

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Metabolitos de *Beauveria bassiana* Solos y Adicionados con Nanopartículas de Hidróxido de Silicio en el Control de *Tribolium castaneum* Herbst

Por:

GERARDO MOLINA OLIVAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Metabolitos de *Beauveria bassiana* Solos y Adicionados con Nanopartículas de Hidróxido de Silicio en el Control de *Tribolium castaneum* Herbst

Por:

GERARDO MOLINA OLIVAR

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



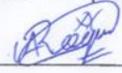
Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar

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.

Diciembre, 2024

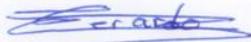
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir 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.

Autor principal



Gerardo Molina Olivares

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de formar parte de su comunidad estudiantil, brindarme hospedaje y nunca dejarme sin alimento durante mi estancia en la escuela.

Al Dr. Ernesto Cerna Chávez, por darme la oportunidad de ser su tesista y tener la confianza en mí y poder escuchar mis problemas apoyándome con sus consejos, además de ser un excelente profesor en mi formación académica.

A la Dra. Rocío, por ayudarme durante todo el transcurso de mi trabajo, apoyándome en mis experimentos y en mi revisión de literatura siempre teniendo la mayor de las paciencias y apoyándome en cosas que no sabía cómo realizarlas.

Al Dr. Alberto Roque, igualmente darse el tiempo de revisar mi trabajo, dándome consejos y motivación con mi trabajo.

A mis amigos Alex Hernández, Juan Daniel, Gael Alejandro, Víctor, Eduardo Elvira que fueron un pilar fundamental en toda mi formación académica apoyándome en momentos buenos y malos, brindándome consejos que me ayudaron a tener más confianza en mí.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a las personas que influyeron de una manera especial y única en mi vida, a quienes debo todos mis logros.

A mis padres, Manuel Molina Olivar y Rosa de Lima Olivar Vázquez, gracias por apoyarme a cumplir mis sueños como persona y estudiante, poniendo todo el amor, comprensión y confianza en mí, igualmente agradezco sus consejos y enseñanzas que me ayudaron a ser una persona de bien y productiva.

A mis hermanas, Martha y Victoria quienes creyeron en mí en todo momento, brindándome consejos que siempre tome, siendo ambas un ejemplo de superación.

A mi novia Derby, que a pesar de la distancia, siempre estuvo al pendiente de mi formación académica, apoyándome en momentos difíciles y teniendo confianza en mí de poder cumplir mis objetivos.

Esta tesis no solo es el resultado de mi esfuerzo. Es un complemento de lo que se puede lograr teniendo un objetivo en la vida y cómo influye el apoyo incondicional de las personas que te rodean.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE GRÁFICAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia de los granos almacenados.....	4
Importancia de los insectos plagas en almacén.....	4
Principales plagas de granos almacenados.....	5
Gorgojo castaño de la harina (<i>Tribolium castaneum</i> H.).....	6
Ciclo de vida	7
Clasificación taxonómica.....	7
Control químico.....	7
Alternativas de control	8
Control biológico	9
Hongos entomopatógenos	10
<i>Beauveria bassiana</i>	11
Nanotecnología.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Ubicación del experimento.....	13
Establecimiento de la colonia <i>Tribolium castaneum</i>	13
Establecimiento de los bioensayos.....	13
Análisis estadístico.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
CONCLUSIÓN	25
LITERATURA CITADA	26

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Metabolitos de <i>B. bassiana</i> en bioensayo de película residual evaluados sobre <i>T. castaneum</i>	16
Gráfica 2. Mortalidades registradas sobre el gorgojo de la harina, expuestos a metabolitos de <i>B. bassiana</i> con NPsSi en bioensayo de película residual.....	17
Gráfica 3. Bioensayo de película residual con el insecto <i>T. castaneum</i> evaluados con NPsSi.....	18
Gráfica 4. Mortalidades de <i>T. castaneum</i> mediante la técnica de inmersión con metabolitos de <i>B. bassiana</i>	19
Gráfica 5. Metabolitos de <i>B. bassiana</i> con NPsSi mediante la técnica de inmersión contra el gorgojo de harina.	20
Gráfica 6. Mortalidad de <i>T. castaneum</i> expuesto a NPsSi en bioensayo mediante la técnica de inmersión.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de CL ₅₀ en bioensayos de película residual en <i>T. castaneum</i> expuestas a metabolitos de <i>B. bassiana</i> solos y en combinación con nanopartículas de hidróxido de silicio.....	23
Tabla 2. CL ₅₀ de metabolitos de <i>B. bassiana</i> solos y en combinación con nanopartículas de hidróxido de silicio contra <i>T. castaneum</i> por el método de inmersión bajo condiciones de laboratorio.	24

RESUMEN

Los granos almacenados son de gran importancia a nivel mundial ya que ayudan a satisfacer las necesidades de la población debido que el consumo de los alimentos no es de manera inmediata, por lo que se buscan métodos de conservación, una de las alternativas es el almacenamiento, en este proceso se busca conservar la calidad de los granos y semillas, que se ven amenazados por los varios tipos de plagas dentro de las cuales destacan los picudos, gorgojos y palomillas. *Tribolium castaneum* es una plaga secundaria de los granos almacenados que pertenece a la familia Tenebrionidae. El control químico es el más utilizado, debido a la gran efectividad en las plagas y su fácil acceso para los productores. Sin embargo, el control biológico es una alternativa que tiene resultados positivos y dentro de este grupo encontramos parasitoides, depredadores y hongos entomopatógenos. Los metabolitos del hongo *Beauveria bassiana* tienen la capacidad de actuar como toxinas y desencadenan una serie de síntomas que afectan al insecto, siendo un método de control y actualmente cuenta con presentaciones comerciales. Por otro lado, el uso de la nanotecnología en la agricultura es una nueva alternativa de control de insectos-plaga reduciendo costos. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de metabolitos de *Beauveria bassiana* solos y potencializados con nanopartículas de hidróxido de silicio sobre adultos de *Tribolium castaneum*, mediante bioensayos de película residual e inmersión en concentraciones de 1500, 3000, 4500, 6000, 7500 y 10,000 ppm, en un periodo de 7 días. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos determinar que las nanopartículas obtuvieron el mayor porcentaje de mortalidad y las CL₅₀ más bajas en comparación con los tratamientos de los metabolitos.

Palabras clave: *Tribolium castaneum*, *Beauveria bassiana*, nanopartículas.

ABSTRACT

Stored grains are of great importance worldwide as they help meet the needs of the population because food consumption is not immediate, so conservation methods are sought, one of the alternatives is storage, in this process the quality of grains and seeds is sought, which are threatened by various types of pests among which weevils, weevils and moths stand out. *Tribolium castaneum* is a secondary pest of stored grains that belongs to the Tenebrionidae family. Chemical control is the most widely used, due to its great effectiveness on pests and its easy access for producers. However, biological control is an alternative that has positive results and within this group we find parasitoids, predators and entomopathogenic fungi. The metabolites of the *Beauveria bassiana* fungus have the ability to act as toxins and trigger a series of symptoms that affect the insect, being a control method and currently has commercial presentations. On the other hand, the use of nanotechnology in agriculture is a new alternative for controlling insect pests while reducing costs. The objective of this research was to determine the effect of *Beauveria bassiana* metabolites alone and enhanced with silicon hydroxide nanoparticles on *Tribolium castaneum* adults, through residual film bioassays and immersion at concentrations of 1500, 3000, 4500, 6000, 7500 and 10,000 ppm, over a period of 7 days. According to the results obtained, we can determine that the nanoparticles obtained the highest percentage of mortality and the lowest LC₅₀ compared to the metabolite treatments.

