hasta un 15% del grano además de sus subproductos y contaminar el resto con olores y sabores desagradables con exuvias y heces (Said y Pashte, 2015). Las plagas en granos almacenados son clasificadas conforme al daño que generan y el tipo de infestación, catalogándose así, como plagas primarias aquellas que son capaces de dañar granos enteros, y las plagas secundarias, que atacan granos previamente dañados por plagas primarias, es decir, necesitan de

otro insecto que inicie el daño, aunque en productos de la molienda de granos como harinas, pueden ser plagas primarias (Gutiérrez *et al.*, 2009).

Especies como el gorgojo castaño de la harina *Tribolium castaneum*, el barrenador menor de los granos *Rhyzopertha dominica* y el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* representan tres de los insectos plagas más destructivos a nivel mundial (Patiño *et al.*, 2021). Estas especies poseen características similares como su distribución cosmopolita (Sleem, 2021), tienen gran capacidad de infestar diversos productos como arroz, trigo, cebada, sorgo, frutos secos, alimentos procesados como pastas, chocolate en el caso de *S. zeamais* y *T. castaneum* puede afectar harina, legumbres y especias (Kellen *et al.*, 2016), además, del gran potencial reproductivo y adaptabilidad a medios en molinos de harina, graneros y plantas procesadoras (Pires y Nogueira, 2018), difiriendo en sus hábitos alimenticios, puesto a que *S. zeamais* y *R. dominica* son identificados como plagas primarias (Scheff *et al.*, 2022), mientras que *T. castaneum* usualmente se alimenta de granos dañados, siendo una plaga secundaria en granos enteros y en productos de molienda identificada como primaria (Deshwal *et al.*, 2020).

### **Gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamays*)**

Es una plaga de almacén de importancia económica en granos de maíz en países tropicales, la infestación de este insecto comienza en el campo, cuando la hembra oviposita en perforaciones que hacen en el grano, pero es en la etapa de almacenamiento cuando larvas y adultos causan daños más graves (García *et al.*, 2007), se reportan pérdidas en peso del grano que oscila entre el 20 y 90%, debido al poco tratamiento para esta plaga (Fikremariam *et al.*, 2009). Dentro de las alternativas para el control de este coleóptero existe el agente de control biológico *Anisopteromalus calandrae*, un himenóptero que oviposita en las galerías que crean las larvas dentro del grano y al eclosionar la larva de *A. calandrae* vive a expensas de la larva de *S. zeamays*, el control físico consiste principalmente en utilizar mezcla de cal, tierra diatomea o tizate, que se adhieren a la cutícula del insecto causándole



daño, el uso de variedades resistentes y por último, la fumigación con fosforo de aluminio (Espinosa *et al.*, 2007).

### **Barrenador del grano (*Rhyzopertha dominica*)**

Se cree que su centro de origen es la India, *R. dominica* está ampliamente distribuida y establecida en todo el mundo (Potter, 1935), se trata de un insecto polífago, ya que se alimenta de una gran variedad de cereales y granos almacenados principalmente trigo y maíz, causante de pérdidas económicas (Levy *et al.*, 2018). La etapa adulta del insecto es reportada como la más destructiva debido a su voracidad y el promedio de días que puede vivir sujeto a las condiciones ambientales (Edde, 2012), las pérdidas generadas por este coleóptero son difíciles de determinar (Hodges *et al.*, 2011), puesto a que generalmente están asociadas a otras poblaciones de insectos plaga primarios y secundarios, de igual forma, es tolerante a condiciones desfavorables y poseen una alta fecundidad, por lo que sus poblaciones incrementan rápidamente (Cox y Collins, 2022). El control convencional de esta plaga es la implementación de fumigaciones con mezclas de organofosforados y piretroides sintéticos (García *et al.*, 2007).

### **Gorgojo castaño de la harina (*Tribolium castaneum* Herbst)**

Se cree que el centro de origen de *T. castaneum* es Indo-australiano, este insecto a pesar de tener distribución cosmopolita prefiere hábitats calientes, además, es considerada como una de las plagas más comunes en granos y subproductos almacenados, mundialmente es considerado como un insecto plaga de importancia económica puesto que causa grandes pérdidas económicas (Mahroof y Hagstrum, 2012), a pesar de estar catalogada como una plaga secundaria debido a que es incapaz de dañar el grano entero para poder alimentarse, actúa como primaria en moliendas como la harina (Jayas *et al.*, 1995). Las características biológicas de *T.*

*castaneum* son su corto ciclo de vida, naturaleza polífaga y su gran capacidad para sobrevivir y competir en condiciones no favorables lo hacen una especie plaga clave en productos almacenados (Duehl *et al.*, 2011).

## **Taxonomía**

Clasificado y descrito en 1797 por Herbst, el gorgojo castaño de la harina tiene la siguiente clasificación taxonómica de acuerdo con Triplehorn *et al.*, (2004).

Reino: Animalia

Phyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleóptera

Suborden: Polyphaga

Familia: Tenebrionidae

Género: *Tribolium*

Especie: *T. castaneum* (Herbst)

## **Descripción morfológica**

El gorgojo *T. castaneum* posee metamorfosis completa, que consta de cuatro estadios huevo, larva, pupa y adulto., los huevos son pequeños, ovoides y presentan un color blanquecino, con una longitud promedio de 0.55 mm y 0.35 mm de ancho, son ovipositados en la harina o granos que servirán de alimento por lo que a menudo está cubierto con un exceso de harina (Ardila, 2020). Las larvas tienen un cuerpo con forma cilíndrica de color blanco a amarillento y cabeza café oscuro, cuando está completamente desarrollada alcanzan una longitud de hasta

7 mm (Ramayo, 1983), las pupas son de tipo exareta, cuando está recién formada es de color blanco, tornándose crema conforme avanza el proceso de formación del adulto, alcanzado longitudes que van desde los 4 a 5 mm de longitud (López, 1985), los adultos alcanzan aproximadamente unos 4 mm de longitud y se caracterizan por presentar un color café castaño, es aplanado, de forma oval, es muy activo y tiene gran longevidad (Gutiérrez, 1990), las antenas están formadas de 11 segmentos y los últimos tres son anchos y definidos, élitros estriados con puntuaciones en las inter estrías (Mound, 1989).

### **Ciclo de vida**

El ciclo de vida varía dependiendo de las condiciones ambientales, aproximadamente es de 30 a 40 días (Bajeva y Kaur, 2014), iniciando desde la postura del huevo, hasta la emergencia del adulto, donde pasa por cuatro estadios, huevo (3 días), larva (16 días), pupa (5 días) y adulto el cual puede vivir hasta más de cinco meses (Rodríguez y Herrera, 2003), en condiciones de almacenamiento en regiones templadas se puede esperar que cada dos meses y medio se presente una nueva generación, sumado a que el largo tiempo de vida del adulto pueden presentarse varias generaciones superpuestas (López Ávila, 1985). La temperatura para su desarrollo varía de 20 a 37.5°C y la humedad relativa de 10 a 90% (González *et al.*, 1983).

### **Daños y pérdidas**

Durante el almacenamiento, los productos de moliendas están sujetos a pérdidas, donde la temperatura y la humedad relativa pueden generar condiciones aptas para el desarrollo de poblaciones de insectos, que son una de las principales causas de deterioro y pérdidas en estos productos (Gorham, 1991). La hembra pone alrededor de 400 huevos durante más de un año, los huevos son difíciles de detectar, ya que

son puestos de manera aislada en los granos, adultos y larvas se alimenta de granos o harinas almacenados, además de vegetales secos en molinos y silos (García *et al.*, 2007). Cuando los niveles de infestación son altos en harina, esta se torna de un color gris, afectando su sabor y olor, debido a que el adulto segrega derivados de quinonas como acción defensiva, las cuales poseen la capacidad de inhibir el crecimiento y germinación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Davyt *et al.*, 2019), las pérdidas en productos almacenados son variables, en cuanto a harinas, se han reportado pérdidas de hasta el 20%, con tan solo dos larvas por kilo de harina (Bennet *et al.*, 1996). El consumo de materia seca en los estadios de larva y adulto de *T. castaneum* es de aproximadamente 2.76 y 0.59 mg respectivamente, este insecto se reporta como muy dañino al causar pérdidas de hasta el 31% en harinas de maíz en relación a su peso inicial en tres meses y pasar de una población de 67 individuos a 534 en un lapso de 90 días (Fraga, 2010).

### **Control de *Tribolium castaneum***

El control de esta plaga es imprescindible, debido a los daños que causan a los productos sin mencionar que los estándares de comercialización prohíben la venta de mercancías con insectos vivos (Musso *et al.*, 2018). Por lo cual, herramientas como la prevención, monitoreo y control se vuelven fundamentales para la entrega de un producto libre de insectos (Bartosik, 2012). Este insecto se encuentra dentro de las 10 plagas más resistentes a insecticidas sintéticos, se pueden aplicar diversas estrategias para el combate y prevención del establecimiento e infestación de *T. castaneum* como lo son, el control cultural, físico, biológico y químico, además de uso de productos biorracionales (Ardila, 2020).

El control cultural consta de realizar actividades antes del almacenamiento como la limpieza absoluta dentro y fuera de los almacenes y el aislamiento de estos., eliminación de polvo y residuos de productos anteriores además de evitar que el producto este en contacto con el suelo (García *et al.*, 2009).

El uso de agentes físicos como método de control demuestran eficacia, como la tierra de diatomea, que está compuesta por algas fosilizadas y actúa como insecticida produciendo heridas en los insectos, aunado a esto, posee efectos deshidratantes, pudiendo una dosis de 400 ppm producir alrededor de un 92% de mortalidad en condiciones de laboratorio (Arthur, 2000). Otros métodos de control físico son las modificaciones atmosféricas, como elevar y bajar la temperatura lo cual afecta el ciclo biológico del insecto, logrando que no se reproduzca en temperaturas menores a 21°C y mayores a 35°C por periodos largos de tiempo y la hermeticidad del almacén que restringe la entrada del insecto a los sitios, además de ajustar las condiciones para que el grano y el insecto consuman el oxígeno existente en el lugar y sustituyan por CO<sub>2</sub>, concretando una muerte por asfixia (Jian, 2019).

El control biológico se caracteriza por el uso de organismos vivos donde resaltan insectos, hongos, bacterias, virus y nematodos (Eilenberg *et al.*, 2001). Se reportan diversos agentes para el control de *T. castaneum*, destacando *Saccharopolyspora spinosa*, bacteria que al entrar en contacto con el insecto causa mortalidad (Khashaveh *et al.*, 2008), los nematodos del género *Steinernema*, en especial *S. riobrave* han demostrado eficacia para el control de larvas de *T. castaneum*, así como otros insectos plaga (Ramos *et al.*, 2007) además del hongo *Beauveria bassiana* que actúa por contacto y no necesita ser ingerido por el insecto (Zamani *et al.*, 2013).

Existen reportes del uso de extractos vegetales para el control de poblaciones de *T. castaneum*, pudiendo actuar como repelentes, efecto insecticida por ingesta y por contacto, algunas plantas son *Viola tricolor*, *Matricaria chamomilla*, *Jacaranda mimosifolia*, *Tagete minuta*, *Bacharis trimera* (Padín *et al.*, 2018), en larvas de *T. castaneum*, se han evaluado extractos de *Whitania somnifera*, *Solanum dulcamara*, *Nicotiana tabacum* y *N. rustica* a una dosis de 0.25%, ocasionando mortalidades del 50% y 70% (Villalobos, 1998). Así mismo, extractos etanolicos y hexanicos de *Schinus molle* causan toxicidad en larvas y adultos de *T. castaneum*, además de provocar actividad fagodisuasiva (Descamps *et al.*, 2008).

El empleo de la nanotecnología es de gran interés, ya que las nanopartículas pueden ser empleadas como insecticidas o fungir como acarreadores para insecticidas químicos (Shahzad y Manzoor, 2019), algunos ejemplos que pueden ser empleados en el control de insectos son nanopartículas plata, oro, óxido de aluminio, dióxido de titanio, óxido de zinc, cobre, magnetita y dióxido de silicio (Jsarotia *et al.*, 2022), que poseen una estabilidad térmica alta, toxicidad baja y un amplio rango de biocompatibilidad con moléculas y polímeros (Rahman y Padevettan, 2012). Estas actúan mediante la unión a la cutícula del insecto, a través de la fisiosorción, en donde son absorbidos por los lípidos de la cutícula del insecto provocando daño en las ceras que posteriormente propician la desecación y causar la muerte del insecto por pérdida de agua (Zahran *et al.*, 2021).

Existen estudios que avalan el uso efectivo del dióxido de silicio, en el control de *Sitophilus oryzae*, alcanzando un control del 96% (Debnath *et al.*, 2011), así mismo estas nanopartículas actúan como sistemas de entrega del ingrediente activo (clorpirifos) en contra de *R. dominicana* y *T. castaneum* (Babamir *et al.*, 2017), al combinar estas nanopartículas con aceite esencial de *Alstonia scholaris* se alcanzó hasta un 100% de mortalidad en *Sitophilus granarius* (Jafarbeigi *et al.*, 2012) Ziaee y Ganji (2016) determinaron que las nanopartículas de dióxido de silicio son una alternativa efectiva para el manejo de insectos alcanzando mortalidades del 97 y 100% respectivamente y al ser combinadas con tierra de diatomeas incrementan las mortalidades de hasta 86% en *T. confusum* y 99% en *R. dominica* (Saed *et al.*, 2022).

### **Control químico**

El gorgojo castaño de la harina es altamente resistente a tratamientos fitosanitarios sintéticos, por lo cual, cuando se aplican insecticidas, se hacen en altas concentraciones (Ringuelet *et al.*, 2014). Siendo los fumigantes insecticidas de acción tóxica en forma de gas los más utilizados, como fosfina y bromuro de metilo estos generalmente son almacenados en forma líquida o sólida, teniendo ventajas sobre otros insecticidas, ya que su estado gaseoso le permite tener mayor

capacidad de penetración y puede cubrir todos los espacios vacíos, por lo cual este control demanda un espacio herméticamente cerrado, puesto a que los vapores se dispersan rápidamente, por lo que su acción finaliza una vez que los gases escapan (Stadler *et al.*, 1990). Sin embargo, el uso de productos químicos puede afectar a enemigos naturales, contaminar medio ambiente, así como los alimentos, además la constante exposición a plaguicidas induce a generar resistencia en los insectos, por lo cual se buscan alternativas de menor impacto, pero con alta eficiencia (Akbar *et al.*, 2014). Estas alternativas incluyen el uso de sustancias naturales o microorganismos específicos para controlar plagas de manera más segura y sostenible, en los últimos años han tenido un incremento en su uso (Fathy, 2012).