Key words: *Tribolium castaneum*, *Beauveria bassiana*, nanoparticles.

INTRODUCCIÓN

Las semillas y granos almacenados son un elemento fundamental para la seguridad alimentaria del ser humano, por lo tanto, el proceso de almacenamiento es clave, para poder satisfacer las necesidades que se presenten en un futuro, la finalidad del almacenamiento es mantener la calidad de los granos después de la cosecha, limpieza y secado (Chicaré, 2018). En América Latina la disminución de alimento varía entre 25 y 50% ocasionadas por un alto contenido de humedad en los granos, los principales efectos de un mal almacenamiento son evidentes con la disminución en el volumen de producción y la calidad nutritiva, lo que afecta de forma directa en su valor comercial (Ponce, 2015). Los insectos en cereales y productos de fibra que se encuentran almacenados ocasionan pérdidas de millones de dólares anualmente (Rees, 2004).

Existen alrededor de 1,000 especies de insectos que afectan los granos almacenados, los insectos más importantes que causan daño y pérdidas económicas pertenecen al orden coleóptera y lepidóptera (Riudavets *et al.*, 2002), estos se clasifican en plagas primarias las cuales generan infestaciones a granos sanos y las plagas secundarias estas se alimentan de los granos afectados por las plagas primarias (Meza *et al.*, 2009). En la actualidad cuando se presentan problemas con plagas la principal opción de control es el control químico, el cual tiene efectos positivos, sin embargo, trae repercusiones como contaminación al medio ambiente y al hombre, debido a que dichos productos son altamente tóxicos y si se usan de manera excesiva los insectos pueden desarrollar resistencia a los mismos, debido a lo anterior se ha optado por el uso de otros métodos de control como control biológico, productos naturales y métodos físicos (Cuevas, 2006). En la actualidad el uso de bioplaguicidas formulados mediante plantas, macroorganismos o metabolitos de estos son una opción para el control de plagas, debido a la gran diversidad de especies y cepas efectivas, sin embargo, no tienen la misma efectividad y rapidez en el control de plagas, pero son amigables con el medio ambiente (Moreno y Alvares, 2011). Dentro los bioplaguicidas más utilizados se encuentran los hongos entomopatógenos estos infectan una gran parte de insectos plaga y debido a esto, hoy en día ya se cuenta con productos

comerciales a base de esporas o metabolitos de estos organismos (Gul *et al.*, 2020). Los hongos entomopatógenos actúan una vez entrando en contacto con los insectos, las esporas se adhieren a la cutícula y germinan en un determinado tiempo, posteriormente crecen hacia el interior del insecto generando toxinas y consumiendo los nutrientes de este, concluyendo con su muerte (Pucheta *et al.*, 2006). Por otro lado, el uso de la nanotecnología en la agricultura puede reducir las pérdidas y disminuir el uso excesivo de insumos químicos debido a su aplicación como nanofertilizantes, estimulantes y plaguicidas sistémicos (Carrillo y Gonzáles, 2002).

Objetivo general

Determinar el efecto de metabolitos de *Beauveria bassiana* solos y potencializados con nanopartículas de hidróxido de silicio sobre adultos de *Tribolium castaneum*

Objetivos específicos

Evaluar el porcentaje de mortalidad de *Tribolium castaneum* en bioensayos de inmersión y película residual.

Determinar la CL_{50} de los metabolitos de *Beauveria bassiana* solos y potencializados con nanopartículas de hidróxido de silicio.

Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos evaluados será efectivo en el control de *Tribolium castaneum*

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de los granos almacenados

La finalidad del almacenamiento es la preservación de los granos por un periodo corto que va desde la cosecha hasta la próxima siembra, sin embargo, también se busca que los granos preserven gran parte de su calidad y valor nutricional que tienen después de la cosecha, en ocasiones el producto se almacena ya que el mercado se satura y es necesario esperar el momento apto para su venta (Cerovich y Miranda, 2004). Por ello es necesario brindar a los granos un lugar apto en los aspectos de sanidad y factores climáticos, además es primordial conocer el estado de los granos como humedad, daño automático, cultivar limpieza y sanidad, todo esto con la finalidad de prevenir problemas que puedan afectar su calidad (Abadía y Bartosik, 2013; Peralta y Quiñonez, 2020). Un factor que limita la sanidad de los granos durante su almacenamiento está relacionado con los recursos económicos y a la poca capacitación que se le brinda los productores (Cuevas, 2006). Actualmente existe una gran cantidad de granos que pueden ser almacenados como maíz, frijol, trigo, sorgo, garbanzo, soya, entre otros, (Ramírez, 1984; Meza *et al.*, 2009). Las pérdidas en almacén se generan principalmente por roedores, pájaros, hongos, bacterias, e insectos (Padín *et al.*, 2008).

Importancia de los insectos plagas en almacén

Los insectos plaga en granos almacenados generan pérdidas anuales a nivel mundial de aproximadamente 162 a 475 millones de dólares (Domínguez *et al.*, 2010). En México el 75% de la producción de granos se lleva a cabo en condiciones de temporal, por productores a pequeña y grande escala, en el estado de Guanajuato, se generan pérdidas de hasta un 22% en grano de maíz almacenado e incluso un 40% de germinación del grano se pierde por el ataque de plagas (García *et al.*, 2007).

Las plagas que afectan los granos almacenados son clasificadas en tres grupos de acuerdo al daño que ocasionan, las plagas primarias perforan la cubierta de los granos y ovipositan sobre ellos, las plagas secundarias se alimentan principalmente de los granos afectados por las plagas primarias, en este grupo se encuentra *Tribolium castaneum* y como plagas terciarias se clasifican a los insectos que se alimentan de los desperdicios de las plagas antes mencionadas (Linbland y Druben, 1986). Las plagas primarias tanto larvas como adultos consumen el grano, alimentándose del embrión o endosperma, generando pérdida de peso, reducción de poder germinativo y menor calidad de nutrientes, para el caso de los daños que son provocados de forma indirecta están los excrementos y la presencia de individuos muertos que afectan el grano para el consumo del hombre o animales (De los Mozos, 1997). Estos insectos cuentan con características propias que los distinguen de las plagas que se encuentran en campo ya que son de tamaño pequeño, prefieren los lugares oscuros, cuentan con una alta capacidad reproductiva por lo que en un par de meses aumentan su población considerablemente ocasionando pérdidas (Pereira, 1993). Por lo anterior es necesario realizar su detección de manera temprana con el fin de controlar a tiempo las infestaciones (Bon y Socorro, 2012).