### **Hongos entomopatógenos**

Son microorganismos que actúan como agentes de control biológico, se encuentran distribuidos en todo el mundo con alrededor de 700 especies capaces de demostrar patogenicidad en insectos y ácaros hasta causar su muerte (Lacey, 2012). De los cuales, la mayoría son ubicados en el Phylum Ascomycota y Entomophthoromycota, que se caracterizan por la presencia de hifas septadas y por la estructura donde se alojan las ascosporas (Vega *et al.*, 2012), dentro de las especies más comunes de hongos entomopatógenos se encuentran: *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *M. robertsii*, *M. rileyi*, *Cordyceps fumosorosea* y *C. farinosa* (López y Lecuona, 2019). Existen estudios que documentan el uso de hongos como agentes de control de escarabajos, entre ellos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (Wakill *et al.*, 2010). El uso de hongos entomopatógenos sugiere ventajas como lo son su alta especificidad, su dispersión natural, su bajo riesgo en humanos, no generan resistencia y son compatibles con insecticidas convencionales (Strasser *et al.*, 2000), de la misma manera, su uso supone ciertas desventajas como lo son, la velocidad de muerte del insecto, esto porque pasan varios días entre las etapas de infección y muerte, también, que su persistencia en el medio ambiente está sujeta a factores abióticos como la temperatura, humedad relativa y luminosidad (Padín y

Passalacqua, 2018), de igual forma, el estado del hospedero su edad y dosis son otros factores determinantes en la mortalidad (López y Lecuona, 2019). Al ser un organismo vivo, los hongos entomopatógenos deberán cumplir un ciclo biológico, el cual causa la muerte del insecto que consta de 8 procesos (Musso *et al.*, 2018).

#### 1. Adhesión.

El ciclo del hongo empieza cuando una espora asexual o conidio entra en contacto con el insecto que será su hospedero por medio de las propiedades físicas, químicas y electroestáticas de la superficie de la unidad infectiva y de la cutícula del insecto (Holder y Keyhani, 2005)

#### 2. Germinación y formación de apresorios.

Una vez retenidos los conidios en la cutícula estos se hidratan dando lugar a la germinación, los hongos crean un tubo germinativo y de apresorio en algunos casos que favorece la fijación e ingreso del hongo al interior del huésped (Musso *et al.*, 2018).

#### 3. Penetración de hifas

Tanada y Kaya, (1993) mencionan que este proceso tiene lugar cuando la hifa o el apresorio entran al insecto por las partes más débiles de cutícula, que pueden ser las membranas intersegmentales, intersección de patas, ojos y mandíbula, estos hongos secretan proteasas, quitinasas y lipasas, que degradan sus constituyentes principalmente proteínas, quitinas y lípidos (Boldo *et al.*, 2009)

#### 4. Multiplicación del hongo en el hemocele del insecto.

Una vez en el hemocele, el hongo cambia su crecimiento del micelio a crecimiento por gemación. Las blastosporas forman miceliales similares a hifas que proliferan rápidamente impidiendo la respuesta inmune del insecto (Boucias y Pendland, 1998).

#### 5. Liberación de toxinas/metabolitos



Una vez en el hemocele, las micotoxinas son secretadas por el hongo y comienza el ciclo infectivo (Tanada y Kaya, 1993).

#### 6. Invasión de tejidos, lisis y muerte del insecto.

Al multiplicarse el hongo, necesita de nutrientes y oxígeno, por lo cual, comienza una competencia por estos entre el insecto y el hongo, donde al progresar la infección el insecto empieza a presentar falta de coordinación, comportamientos alterados (Lecuona, 1996), parálisis y en algunos casos, cambios de coloración lo que posteriormente, causa la muerte del insecto previamente debilitado (Alves, 1998).

#### 7. Esporulación externa del hongo a través de la cutícula.

Una vez muerto el insecto y la humedad relativa es alta, las estructuras fúngicas comienzan a atravesar la cutícula, principalmente por las partes más débiles. El cuerpo inerte comienza a recubrirse de micelio blanco de aspecto algodonoso, para posteriormente cubrirse de conidios (Musso *et al.*, 2018).

#### 8. Infección a otros insectos sanos.

Una vez producidos los cuerpos infecciosos capaces de iniciar nuevos ciclos infecciosos en otros hospederos, tanto primarios como alternativos, diseminándose en el ambiente mediante agentes bióticos y abióticos (Fuxa y Tanada, 1987).

### ***Metarhizium anisopliae***

Este hongo se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente y suelo, crece como hifas que producen micelio y conidios, que actúan como agentes infecciosos, aunque posee un amplio espectro de hospederos, las cepas individuales tienden a ser muy específicas, forma colonias de crecimiento rápido que inicialmente son blancas y luego se tornan de color verde oscuro a negro con la maduración los conidios son unicelulares, alargados, con dimensiones típicas de alrededor de 3-6 micrómetros de ancho y 10-50 micrómetros de largo (Biswas *et al.*, 2018). *M.*

*anisopliae* var. *anisopliae* presenta alta virulencia en la garrapata *Rhipicephalus microplus*, causando hasta un 90% de mortalidad en un lapso de 4 días y en la chinche del algodón *Dysdercus peruvianus* (Schrank, 2010), así mismo la langosta *Locusta migratoria* es susceptible a este hongo (Zhang y Xia, 2009), y se reporta mortalidad del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* al exponerla a este organismo (Ulla *et al.*, 2023), así mismo *M. anisopliae* alcanzó hasta un 91% de mortalidad en larvas de *Zeugodacus cucurbitae* (Osongo *et al.*, 2022), estudios revelan la mortalidad de este hongo en *Aedes aegypti* con una mortalidad del 100% en larvas al ser sometidas a blastosporas y un 50% al tratarse con conidios (Gomes *et al.*, 2023), Una vez que *M. anisopliae* logra penetrar dentro del insecto, secreta trehalasa ácida en la hemolinfa de los insectos en grandes cantidades, donde el principal azúcar ahí es la trehalosa que es usada para nutrir al hongo a costa del insecto que irá debilitándose para posteriormente causar la muerte del insecto (Zhao y Cols, 2006), posteriormente, el hongo produce hifas que emergerán y producirán conidios en la superficie de los insectos muertos (Bidochka *et al.*, 2005).

### ***Beauveria bassiana***

Es un entomopatógeno cosmopolita, con una amplia distribución mundial, este hongo se puede encontrar en suelos, plantas e insectos muertos, posee una gran adaptabilidad puesto a que puede encontrarse en climas cálidos y templados, además de poseer un gran espectro de hospederos (Wang *et al.*, 2023), se presenta como colonias blancas y algodonosas en el cultivo, que eventualmente se vuelven grises-verdosas a medida que maduran las estructuras de dispersión, llamadas conidios, son unicelulares y alargadas, con dimensiones de aproximadamente 3 a 5 micrómetros de ancho y 6 a 10 micrómetros de largo (Vega *et al.*, 2010) *B. bassiana* infecta alrededor de 700 especies de insectos, principalmente coleópteros, lepidópteros, dípteros y hemípteros, afectando a plagas como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y la langosta (*Schistocerca gregaria*), este entomopatógeno comienza la infección cuando sus

esporas entran en contacto con la cutícula del insecto, germinan y penetran el exoesqueleto, invadiendo gradualmente los tejidos internos y causando la muerte del insecto (Goettel e Inglis, 1997). Este microorganismo es usado como agente de control biológico controlando tanto plagas agrícolas como forestales, proporciona una alternativa ecológica a los insecticidas químicos, ya que reduce el impacto ambiental y disminuye el desarrollo de poblaciones resistentes en insectos, los productos comerciales a base de *B. bassiana* se aplican en cultivos como maíz, algodón, y hortalizas (Zimmermann, 2007).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El estudio se realizó en el Laboratorio de Toxicología, en el Departamento de Parasitología, perteneciente a las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

### Establecimiento de colonia de *Tribolium castaneum*

Para el crecimiento y reproducción de la colonia, se colocaron 350 adultos de *T. castaneum* en un recipiente de plástico, utilizando 1 kg harina de trigo como sustrato, los recipientes fueron cubiertos con tela de organza y asegurado con ligas para evitar el escape de los insectos, posteriormente el recipiente fue colocado en una cámara bioclimática para lograr el incremento de la población.