Principales plagas de granos almacenados

Las especies más importantes en relación económica pertenecen a los órdenes coleóptera y lepidóptera ya que son los que ocasionan los daños más severos (Rodríguez y Herrera, 2002). Estos se clasifican en tres grupos, en el primer grupo se encuentran los picudos como *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* afectando a cereales como arroz, avena, cebada, maíz, mijo, sorgo y trigo; el segundo grupo corresponde a los gorgojos *Rhyzopertha dominica*, *Prostephanus truncatus*, *Tribolium confusum*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Cryptolestes pusillus* estos insectos se alimentan de cereales como arroz, centeno, maíz, mijo, productos secos, derivados de cacahuate, cocoa, leguminosas, fruta seca, harinas de cereales y plantas de extracción de aceite, por

ultimo están las palomillas donde encontramos a *Sitotroga cerealella* y *Ephestia kuhniella* que se alimentan únicamente de maíz, trigo y algunas harinas de cereales (Ramayo, 2016).

Gorgojo castaño de la harina (*Tribolium castaneum* H.)

El insecto *T. castaneum* pertenece a la familia Tenebrionidae formando parte del orden coleóptera siendo conformado por más de 10,000 especies conocidas de las cuales 100 están relacionadas a los productos almacenados, gran parte de este número de especies se encuentran entre las plagas secundarias más importantes en almacén (Faroni y Sousa, 2006). La infestación de *T. castaneum* es frecuente en granos almacenados y su distribución es casi mundial, reportándose en 156 países contando con un rango muy amplio de hospederos, una vez establecida la colonia de insectos estos se reproducen rápidamente para aumentar su población y pueden llegar a ser económicamente importantes en todos los sistemas de distribución y almacenamiento de productos procesados (Campbell, 2022).

Las pérdidas que ocasiona *T. castaneum* pueden superar hasta un 30% en productos de harina de maíz almacenada en relación con el peso inicial, incluyendo que aumentan significativamente el número de individuos a comparación de su infestación inicial (Fraga, 2010). Una particularidad de este insecto es que no cuenta con mandíbulas muy resistentes, por lo cual no pueden afectar a los granos enteros y sanos, sin embargo, afectan granos quebrados o afectados por las plagas primarias, una vez que consumen además de ocasionar daños directos generan olores y gustos desagradables en los productos que atacan, por lo cual están catalogados como insectos secundarios (Dal Bello y Padín, 2006).

Ciclo de vida

Tribolium castaneum cuenta con una metamorfosis completa, huevo, larva, pupa y adulto, el adulto coloca sus huevos sobre la superficie del grano y eclosionan a los 5-10 días, mientras tanto las larvas en condiciones cálidas pueden madurar en 30 días, pero en días fríos tardan hasta 120 días, la larva suele ser muy activa y se desplaza por el producto almacenado hasta convertirse en pupa, posteriormente emerge el adulto que en condiciones adecuadas alcanza a sobrevivir hasta 3 años (Pereira, 1993).

Clasificación taxonómica

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Superfamilia: Tenebrionidae

Familia: Tenebrionidae

Género: *Tribolium*

Especie: *T. castaneum* *Herbst* (Herbst, 1797)

Control químico

El control químico se utiliza para prevenir, reducir y eliminar plagas, actualmente es el más utilizado debido a su alta efectividad, rápido y amplio rango de acción, así como por el fácil acceso a ellos (Badii *et al.*, 2007). Para su manejo los

plaguicidas son clasificados por su modo de acción, estructura química, presentación física, nivel de toxicidad, entre otros (SADER, 2024).

De acuerdo al grupo químico que pertenecen, podemos encontrar a los organofosforados que han sido utilizados por alrededor de 50 años para el control de plagas, sin embargo, son altamente tóxicos, con degradación lenta y bioacumulación, a pesar que han sido restringidos algunos de estos productos en países su uso continuado en aumento debido a su efectividad para el control de plagas (Jayaraj, 2017). Gran parte de los organofosforados actúan como insecticidas de contacto, fumigantes y de acción estomacal, afectando el sistema nervioso central bloqueando enzimas llamadas colinesterasas (Ponce *et al.*, 2006).

El grupo de los piretroides son sintetizados a base de la estructura química de las piretrinas naturales, estos son más amigables con el medio ambiente por lo que son una alternativa para el control de plagas (Ponce *et al.*, 2006). Los piretroides se dividen en dos tipos, el tipo I presenta un coeficiente de temperatura negativo que aumenta la hiperactividad del insecto cuando está en proceso de intoxicarse, en este grupo se encuentran las piretrinas y la permetrina, los piretroides tipo II tienen un coeficiente de temperatura positivo y generan un aumento en la mortalidad al incrementar la temperatura y esto se caracteriza por que paraliza al insecto (Leahey, 1985; Ware, 2000).

La aplicación y el uso constante de insecticidas químicos pueden generar problemas en la salud de los aplicadores y de los consumidores, además de ocasionar contaminación al suelo y agua (Chrinos *et al.*, 2020). El uso inadecuado de los insecticidas como utilizar dosis diferentes a las recomendadas y la falta de rotación de estos, puede generar resistencia a una población de individuos (Henry *et al.*, 2008; IRAC, 2024).

Alternativas de control

Una alternativa para controlar las plagas dentro del almacén es mediante el control de temperatura, aplicación gases como el dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno y

fluoruro de sulfurilo, sin embargo, para esto se requieren instalaciones sofisticadas (Martínez y Malgarejo, 2016).

El uso de extractos naturales o plantas con actividad insecticida son una alternativa a los ingredientes químicos sintéticos, algunos ejemplos son pimienta (*Piper nigrum* L.) chile (*Capsicum annum*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y Orégano (*Origanum vulgare* L.), estos extractos vegetales no eliminan al insecto, sino que inhiben su desarrollo normal o pueden actuar como repelentes (Salvadores *et al.*, 2007). Para el control de *Sitophilus zeamais* y *Prostephanus truncatus* se han evaluado extractos etanólicos de plantas arvenses, obteniendo alta mortalidad siendo una alternativa para el control de algunas plagas de granos almacenados (Esquivel *et al.*, 2022). Por otro lado, los extractos de *Bacharis glutinosa* se han evaluado para el control del gorgojo pardo del frijol *Acanthoscelides obtectus* Say, los resultados obtenidos son favorables por lo cual los posiciona como una alternativa no contaminante (Nava *et al.*, 2010).

Control biológico

El control biológico es una técnica que aprovecha a los enemigos naturales de las plagas y consiste en introducir un agente para lograr la eliminación de la plaga a largo plazo, gracias al control biológico las plagas se han tratado en más de 13 mil hectáreas con la liberación de microorganismos entomopatógenos, por lo cual se hizo de lado el uso de aproximadamente 272 toneladas de insecticidas en México (SADER, 2019).

Desde inicios del siglo XX se registraron los primeros acontecimientos de uso de parasitoides y depredadores para el control de insectos plaga, los parasitoides son aquellos que se desarrollan dentro o sobre el insecto plaga mientras que los depredadores se alimentan de insectos más pequeños que ellos, el programa responsable en México de implementar el uso de estas especies es el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Zelaya *et al.*, 2022). Existen alrededor de 23 agentes de control biológico de plagas de granos almacenados de los cuales 17 son parasitoides, 3 de depredadores y 3 parásitos (Gonzales *et al.*, 2009).

Los nematodos en especial la especie *Steinernema riobrave* es prometedora para el control de plagas de granos almacenados pertenecientes a la familia Curculionidae y Pyralidae, incluso se han realizado pruebas para *T. castaneum* teniendo resultados positivos, aunque no se controla al cien por ciento (Ramos *et al.*, 2007).

Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos conforman el grupo más importante en el control biológico de insectos plaga, además son económicos, amigables con el ambiente y tienen una forma sencilla de aplicación, sin embargo, para que sean efectivos los resultados debe contarse con condiciones adecuadas de humedad y temperatura (Pérez, 2004). Cabe mencionar que todos los órdenes de insectos son susceptibles a enfermedades fúngicas y que se pueden encontrar infectados en los ecosistemas de manera natural (Berlanga-Padilla *et al.*, 2016). Actualmente existen alrededor de 750 especies de hongos con potencial como agentes controladores de insectos (Mota y Murcia, 2011). Dentro de las especies más utilizadas están *Metarhizium anisopliae* (33.9%), *Beauveria bassiana* (33.9%), *Isaria fumosorosea* (5.8 %) y *Beauveria brongniartii* (4.1%) (De Faria y Wraight, 2007).

El proceso de infección de los hongos entomopatógenos comienza cuando las esporas viables entran en contacto con la cutícula del insecto, una vez ingresada la espora inicia su germinación comenzando con un hinchamiento de la misma, después comienza la formación del tubo germinativo, este rastrea y reconoce la superficie del insecto habilitando a la hifa para la penetración de la cutícula, cuando el hongo ya está dentro prolifera y forma cuerpos hifales secundarios los cuales se extienden desde los tejidos musculares a todos los órganos del hospedero (Pucheta *et al.*, 2006). Los bioinsecticidas que están elaborados a base de estos hongos entomopatógenos son capaces de potenciar la calidad y sanidad de los cultivos o semillas, otra ventaja notable en estos productos es la

baja inversión necesaria para producirlos y la posibilidad de acceder a ellos por procesos simples que no requieren de gran infraestructura (Blanco, 2022).

Beauveria bassiana

Es un hongo cosmopolita que infecta alrededor de 200 especies de insectos incluidas las plagas que representan problemas en la agricultura por lo cual ha sido puesto a experimentación en laboratorio contra un gran número insectos, en la actualidad se produce y comercializa en varios países (Hernández y Berlanga, 1999). Es conocido desde el año 1835 como un hongo entomopatógeno principalmente por ocasionar la muerte de gusanos de seda, es encontrado de manera natural en suelos y sobre algunos insectos de los órdenes coleóptera, díptera, heteróptera, lepidópteros (Santamaría *et al.*, 1998).

El ciclo de infección de *B. bassiana* se divide en dos etapas, la primera es la parasítica que termina con la muerte del insecto, la segunda fase es la saprofitica la cual se caracteriza por una colonización total con melanización y momificación del individuo, emergencia del hongo y su esporulación, los conidios pueden dispersarse por medio del viento, agua y otros organismos para de esta manera iniciar un nuevo ciclo infectivo (Vázquez y Alvares, 2011).

Los hongos entomopatógenos sintetizan varios metabolitos que funcionan como toxinas, debido a esto tienen una alta relevancia en el proceso de infección y desencadenan una serie de síntomas que afectan al insecto como son convulsiones, poca coordinación, alteraciones en el comportamiento, dejar de comer y parálisis (Sánchez-Pérez *et al.*, 2014). Por ello se han realizado evaluaciones en condiciones de laboratorio para conocer el potencial bioinsecticida que tienen los metabolitos secundarios de *B. bassiana* contra larvas de *Bradysia impatiens* ocasionando melanización, aspecto frágil, poca movilidad y superficie corporal flácida y finalmente ocasionando pérdida total de movimiento (Marín *et al.*, 2019).

Nanotecnología

La agricultura es considerada como la segunda área de aplicaciones de la nanotecnología después del área energética, uno de sus principales objetivos es la prevención o solución de los problemas ambientales, igualmente la implementación de insumos agrícolas basados en nanomateriales, en relación a los plaguicidas algunas nanopartículas (NPs) pueden ser usadas como alternativas para el control de plagas, hongos y ectoparásitos de animales (Carrillo y Gonzáles, 2002). Debido al uso excesivo de los agroquímicos sintéticos se generan problemas en distintas áreas, como son contaminación, deterioro a la salud del suelo, resistencia de los insectos y microorganismos fitopatógenos a los pesticidas, la herramienta de la nanotecnología ha surgido como una puerta que nos puede brindar oportunidades a gran escala como la producción de nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoherbicidas y nanosensores que nos ayuden a incrementar los rendimientos de los cultivos (Lira *et al.*, 2018).

A pesar de que las NPs tienen la característica de tener un efecto de insecticida por si solas, también son utilizadas como portadoras de productos químicos, debido a que las NPs afectan la pigmentación e integridad de la cutícula de los insectos, considerando que mientras más pequeño sea el tamaño de las NPs es más alto el grado de su toxicidad y la penetración en el cuerpo del insecto (Shanzad y Manzoor, 2019).

Los nanopesticidas están tomando relevancia para competir con los insecticidas químicos, sin embargo, sus resultados como alternativa para el control de plagas no han sido experimentados a gran escala sobre todo con las etapas inmaduras de las plagas (Hemi *et al.*, 2023). En cuanto a plagas de almacén se han realizado evaluaciones utilizando NPs de Sílice en conjunto de otros productos para el control de *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium confusom* (Babamir *et al.*, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo 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 la colonia *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 metabolitos de *B. bassiana*, metabolitos de *B. bassiana* más NPsSi y NPsSi solas a concentraciones de 1500, 3000, 4500, 6000, 7500 y 10,000 ppm, los bioensayos se establecieron por el método de inmersión y película residual donde se evaluó la mortalidad de *T. castaneum* a las 24, 48, 72, 96, 120, 144 y 168 h, se colocaron 30 insectos con tres repeticiones por cada tratamiento además de un testigo absoluto. Para determinar el criterio de mortalidad a los insectos se les realizó un estímulo con ayuda de un pincel, el insecto que no respondió al estímulo se consideró muerto.

Para la evaluación de película residual se colocó 1 ml de producto en una caja Petri, utilizando Tween 80 como adherente, para dispersar la solución de manera

uniforme en la caja se utilizó una varilla previamente esterilizada, posteriormente se esperó a que se evaporara completamente el líquido y se colocaron los insectos en cada una de las cajas Petri.