### Establecimiento de los bioensayos

Se evaluaron dos formulaciones de metabolitos de hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizum anisopliae*, a través de dos bioensayos por inmersión y película residual (FAO, 1974) en cajas Petri, las concentraciones evaluadas fueron 500, 1000, 2500, 3000, 3500 y 5000 ppm y la mortalidad de *T. castaneum* se evaluó a las 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 y 192 horas, donde el criterio para considerar a un individuo muerto fue aquellos que no presentaran respuesta a estímulos.

Para la evaluación de película residual se colocó 1 ml del producto sobre la caja Petri y con ayuda de una varilla previamente esterilizada se esparció uniformemente sobre la superficie de la caja, una vez terminado se esperó a que se evaporara

completamente el líquido y posteriormente se colocaron los insectos adultos en cada una de las cajas.

Para la técnica de inmersión los insectos fueron sumergidos por cinco segundos en los diferentes tratamientos, posteriormente se eliminó el exceso de líquido con toallas de papel y se colocaron en cajas Petri.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, los diferentes tratamientos contaban con 3 repeticiones cada uno, colocándose 30 insectos por unidad experimental, además de contar con un testigo absoluto que únicamente se realizó con agua.

### **Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de mortalidad y se sometieron a un análisis de varianza ANOVA (Tukey  $p > 0.05$ ) en el programa estadístico SAS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los datos de los diferentes bioensayos se calculó el porcentaje de mortalidad en cada uno de los tratamientos. En el Cuadro 1 se observan los resultados de la evaluación de metabolitos de *M. anisopliae* mediante ensayos de inmersión, la dosis correspondiente a 2500 ppm, alcanzó hasta un 26.6% de mortalidad de *T. castaneum* transcurridos 8 días, teniendo un aumento promedio diario de 3.3% de mortalidad, seguido del tratamiento de 5000 ppm, que alcanzó un 17.7% de mortalidad en un lapso de 8 días, teniendo un incremento promedio de mortalidad de 2.21% por día. Al-Zurfi *et al.*, (2023) mencionan el uso de *M. anisopliae* sobre diferentes estadios larvales y adultos de *T. castaneum* en condiciones de laboratorio y anaquel, teniendo como resultados alta mortalidad en larvas de primer y tercer instar, donde la concentración de  $3 \times 10^8$  esporas/ml obtuvo mayor mortalidad, con tasas porcentuales de 51% y 67% en adultos y larvas de sexto estadio respectivamente y para larvas de primer y tercer estadio 85% y 81% de mortalidad. Doumbia *et al.*, (2014) investigaron el control de *Sitophilus zeamais*, *Palorus subdepressus* y *T. castaneum* mediante el uso de tierra de diatomeas encontrando que se alcanzaron mortalidades de 100% a los 4, 7 y 14 días después de la aplicación, estos autores mencionan que la estructura de la cutícula de los insectos puede influir en los resultados debido a que algunas son ásperas.

**Cuadro 1.** Porcentaje de mortalidad de *T. castaneum* en bioensayo de inmersión con metabolitos de *M. anisopliae*.

| <b>DOSIS<br/>(ppm)</b> | <b>24<br/>hrs</b> | <b>48<br/>hrs</b> | <b>72<br/>hrs</b> | <b>96<br/>hrs</b> | <b>120<br/>hrs</b> | <b>144<br/>hrs</b> | <b>168<br/>hrs</b> | <b>192<br/>hrs</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>500</b>             | 1.1 r             | 5.5m              | 5.5 m             | 5.5 m             | 5.5 m              | 7.7 k              | 12.2 g             | 15.5 d             |
| <b>1000</b>            | 0.0 s             | 3.3 p             | 3.3 p             | 3.3 p             | 4.4 o              | 4.4 o              | 8.8 j              | 12.2 g             |
| <b>2500</b>            | 2.2 q             | 6.6 l             | 7.7 k             | 7.7 k             | 8.8 j              | 15.5 d             | 22.2 b             | 26.6 a             |
| <b>3000</b>            | 0.0 s             | 3.3 p             | 6.6 l             | 10.0 i            | 10.0 i             | 10.0 i             | 10.0 i             | 15.5 d             |
| <b>3500</b>            | 2.2 q             | 2.2 q             | 2.2 q             | 2.2 q             | 3.3 p              | 4.4 n              | 7.7 k              | 11.1 h             |
| <b>5000</b>            | 2.2 q             | 2.2 q             | 2.2 q             | 2.2               | 6.6 l              | 8.8 j              | 14.4 e             | 17.7 c             |
| <b>Testigo A</b>       | 13.3 f            |                   |                   |                   |                    |                    |                    |                    |

En el cuadro 2, se aprecian los resultados obtenidos con el bioensayo de película residual con metabolitos de *M. anisopliae*, los tratamientos con mayor mortalidad fueron los de 3000 y 3500 ppm, alcanzando una mortalidad de *T. castaneum* de 6.6% en un lapso de 6 días, con un incremento de mortalidad promedio por día de 1.1%, cabe mencionar que estos resultados fueron más bajos en comparación con los obtenidos mediante la técnica de inmersión. Padin *et al.*, (1994) reportan baja mortalidad de *T. castaneum*, *R. dominica* y *S. oryzae* aplicando *M. anisopliae* en condiciones de laboratorio con las técnicas de espolvoreo y pulverización con una mortalidad nula en ambos bioensayos en un lapso de 15 días. Kin *et al.*, (2017) comentan que el mayor porcentaje de infección en termitas (71-84%) ocurrió después de 15 días de la aplicación del tratamiento con *M. anisopliae*. Borges *et al.*, (2010) mencionan que este hongo produce metabolitos como Ácido oxálico, ácido dipicolínico y Destruxinas, mismos que le confieren su actividad insecticida. Akhtar *et al.*, (2017) comentan que las desventajas de utilizar la técnica de película residual son la interferencia de factores ambientales, puede existir variabilidad en los resultados al momento de preparar de las superficies.