Para el bioensayo de inmersión los insectos fueron sumergidos con ayuda de una pequeña malla por cinco segundos en las diferentes concentraciones de los tres tratamientos, después se les retiro el exceso de líquido con toallas de papel y por ultimo fueron colocados en las cajas Petri.

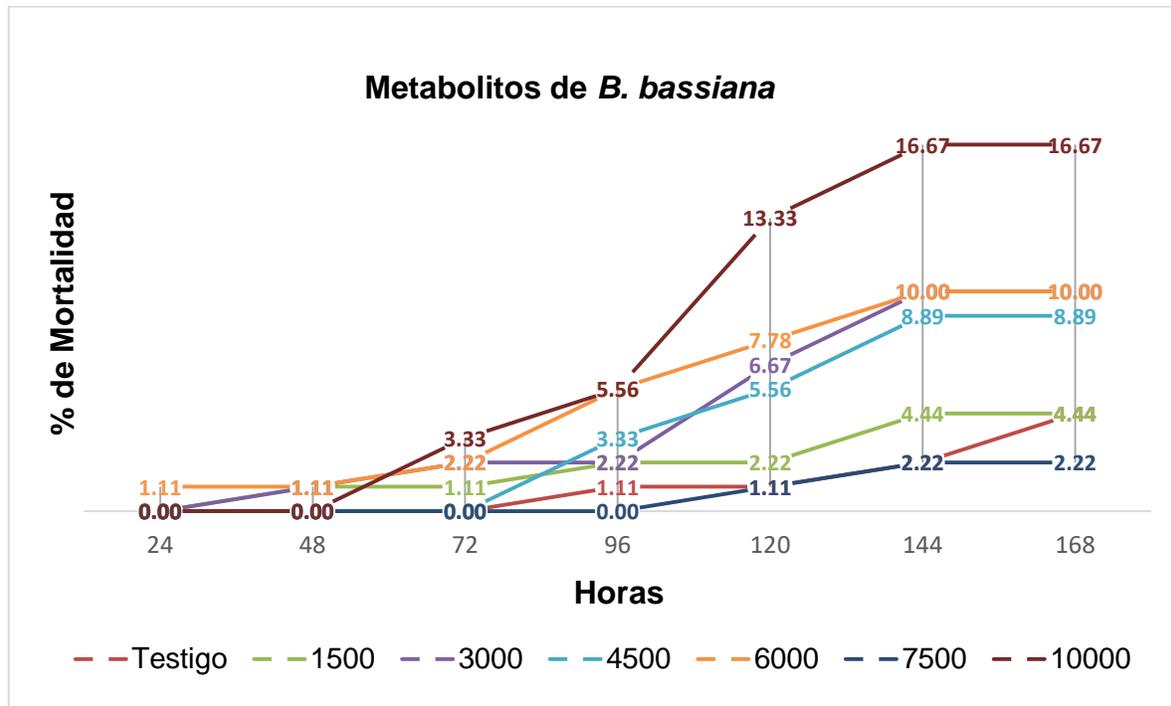
Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de mortalidad y posteriormente se calculó la concentración letal media (CL_{50}) para cada uno de los tratamientos mediante un análisis Probit con el programa estadístico SAS 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenido los datos de los diferentes bioensayos se calculó el porcentaje de mortalidad en cada uno de los tratamientos. En la gráfica 1 se observan los resultados de la evaluación de metabolitos de *B. bassiana* mediante el bioensayo de película residual, la concentración correspondiente a 10,000 ppm, alcanzó hasta un 16% de mortalidad de *T. castaneum* transcurridos 7 días teniendo un aumento promedio diario de 2.3% de mortalidad, seguido de los tratamientos de 3000 y 6000 ppm quienes alcanzaron una mortalidad de 10% en un lapso de 7 días, teniendo un incremento promedio de mortalidad de 1.42% por día. Hernández, (2015) evaluó la patogenicidad y virulencia de *B. bassiana* contra la chinche de las crucíferas *Bragada hilaris* en sus estadios de larva y adulto donde colocó cuatro grupos de cinco insectos y cada uno fue inoculado con distintas concentraciones y determinó que a mayor concentración de conidias existe mayor índice de mortalidad en el insecto. Rodríguez-Rojas y Peraza-Padilla, (2022) determinaron la dosis efectiva del hongo *B. bassiana* en distintos tratamientos a diferentes concentraciones y así conocer su formulación adecuada para el control de *Strymon megarus* los resultados que obtuvieron mencionan que en todos los tratamientos evaluados se mostró una menor incidencia de gomosis en comparación con su testigo absoluto y que a dosis de 4.0×10^{12} unidades formadoras de colonias obtuvieron una incidencia de daño menor al 5%.

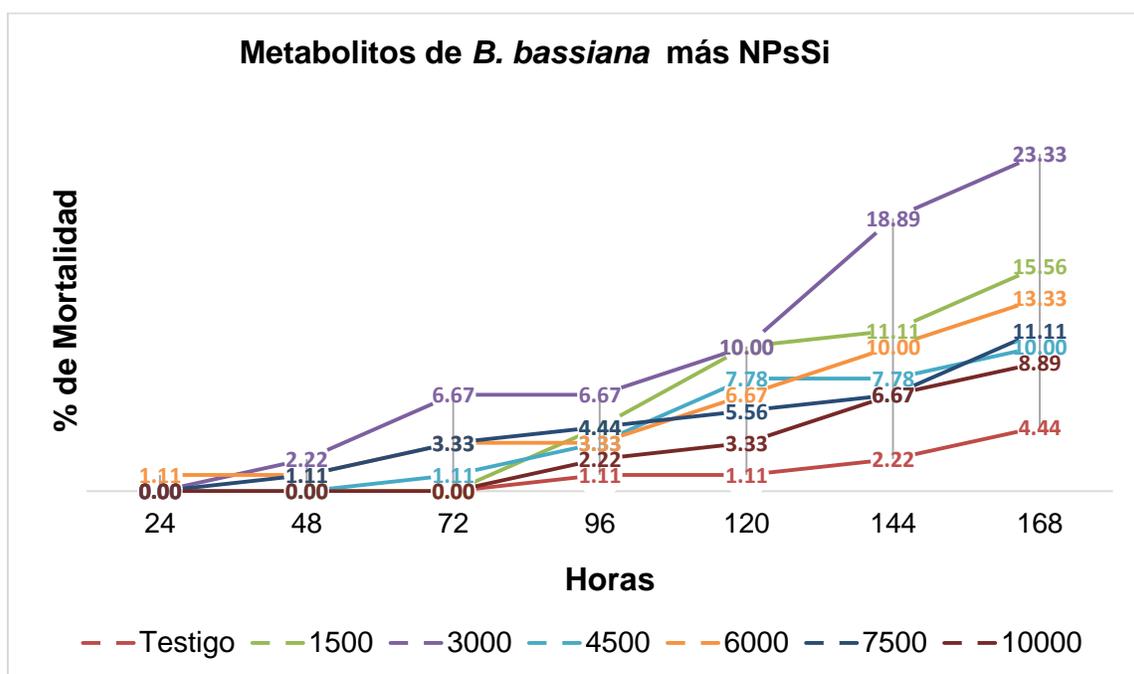
Gráfica 1. Metabolitos de *B. bassiana* en bioensayo de película residual evaluados sobre *T. castaneum*.



En la gráfica 2 se aprecian los resultados obtenidos con el tratamiento de metabolitos de *B. bassiana* en combinación de NPsSi, el tratamiento con mayor mortalidad fue el de 3000 ppm, alcanzando una mortalidad de *T. castaneum* de 23.33% en un lapso de 7 días, con un incremento de mortalidad promedio por día de 3.3% cabe mencionar que estos resultados fueron más altos en comparación a los obtenidos en el tratamiento de metabolitos solos de *B. bassiana*. Alif y Thangapandiyan, (2019) evaluaron nanopartículas de plata, malatión y la combinación de ambos para el control de *T. castaneum*, realizando pruebas de mortalidad, antialimentarias, disuasión oviposicional y actividad repelente, encontrando que el malatión junto con las nanopartículas de plata muestran una mayor actividad pesticida contra *T. castaneum*. Khoos *et al.*, (2016) realizaron un trabajo donde evaluaron los efectos que tienen las nanopartículas de óxido de zinc (NP de ZnO) sintetizadas y *B. bassiana* en adultos de *Trialeurodes vaporariorum*

los cuales fueron expuestos a diferentes concentraciones para el caso de NP de ZnO a (3, 5, 10, 15, 20 mg l⁻¹) y para *B. bassiana* (10⁴, 10⁵, 10⁶, 10⁷, 10⁸ esporas ml⁻¹) los resultados de efectividad más altos obtenidos fueron de 91.6% y 88.8% en la dosis más alta de cada tratamiento.

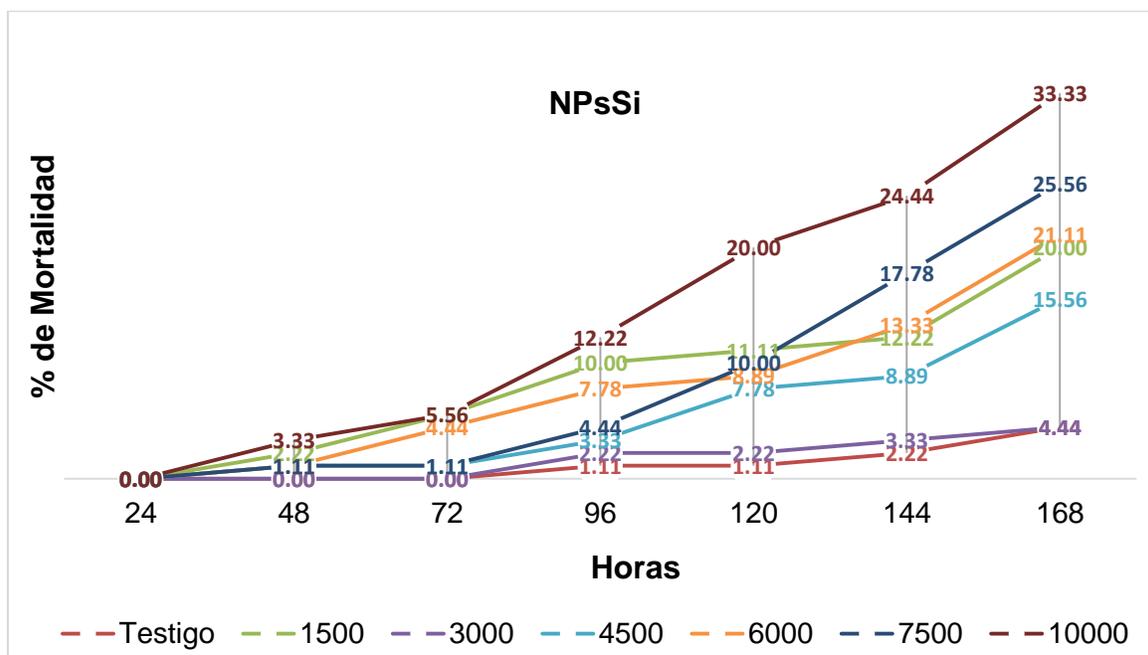
Gráfica 2. Mortalidades registradas sobre el gorgojo de la harina, expuestos a metabolitos de *B. bassiana* con NPsSi en bioensayo de película residual.



En el cuadro 3, podemos observar los porcentajes de mortalidad alcanzadas utilizando NPsSi mediante el bioensayo de película residual, transcurridos los 7 días de la aplicación podemos observar que la concentración a 10,000 ppm registró una mortalidad de 33.33%, incrementando en promedio 4.7% diariamente, seguido de la concentración de 7500 ppm, con un 25.56% de muertes totales y un incremento diario de 3.65%, el uso de NPsSi fue mas efectivo con un 10% de diferencia a comparacion de los tratamientos con metabolitos de *B. bassiana*. Derbalah *et al.*, (2014) evaluaron nanoparticulas de óxido de zinc y silicio para el control de larvas de primer estadio del gusano rosado *Pectinophora gossypiella* obteniendo una CL₅₀ de 11.29 y 73,78 ppm respectivamente. Amjad *et al.*, (2022)

synthesized silver nanoparticles using rice husk to determine their efficacy against aphids through bioassays at different concentrations (200, 400 and 600 ppm) the highest mortality index they obtained was 93.3% with the concentration at 600 ppm at 48 hours.

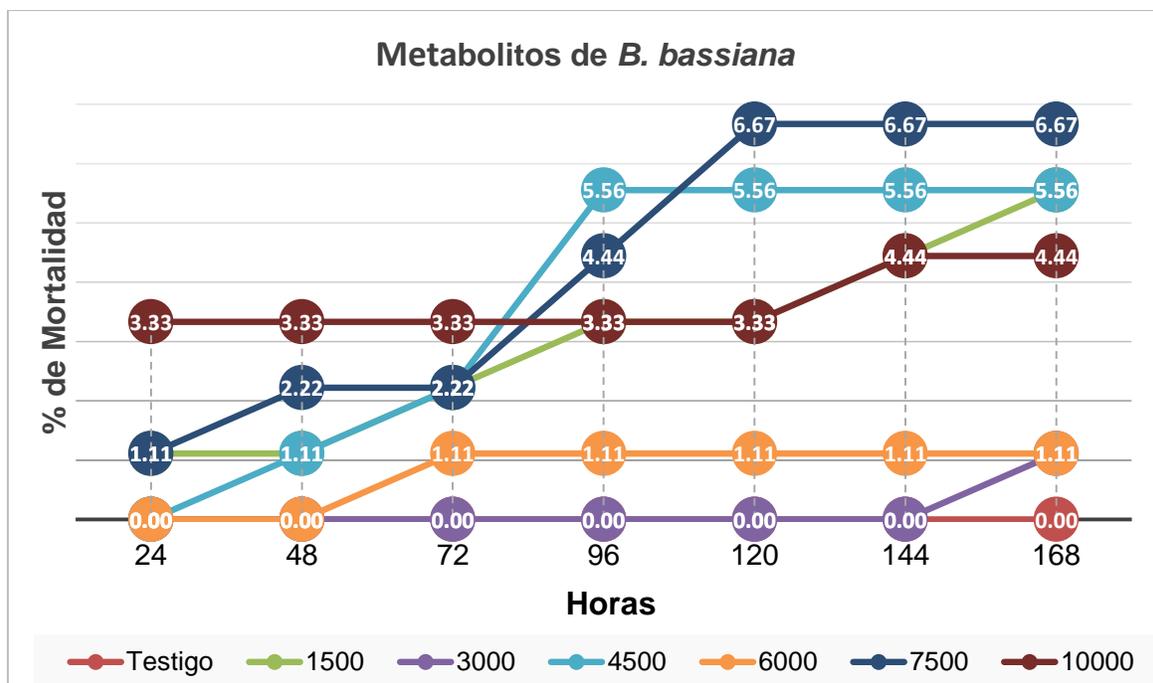
Gráfica 3. Bioensayo de película residual con el insecto *T. castaneum* evaluados con NPsSi.