**Cuadro 2.** Porcentaje de mortalidad de *T. castaneum* en bioensayo de película residual con metabolitos de *M. anisopliae*.

| <b>Tratamiento</b> | <b>24 H</b> | <b>48 H</b> | <b>72 H</b> | <b>96 H</b> | <b>120 H</b> | <b>144 H</b> |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>500</b>         | 0.0 i       | 0.0 i       | 0.0 i       | 2.2 g       | 3.3 e        | 3.3 e        |
| <b>1000</b>        | 0.0 i       | 1.1 h       | 2.2 g       | 5.5 c       | 5.5 c        | 5.5 c        |
| <b>2500</b>        | 0.0 i       | 1.1 h       | 1.1 h       | 2.3 f       | 2.2 g        | 2.2 g        |
| <b>3000</b>        | 2.2 g       | 3.3 e       | 4.4 d       | 6.6 b       | 6.6 b        | 6.6 b        |
| <b>3500</b>        | 1.1 h       | 2.2 g       | 3.3 e       | 4.4 d       | 4.4 d        | 6.6 b        |
| <b>5000</b>        | 0.0 i       | 1.1 h       | 2.2 g       | 3.3 e       | 3.3 e        | 5.5 c        |
| <b>TESTIGO A</b>   | 15.50 a     |             |             |             |              |              |

El cuadro 3, nos muestra los porcentajes de mortalidad alcanzadas utilizando metabolitos de *B. bassiana* mediante el bioensayo de inmersión, transcurridos 8 días de la aplicación podemos observar que las concentraciones de 500, 2500 y 3000 ppm que registraron una mortalidad del 24.4%, incrementando en promedio 3.05% diariamente, seguido de la concentración de 3500, con un 23.3% de muertes totales y un incremento de 2.9% por día., este bioensayo presento mayores porcentajes de mortalidad y existió una similitud en la mayoría de las concentraciones con los resultados obtenidos. Musso *et al.*, (2018), realizaron estudios sobre la aplicación de cepas de *B. bassiana* en formulación acuosa (BB1, BB2, BB3, BB4 y BB5) como una alternativa al control químico de *T. castaneum* donde los conteos de muertes se efectuaron a los 7 y 14 días, el mayor porcentaje de mortalidad la presentó la cepa BB3, la cual alcanzo hasta un 43% de mortalidad, mientras que las cepas restantes fueron menos eficientes cuyos resultados oscilaban entre el 4 y 15% de mortalidad. El hongo *B. bassiana* produce diferentes metabolitos como bassiacridina, osporeína, beauverolida y bauvericina que actúan de diversas formas teniendo actividad insecticida, citotóxica, antifúngica, antibiótica y antiviral (Villegas *et al.*, 2019). Ganassi *et al.*, (2002) mencionan que al ser consumido el metabolito beauvericina por *Schizaphis graminum* no incrementan la mortalidad por ingestión, sin embargo, disminuye la población a partir de la tercera generación provocando abortos. Davyt *et al.* (2019) reportan que los adultos de *T. castaneum* segregan derivados de quinonas como acción defensiva, las cuales poseen la capacidad de inhibir el crecimiento y germinación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, cabe mencionar que al realizar el conteo de los insectos en este trabajo pudimos detectar que al destapar las cajas Petri tenían un aroma peculiar en comparación con los testigos que eran inoloros.



**Cuadro 3.** Porcentaje de mortalidad de *T. castaneum* en bioensayo de inmersión con metabolitos de *B. bassiana*.

| Tratamiento      | 24 H   | 48 H  | 72 H   | 96 H   | 120 H  | 144 H  | 168 H  | 192 H  |
|------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>500</b>       | 1.1 r  | 6.6 m | 10.0 j | 12.2 h | 13.3 g | 16.6 e | 20.0 c | 24.4 a |
| <b>1000</b>      | 2.2 q  | 4.4 o | 4.4 o  | 6.6 m  | 8.8 k  | 10.0 j | 14.4 f | 16.6 e |
| <b>2500</b>      | 0.0 s  | 2.2 q | 3.3 p  | 5.5 n  | 10.0 j | 14.4 f | 20.0 c | 24.4 a |
| <b>3000</b>      | 1.1 r  | 2.2 q | 2.2 q  | 5.5 n  | 8.8 k  | 10.0 j | 20.0 c | 24.4 a |
| <b>3500</b>      | 1.1 r  | 2.2 q | 8.8 k  | 11.1 i | 12.2 h | 13.3 g | 17.7 d | 23.3 b |
| <b>5000</b>      | 1.1 r  | 1.1 r | 2.2 q  | 3.3 p  | 5.5 n  | 6.6 l  | 10.0 j | 14.4 f |
| <b>TESTIGO A</b> | 10.0 j |       |        |        |        |        |        |        |

En el cuadro 4, podemos observar la mortalidad reportada del bioensayo de película residual con metabolitos de *B. bassiana*, destacando las concentraciones de 3500 ppm y 3000 ppm, alcanzando hasta un 28.9% de mortalidad con un incremento de 4.1% por día y 27.8% de mortalidad con un incremento de 3.9% por día respectivamente en un lapso de 7 días, de igual manera podemos destacar la concentración de 1000 ppm, que alcanzó un 18.9% de mortalidad, teniendo como incremento promedio diario un 2.7%. Según Lecuona y Riba, (1991) de los agentes entomopatógenos pocas especies son candidatos seguros para el control de insectos, entre ellos están los hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, de los cuales *B. bassiana* superó significativamente las mortalidades presentadas por *M. anisopliae*, *N. rileyi* y *V. lecanii*, además, *B. bassiana* demostró mayor acción en relación a plagas de granos almacenados como *R. dominica*, *S. oryzae* y *T. castaneum*. Padin *et al.*, (1994) reportan que *B. bassiana* muestra niveles significativos de mortalidad y colonización, lo que permite considerar la inclusión del hongo para el biocontrol de insectos plaga de almacén. Donga *et al.*, (2018) reporta que *B. bassiana* utiliza una variedad de estrategias para infectar a los insectos, estas incluyen la producción de enzimas como quitinasas y proteasas que degradan

la cutícula del huésped, además, también secreta toxinas que interfieren en las funciones fisiológicas del insecto.

**Cuadro 4.** Porcentaje de mortalidad de *T. castaneum* en bioensayo de película residual con metabolitos de *B. bassiana*.

| <b>Tratamiento</b> | <b>24 H</b> | <b>48 H</b> | <b>72 H</b> | <b>96 H</b> | <b>120 H</b> | <b>144 H</b> | <b>168 H</b> |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>500</b>         | 0.0 v       | 1.1 u       | 1.1 u       | 2.2 t       | 5.6 p        | 6.7 o        | 11.1 k       |
| <b>1000</b>        | 3.3 s       | 5.5 q       | 8.9 m       | 14.4 i      | 15.6 g       | 15.6 g       | 18.9 f       |
| <b>2500</b>        | 0.0 v       | 1.1 u       | 4.4 r       | 5.6 p       | 7.8 n        | 11.1 k       | 15.6 g       |
| <b>3000</b>        | 3.3 s       | 6.7 o       | 13.3 j      | 15.6 g      | 25.6 d       | 25.6 d       | 27.8 b       |
| <b>3500</b>        | 10.0 l      | 14.4 i      | 18.9 f      | 22.2 e      | 26.7 c       | 26.7 c       | 28.9 a       |
| <b>5000</b>        | 1.1 u       | 2.2 t       | 4.4 r       | 4.4 r       | 5.6 p        | 6.7 o        | 13.3 j       |
| <b>TESTIGO A</b>   | 15.0 h      |             |             |             |              |              |              |

## CONCLUSIONES

Los metabolitos de *M. anisopliae* y *B. bassiana* fueron efectivos en el control de *T. castaneum* en bioensayos de inmersión, superando el 20% de mortalidad en un periodo de 7 días. Considerando que los agentes de control biológico utilizados en este estudio necesitan un periodo para completar su ciclo biológico, se sugiere continuar con investigaciones que consideren periodos más largos de evaluación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2018). Almacenamiento y conservación de granos y semillas.
- Akbar, W., Lord, J. C., Nechols, J. R., y Howard, R. W. (2004). Diatomaceous Earth Increases the Efficacy of *Beauveria bassiana* Against *Tribolium castaneum* Larvae and Increases Conidia Attachment. *Journal Of Economic Entomology*, 97(2), 273-280. <https://doi.org/10.1093/jee/97.2.273>
- Akhtar, Y., Isman, M. B., Lee, C. H. (2017). Selective Acaricidal Activity of Essential Oil Components against the House Dust Mite, *Dermatophagoides farinae*, and *Prostanthera melissifolia* Leaf Extracts, and Their Potential as Repellents. *International Journal of Acarology*, 43(4), 243-250.
- Al-Zurfi, S., Kareem, A. A., Alamry, A. T., Kadhem, Z. J., Port, G., y Sanderson, R. (2023). Efficacy of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Lecanicillium muscarium* against different stages of the flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Mağallaġ Karbalā` Li-l-`ulūm Al-zirā`iyyaġ*, 10(2), 15-32. <https://doi.org/10.59658/jkas.v10i2.1182>
- Amin Sleem, F. M. (2020). Insecticidal effect of *Piper nigrum* L. (Pipeaceae) and *Prunus cerasus* L. (Rosaceae) seeds extract against *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae). *International Journal Of Agriculture Innovations And Research*, 9(3).
- Ardila González, P. N. (2020). Estudio del efecto insectistático de compuestos volátiles para el control de *Tribolium castaneum*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Arisseto-Bragotto, A. P., Feltes, M. M. C., y Block, J. M. (2017). Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards. *Food Quality And Safety*, 1(2), 117-129. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx009>

- Arthur, F. H. (2000). Toxicity of Diatomaceous Earth to Red Flour Beetles and Confused Flour Beetles (Coleoptera: Tenebrionidae): Effects of Temperature and Relative Humidity. *Journal Of Economic Entomology*, 93(2), 526-532. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.526>
- Babamir-Satehi, A., Ziaee, M., y Ashrafi, A. (2017). Synthesis and toxicological evaluation of silinica nanoparticles as Chlorpyrifos carrier against the beetle pests *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Entomological Society of Iran*, 37(2), 235-247.
- Baveja, N., & Kaur, P. (2014). Life Cycle of *Tribolium castaneum* (Herbst) on Different Substrates. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(7), 751-757.
- Bartosik, R. 2012. Eficiencia de poscosecha. Control de insectos en granos almacenados. Gacetilla de divulgación. Febrero de 2012. PRECOP
- Bennet G. W., Owens J. M. y Corrigan R. M. 1996. Guía técnica de Truman para operaciones de control de plagas. Editorial Purdue University.
- Bidochka, M. J., Small, C. N., y Spironello, M. (2005). Recombination within sympatric cryptic species of the insect pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Environmental Microbiology*, 7(9), 1361-1368. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2005.00823.x>
- Biswas, C., & Dey, P. (2018). *Metarhizium anisopliae*: un agente de control biológico de insectos potencial para el manejo de plagas. *Journal of Fungi*, 4(4), 113.
- Boldo, J.T., Junges, A., do Amaral, K.B. *et al.* Endochitinase CHI2 of the biocontrol fungus *Metarhizium anisopliae* affects its virulence toward the cotton stainer bug *Dysdercus peruvianus*. *Curr Genet* 55, 551–560 (2009). <https://doi.org/10.1007/s00294-009-0267-5>

- Borges, Dayamí; Díaz, Angela O.; San Juan, Ana Nelis; Gómez, Eulalia. (2010). Metabolitos secundarios producidos por hongos entomopatógenos ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 44, núm. 3, pp. 49-55
- Boucias, D.G., y J.C. Pendland. 1998. Entomopathogenic fungi: fungi imperfecti. In 111 Principles of insect pathology. 321-364. Springer, Boston, MA.
- Bula, A. (2020). *IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA EN EL DESARROLLO SOCIO-ECONÓMICO* (1.ª ed.).
- Cox, P., y Collins, L. (2002). Factors affecting the behaviour of beetle pests in stored grain, with particular reference to the development of lures. *Journal Of Stored Products Research*, 38(2), 95-115. [https://doi.org/10.1016/s0022-474x\(01\)00010-8](https://doi.org/10.1016/s0022-474x(01)00010-8)
- Davyt, B., Pedrini, N., y Girotti, J. R. (2019). Rol de las Secreciones Volátiles de *Tribolium castaneum* en la Interacción con el Hongo Entomopatógeno *Beauveria bassiana*. *Investigación Joven*, 6(Especial), 117.
- Debnath, N., Das, S., Seth, D., Chandra, R., Bhattacharya, S. C., y Goswami, A. (2010). Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal Of Pest Science*, 84(1), 99-105. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0332-3>
- Dell'Orto Trivelli, Horacio (1985). Insectos que dañan granos y productos almacenados. *Serie Tecnología Postcosecha (FAO/RLAC)*. No. 4
- Descamps, L. R., Stefanazzi, N., Carolina, S. C., y Ferrero, A. A. (2008, 1 octubre). *Actividad biológica de extractos vegetales de Schinus molle var. Areira (Anacardiaceae) en Tribolium castaneum Herbst. (Insecta, Coleoptera, Tenebrionidae), plaga de grano almacenado*. <http://hdl.handle.net/11336/79738>
- Deshwal, R., Vaibhav, V., Kumar, N., Kumar, A. y Singh, R. (2020). Stored grain pests and their management: An overview. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(5), 969-974.
- Doumbia, M., Douan, B.G., Kwadjo, K.E., Kra, D.K., Martel, V. & Dagnogo, M. (2014). Effectiveness of diatomaceous earth for control of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:

Curculionidae), -*Tribolium castaneum* and *Palorus subdepressus* (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Stored <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2013.11.008>

Domínguez Umpiérrez, J. E., y Marrero Artabe, L. (2010). Catálogo de la entomofauna asociada a almacenes de alimentos en la provincia de Matanzas. *Fitosanidad*, 14(2), 75-82.

Donga, T. K., Vega, F. E., & Klingen, I. (2018). Establishment of the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* as an endophyte in sugarcane, *Saccharum officinarum*. *Fungal Ecology*, 35, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.06.008>

Duehl, AJ, Arbogast, RT y Teal, Emisiones y respuestas volátiles relacionadas con la densidad de PEA en el escarabajo rojo de la harina, *Tribolium castaneum*. *J Chem Ecol* 37 , 525–532 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10886-011-9942-3>

Edde, P. A. (2012). A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. Journal Of Stored Products Research, 48, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.08.007>.

Eilenberg, J., Hajek, A. y Lomer, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* 46, 387–400 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>.

Fathy, H. (2012). EcoSmart Biorational Insecticides: Alternative insect control Strategies. En *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/27852>

Fikremariam, A., Tadele, T., Stephen, M., Yoseph, B., y Stefan, V. (2009). Resistance of maize varieties to the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). *African Journal Of Biotechnology*, 8(21), 5937-5943. <https://doi.org/10.5897/ajb09.821>

Fraga, R. (2010). Contaminación por *Tribolium castaneum* Herbst en harina integral de maíz almacenada. (2024). *Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 20(2), 63-65. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/645>

Francisco, P., Alicia, S., Capítulo, P., Laporte, G., Beatríz, S., Silvia, A., Moderna, S. B., Padín, B., Padín, I., y Passalacqua, S. (2018). *Protección vegetal*. <https://doi.org/10.35537/10915/69361>.