De acuerdo a los resultados obtenidos en el bioensayo de inmersión, se calculó el porcentaje de mortalidad en cada uno de los tratamientos, en la gráfica 4 se observan los resultados de metabolitos de *B. bassiana*, la concentración correspondiente a 7500 ppm alcanza un 6.67% de mortalidad de *T. castaneum* en 7 días, teniendo un aumento promedio diario de 0.95% de mortalidad, seguido de las concentraciones de 1500 y 4500 ppm que alcanzaron un 5.56% de mortalidad. Farooq *et al.*, (2020) evaluaron a *B. bassiana* en combinación con extractos de *Azadirachta indica* contra larvas del segundo estadio del gusano rosado del algodón *P. gossypiella* en condiciones controladas, siendo esta combinación puede ser una alternativa ante productos químicos tradicionales. Ibañez *et al.*,

(2015) trabajaron en laboratorio para conocer la efectividad del extracto de crudo de *B. bassiana* para el control de larvas de *Phyllophaga spp.*, en ensayos con y sin sustrato, las mortalidades más altas se presentaron en los bioensayos sin sustrato con 12.5% de mortalidad a las 48 hrs, sin embargo en el tratamiento con sustrato se presentó el mismo porcentaje pero a las 72 hrs.

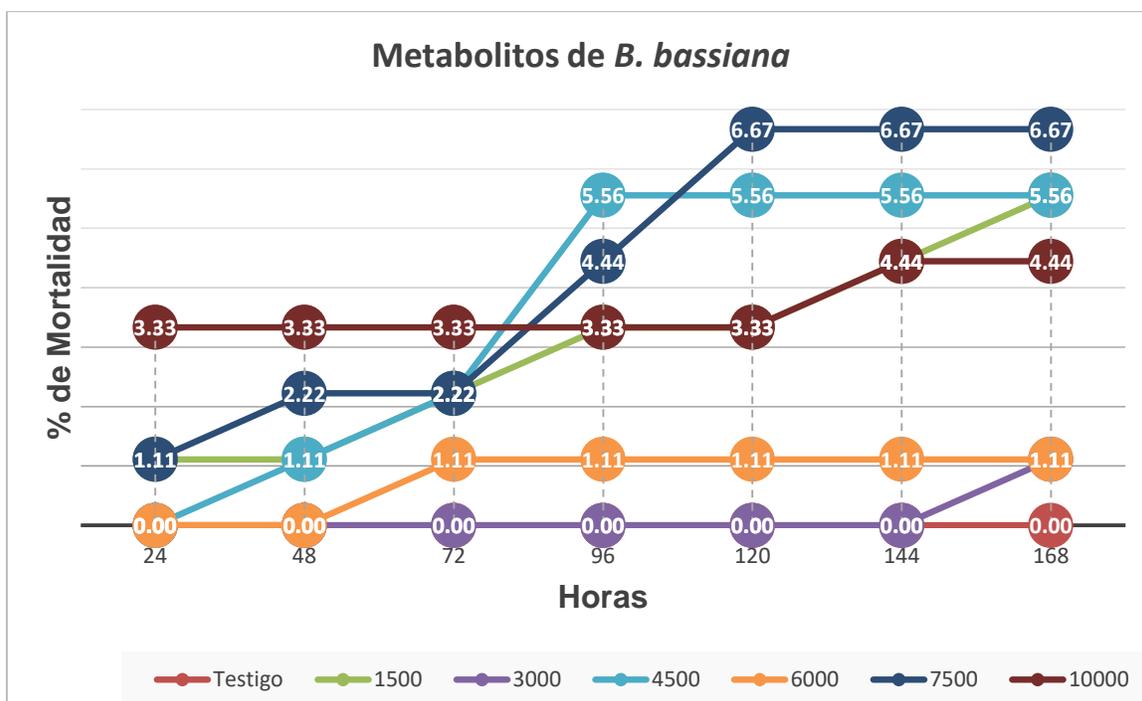
Gráfica 4. Mortalidades de *T. castaneum* mediante la técnica de inmersión con metabolitos de *B. bassiana*.



La gráfica 5, nos muestra los porcentajes de mortalidad alcanzados utilizando metabolitos de *B. bassiana* más NPsSi mediante el bioensayo de inmersión, transcurridos 7 días de la aplicación podemos observar que la concentración de 4500 ppm alcanzó un 4.45% de mortalidad de *T. castaneum*, seguido de las concentraciones a 1500 y 6000 ppm, que alcanzaron una mortalidad de 3.33%. Babamir-Satehi *et al.*, (2017) evaluaron NPsSi en polvo cargadas con clorpirifos (40.8% CE) sobre los insectos *T. confusum* y *R. dominica* la toxicidad se evaluó a 7, 15, 30, 45 y 60 días posteriores a la aplicación con tiempos de exposición de 6,

24, 48 y 72 h, encontrando que dicha combinación tiene efectos de toxicidad con forme incrementaba el tiempo de exposición, por lo que a 72 h de exposición y a los 60 días la mortalidad fue del 100% en ambas especies. Taheri *et al.*, (2020) evaluaron los efectos de las nanopartículas de óxido de zinc, caolín en polvo y *B. bassiana* solos y en combinación con Neemarin (insecticida) para el control de ninfas de *B. tabaci*, obteniendo una CL₅₀ de 6.93, 18.36 y 6.00 mg/L respectivamente para los productos solos, cabe mencionar que en combinación con el insecticida las CL₅₀ fueron menores.