- Fuxa, J.R., y Tanada, Y. (Eds.). 1987. Epizootiología de enfermedades de insectos. John Wiley y Sons.
- Ganassi, S., Moretti, A., Bonvicini, A.M., Logrieco, A. y Sabatini M. (2002) Efectos de la beauvericina en *Schizaphis graminum* (Aphididae). J Invertebr Pathol. 80(2):90-6. doi: 10.1016/s0022-2011(02)00125-8.
- García, J. L. M., Báez, J. R. C., y Mondaca, E. C. (1994). Manejo integrado de plagas en granos almacenados. Tecnologías de Granos y Semillas, 109, 141-142.
- Garrido-Miranda KA, Giraldo JD y Schoebitz M (2022) Aceites esenciales y sus formulaciones para el control de plagas de Curculionidae. Frente. Agrón. 4:876687. doi: 10.3389/fagro.2022.876687
- Goettel, M. S., y Inglis, G. D. (1997). Fungi. En *Elsevier eBooks* (pp. 213-249). <https://doi.org/10.1016/b978-012432555-5/50013-0>
- Golden, G., Quinn, E., Shaaya, E., Kostyukovsky, M. y Poverenov, E. (2018). Coarse and nano emulsions for effective delivery of the natural pest control agent pulegone for stored grain protection. Pest management science. 74(4), 820-827. <https://doi.org/10.1002/ps.4787>
- Gomes, S. A., Carolino, A. T., Teodoro, T. B. P., Silva, G. A., De Oliveira Barbosa Bitencourt, R., Silva, C. P., Alkhaibari, A. M., Butt, T. M., y Samuels, R. I. (2023). The Potential of *Metarhizium anisopliae* Blastospores to Control *Aedes aegypti* Larvae in the Field. *Journal Of Fungi*, 9(7), 759. <https://doi.org/10.3390/jof9070759>
- González, J., Arregoces, O., Hernández, R., y Parada, O. (1983). Insectos y ácaros plagas y su control en el cultivo de arroz en América Latina. Federación Nacional de Arroceros, Bogotá, Colombia.
- Gorham, J. R. (1991). *Insect and mite pests in food: An illustrated key*.
- Gutiérrez Díaz, L. J., y Morelos, S. M. D. E. D. (1990). Insectos que infectan los granos y productos almacenados: listado de especies reportadas a nivel mundial.



- Gutiérrez, C. G., Martínez, N. B., y Maldonado, M. B. G. (2009). Principales plagas de granos almacenados. *Tecnologías de Granos y Semillas*, 85.
- Hernández, G.A. y Carballo Carballo, A. (2014). Almacenamiento y conservación de granos y semillas, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación, Subsecretaría de Desarrollo Rural (Sagarpa). Montecillo, Texcoco, México.
- Hernández-Tenorio, F., y Orozco-Sánchez, F. (2020). Nanoformulaciones de Bioinsecticidas Botánicos para el Control de Plagas Agrícolas. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 9(1), 72-91. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.81401>
- Hodges, R.J., Buzby J.C., y Bennett B. 2011. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. *The Journal of Agricultural Science*. 149(S1), 37-45.
- Holder, D.J., y Keyhani N.O. 2005. Adhesion of the entomopathogenic fungus *Beauveria (Cordyceps) bassiana* to substrata. *Applied and Environmental Microbiology*. 71(9), 5260-5266. doi: 10.1128/AEM.71.9.5260-5266.2005.
- Humber, RA 2012. Identificación de hongos entomopatógenos. en: Lacey, LA, editor. *Manual de Técnicas en Patología de Invertebrados*. Londres, Reino Unido: Academic Press. págs. 151-187.
- International Grains Council (2022). Índice de granos y semillas. Consultado el 28 de marzo de 2022 de <https://www.igc.int/en/default.aspx>
- Jayas, D. S., White, N. D., y Muir, W., E. (Eds.). (1994). *Stored-grain ecosystems* (Vol. 39). CRC Press.
- Jian, F. (2019). Influences of Stored Product Insect Movements on Integrated Pest Management Decisions. *Insects*, 10(4), 100. <https://doi.org/10.3390/insects10040100>
- Kellen, M., Luciana, B. S., Zilmar, F. X., Catarina, D. B. M., Leilane, R. B. D., y Bruno, E. P. (2016). Performance of populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera:

Curculionidae) on different varieties of maize. *African Journal Of Agricultural Research*, 11(10), 873-881. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.10505>

Khashaveh, A., Safaralizade, M., y Ghosta, Y. (2008). Pathogenecity of Three Iranian Isolates of the Fungus, *Metarhizium anisopliae* (Mestch.) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) Against Granary Weevil, *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Jornal of Biological Sciences*, 8(4).

Kin, P. K.; Moslim, R.; Azmi, W. A.; Kamarudin, N. and Ali, S. R. A. (2017). Genetic variation of entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Isaria amoenerosea* and their pathogenicity against subterranean termite, *Coptotermes curvignathus*. *J.Oil Palm.Res.* 29(1):35-46

Lacey, L., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D., Frutos, R., Brownbridge, M., y Goettel. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal Of Invertebrate Pathology*, 132, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>

Lecuona, R. E y Riba, G. 1991. Primeras etapas del ciclo de desarrollo de hongos entomopatogenos. *Bol. Divulg. Tee. INTA* 87 (30 págs).

Lecuona, R. E. (1996). *Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga*. Buenos Aires.

Levy-de la Torre, V., A., Gómez-García, L., Borboa-Flores, J., Wong-Corral, F., J., CincoMoroyoqui, F., J. y Martínez-Cruz, O. (2018). Actividad citocromo c oxidasa y ATPasa de *Rhyzopertha dominica* bajo el efecto de las atmósferas modificadas. *Biotecnia*, 20(2),79-84.

López Lastra, C.C., y Lecuona R.E. 2019. (eds.); 1a ed. Castelar, Buenos Aires. Ediciones INTA, CABA. 263 pp. ISBN 978-987-521-975-5

López-Avila, A. (1985). Aspectos biológicos del gorgojo rojo de las harinas *Tribolium castaneum* (Herbst). *Revista Colombiana de Entomología/Revista Colombiana de Entomología*, 11(1), 28-31. <https://doi.org/10.25100/socolen.v11i1.10253>

Mahroof, R. M., Edde, P. A., Robertson, B., Puckette, J. A., y Phillips, T. W. (2010). Dispersal of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in Different

- Mazzucco, N. (2020, 2 junio). Inicios y desarrollo de la agricultura en la Prehistoria. DIGITAL.CSIC. <http://hdl.handle.net/10261/212972>
- Mound, L. (Ed.). 1989. Common insect pest of stored food products. British Museum (N.H.) Economic Series N°15
- Musso, A., Padín, S., y Dal Bello, G. (2018). Control de insectos en granos almacenados con hongos entomopatógenos. *Investigación Joven*, 4(2), 79.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2010.
- Padín, S. B., y Fusé, C. B. (2018). *Extractos vegetales para el control de Tribolium castaneum (Herbst.) y Rhyzopertha dominica (Fabr.), plagas de granos almacenados*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69129>
- Padin, S. B., Dal Bello, G. M., y Vasicek, A. L. (1995). Potencial bioinsecticida de hongos entomopatógenos de plagas en granos almacenados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 15(1), 1-7.
- Pascual-Villalobos, M. J. (1998). Repelencia, inhibición del crecimiento y toxicidad de extractos vegetales en larvas de *Tribolium castaneum* Herbst.(Coleoptera: Tenebrionidae). *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 24(1), 143-154.
- Patiño-Bayona, W. R., Galeano, L. J. N., Cortes, J. J. B., Ávila, W. A. D., Daza, E. H., Suárez, L. E. C., Prieto-Rodríguez, J. A., y Patiño-Ladino, O. J. (2021). Effects of Essential Oils from 24 Plant Species on *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera, Curculionidae). *Insects*, 12(6), 532. <https://doi.org/10.3390/insects12060532>
- Pires, E. M., y Nogueira, R. M. (2018). Damage caused by *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored Brazil nuts. *DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.36560/1112018590>
- Potter, C. 1935. The biology and distribution of *Rhyzopertha dominica* (FAB.). *Transactions of the Royal Entomological Society of London* 83, 449e482.

- R. Novo, A. Cavallo, C. Cragolini, R. Nobile, E. Bracamonte, M. Conles, G. Ruosi y A. Viglianco. "Protección Vegetal". 4º edición. Editorial: SIMA. 2011. 492 pp.
- Rahman, I. A., y Padavettan, V. (2012). Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica-Polymer Nanocomposites—A Review. *Journal Of Nanomaterials*, 2012, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2012/132424>
- Ramayo, R. L. F. 1983. Tecnología de granos. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Industrias Agrícolas. Chapingo, Estado de México. 216 p.
- Ramos-Rodríguez, O., Campbell, J. F., y Ramaswamy, S. B. (2007). Efficacy of the entomopathogenic nematode *Steinernema riobrave* against the stored-product insect pests *Tribolium castaneum* and *Plodia interpunctella*. *Biological Control*, 40(1), 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.09.007>
- Ringuelet, J. A., Ocampo, R., Henning, C., Padín, S., Urrutia, M. I., y Dalbello, G. (2014). Actividad insecticida del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown sobre *Tribolium castaneum* Herbst. en granos de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Brasileira de Agroecología*, 9(2).
- Rodríguez, R. R., y Herrera, R. J. F. (2003). Insectos y hongos en los granos almacenados en Yucatán. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227, 44-53.
- Rouhani, M., Samih, M. A., Zarabi, M., Beiki, K., Gorji, M., y Aminizadeh, M. R. (2019). Synthesis and entomotoxicity assay of zinc and silica nanoparticles against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Of Plant Protection Research*, 59.
- S. García-Lara, C. Espinosa Carrillo y D.J. Bergvinson. 2007. Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control. >Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Saed, B., Ziaee, M., Kiasat, A. R., y Nasab, M. J. (2021). Preparation of nanosilica from sugarcane bagasse ash for enhanced insecticidal activity of diatomaceous earth

against two stored-products insect pests. *Toxin Reviews*, 41(2), 516-522. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1903038>

Said, PP y Pashte, VV (2015). Botánicos: Los protectores de las plagas de los granos almacenados. *Tendencias en Biociencias*, 8 (15), 3750-3755.

Scheff, D. S., Campbell, J. F., y Arthur, F. H. (2021). Seasonal, Landscape, and Attractant Effects on Lesser Grain Borer, *Rhyzopertha dominica* (F.), Captures in Northeast Kansas. *Agronomy*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010099>

Schrank, A., y Vainstein, M. H. (2010). *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. *Toxicon*, 56(7), 1267-1274. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.03.008>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México. (2019).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021). Panorama agroalimentario 2021.

Shah, M. R., Imran, M., y Ullah, S. (2017). *Lipid-Based Nanocarriers for Drug Delivery and Diagnosis*. William Andrew.

Shahzad, K., y Manzoor, F. (2019). Nanoformulations and their mode of action in insects: a review of biological interactions. *Drug And Chemical Toxicology*, 44(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1525393>

Stadler, T., M. I. Picollo, y E. N. Zerba. 1990 factores Eco fisiológicos Relacionados con la Susceptibilidad a Insecticidas y la Resistencia a Malatión en *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: curculionidae). *Boletín san. Veg. Plagas Argentina* 16:743-754.

Strasser, H., Vey, A., y Butt, T. M. (2000). Are There any Risks in Using Entomopathogenic Fungi for Pest Control, with Particular Reference to the Bioactive Metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium* and *Beauveria* species? *Biocontrol Science And Technology*, 10(6), 717-735. <https://doi.org/10.1080/09583150020011690>

Tanada, Y., y Kaya H. 1993. *Insect Pathology*. Academic Press, San Diego, California, USA. 666 pp.

- Tortajada, C., y Zhang, H. (2021). When food meets BRI: China's emerging Food Silk Road. *Global Food Security*, 29, 100518. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100518>
- Triplehorn, C. A., y Johnson, N. F. (2004). Borrór and DeLong's introduction to the study of insects. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB10002681>
- Ullah, MI, Qadeer, M., Arshad, M. *et al.* Información sobre los efectos subletales de *Metarhizium anisopliae* sobre los potenciales bióticos de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el maíz. *Egipto J Biol Pest Control* **33**, 96 (2023). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00741-9>
- Vega, F. E., & Meyling, N. V. (2010). Luces y sombras en la toma de decisiones de la gestión de plagas con hongos entomopatógenos: lo bueno, lo malo y lo feo. *Biocontrol Science and Technology*, 20(7), 689-712.
- Vega, FE, Meyling, NV, Luangsa-Ard, JJ, Blackwell, M. 2012. Entomopatógenos fúngicos. En: Vega, F., Kaya, HK, editores. Patología de insectos. 2da edición. San Diego, CA: Prensa académica. pag. 171-220.
- Villegas-Mendoza, Jesús M, Rosas-García, Ninfa M, Mireles-Martínez, Maribel, Santiago-Adame, Rubén, Rodríguez-Castillejos, Guadalupe C, Camacho-Corona, M del Rayo, y Morales-San Claudio, Pilar del C. (2019). Evaluación antimicrobiana de un extracto metanólico de *Beauveria bassiana* contra bacterias patógenas de importancia nosocomial. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 60(3), 169-176. <https://dx.doi.org/10.30827/ars.v60i3.9219>
- Vílchez, R. M., y Miller, O. R. R. (2005). Calidad Fitosanitaria Y Presencia De Aflatoxinas En Granos De Sorgo [*Sorghum Bicolor* (L.) Moench], en Almacén y Campo. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía Departamento de Protección Agrícola y Forestal.
- Wakil, W., Schmitt, T. y Kavallieratos, NG Persistencia y eficacia de tierra de diatomeas mejorada, imidacloprid y *Beauveria bassiana* contra tres insectos coleópteros y un

psócido de granos almacenados. *Environ Sci Pollut Res* **28** , 23459–23472 (2021).  
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-12304-8>.

Wang, Y., Chang, M., Wang, M., Ji, Y., Sun, X., Raikhel, A. S., y Zou, Z. (2023). OTU7B Modulates the Mosquito Immune Response to *Beauveria bassiana* Infection via Deubiquitination of the Toll Adaptor TRAF4. *Microbiology Spectrum*, 11(1).  
<https://doi.org/10.1128/spectrum.03123-22>

Zahran, N., F., y Sayed, R., M. (2021). Protective effect of nanosilica on irradiated dates against saw toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) adults. *Journal of Stored Products Research*, 92, 101799.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101799>

Zhang, C., Xia, Y. Identificación de genes expresados diferencialmente in vivo por *Metarhizium anisopliae* en la hemolinfa de *Locusta migratoria* mediante hibridación sustractiva por supresión. *Curr Genet* **55** , 399–407 (2009).  
<https://doi.org/10.1007/s00294-009-0254-x>

Zhao, H., Charnley, A. K., Wang, Z., Yin, Y., Li, Z., Li, Y., Cao, Y., Peng, G., y Xia, Y. (2006). Identification of an Extracellular Acid Trehalase and Its Gene Involved in Fungal Pathogenesis of *Metarizium anisopliae*. *Journal Of Biochemistry/The Journal Of Biochemistry*, 140(3), 319-327. <https://doi.org/10.1093/jb/mvj159>

Ziaee, M., y Ganji, Z. (2016). Insecticidal Efficacy of Silica Nanoparticles Against *Rhyzopertha dominica* F. and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *JOURNAL OF PLANT PROTECTION RESEARCH*, 56(3).