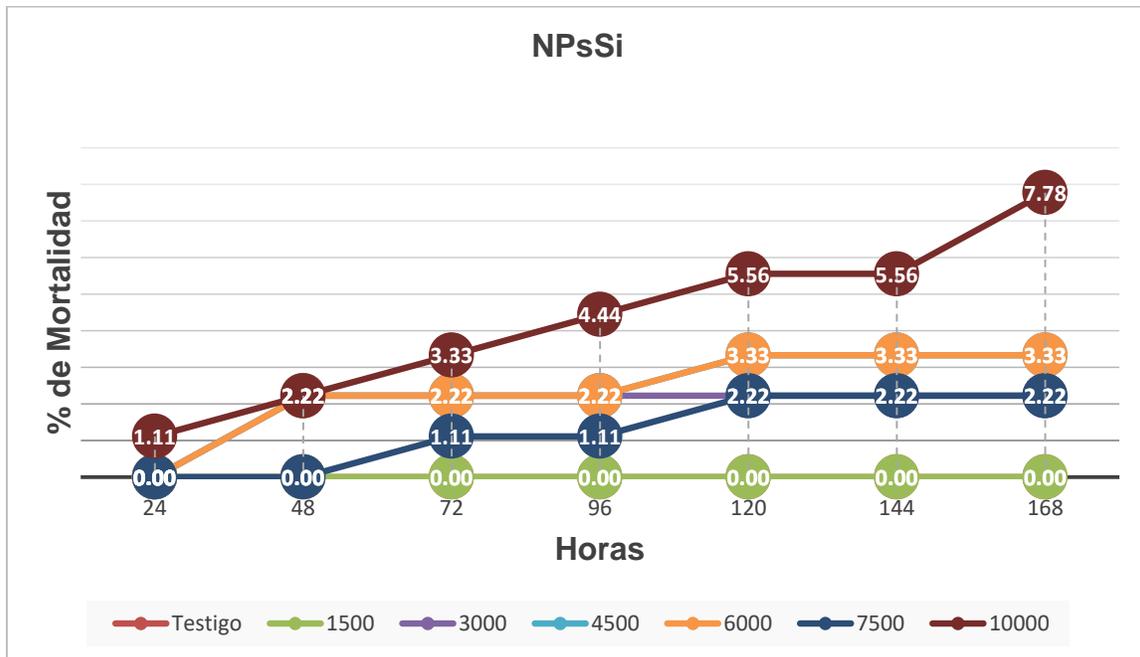
Gráfica 5. Metabolitos de *B. bassiana* con NPSi mediante la técnica de inmersión contra el gorgojo de harina.



Por último en la gráfica 6 se muestra el tratamiento de NPSi en el bioensayo de inmersión, la concentración con mayor mortalidad fue de 7500 ppm, alcanzando una mortalidad de *T. castaneum* de 7.78% en un lapso de 7 días, seguido de la concentración de 10,000 ppm, que alcanzó un 4.44%, esto resultados fueron más bajos que en el bioensayo de película residual. Carballo *et al.*, (2001) mencionan

el uso de *B. bassiana* sobre adultos de *Anthonomus eugenii* en condiciones de laboratorio, donde evaluaron suspensiones del hongo a diferentes concentraciones inoculando a 10 insectos por tratamiento, esto mediante la técnica de inmersión, obteniendo una mortalidad del 100% para la concentración de 10^8 conidios/ml con un índice de mortalidad de 42.5%. Malpartida *et al.*, (2013) trabajaron con cepas de *B. bassiana* para el control de larvas de 3er estadio de *Diones juno* evaluando una solución de 10^8 conidias ml^{-1} a partir de esta solución se prepararon tres concentraciones seriadas T1, T2 y T3 y las larvas se inocularon por inmersión durante 2 minutos en 10 ml obteniendo una efectividad en T3 de un 100% en el día 21. Haroun *et al.*, (2020) llevaron a cabo un estudio donde evaluaron la efectividad insecticida que tienen las nanopartículas de óxido de zinc (NP de ZnO) y las nanopartículas de sílice hidrófilas (NP de SiO₂) para el control de adultos de *Sitophilus oryzae* L. y *T. castaneum*, obteniendo como resultados que las NP de ZnO como las Np de SiO₂ hidrofílicas tienen un efecto tóxico para *S. oryzae*, sin embargo *T. castaneum* mostró una alta resistencia.

Gráfica 6. Mortalidad de *T. castaneum* expuesto a NPsSi en bioensayo mediante la técnica de inmersión.



En la tabla 1 se reflejan las CL_{50} reportadas de los distintos tratamientos evaluados, para el fermento solo y adicionado con nanopartículas silicio obtuvimos una CL_{50} de 2,593,234 y 2,672,922 ppm respectivamente, siendo el tratamiento de nanopartículas solas quien presento la CL_{50} más baja con 72054 ppm. Abdel-Halin y Atti., (2018) reportan el uso de nanopartículas de silicio cargadas con aceite esencial de clavo y pimienta para el control de *T. castaneum*, obteniendo valores de CL_{50} de 1156.26 y 5619.03 ppm respectivamente. Por otro lado Uribe, (2022) evaluó diferentes extractos vegetales con nanopartículas de dióxido de silicio para el control de *T. castaneum* en donde Higer Nano y Etos Nano presentaron los valores menores para CL_{50} los cuales fueron de 98.25 ppm y 291.92 ppm.

Tabla 1. Resultados de CL₅₀ en bioensayos de película residual en *T. castaneum* expuestas a metabolitos de *B. bassiana* solos y en combinación con nanopartículas de hidróxido de silicio.

Tratamientos	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor
Metabolitos	2,593,234	-	-	Y=-3.194+0.498	0.0249
M+NPsSi	2,672,922	9.7217E-26	316.14923	Y=-0.705+0494	0.1405
NPsSi	72054	-	-	Y=-3.476+0.715	0.0004

En la tabla 2 se registran las CL₅₀ para los bioensayos de inmersión, podemos observar que los metabolitos de *B. bassiana* mostraron una CL₅₀ más alta con 2.39882 E⁻⁵¹, seguido por el tratamiento que consta de la combinación de metabolitos de *B. bassiana* con nanopartículas de hidróxido de silicio las cuales obtuvieron una CL₅₀ de 1.5429 E⁻¹⁰, mientras que el tratamiento de nanopartículas de hidróxido de silicio fue más efectivo presentando una CL₅₀ de 173994 ppm. Jafir *et al.*, (2021) evaluaron nanopartículas de plata sintetizadas por *Ocimum basilicum* estas fueron comparadas con insecticidas químicos para el control de larvas de *Spodoptera litura*, reportando que las nanopartículas causaron una mortalidad de 21.67-96.67% a dosis 100-1500 mg/L en larvas de segundo estadio siendo más eficientes que los productos químicos. Mientras que Senbill *et al.*, (2023) estudiaron el efecto de NPsZnO y nanonoparticulas de TiO₂ sobre *Tetranychus urticae* en comparación con abamectina, donde los datos obtenidos para las NPs son similares con valores de CL₅₀ 492.8, 206.5 y 117 mg L⁻¹ y 678.3, 347.8 y 146.6 mg L⁻¹ respectivamente, en comparación con la abamectina con 24.6, 11.6 y 4.9 mg L⁻¹.

Tabla 2. CL₅₀ de metabolitos de *B. bassiana* solos y en combinación con nanopartículas de hidróxido de silicio contra *T. castaneum* por el método de inmersión bajo condiciones de laboratorio.

Tratamientos	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor
Metabolitos	2.39882E ⁻⁵¹	-	-	Y=-1.875+0.0365	0.1172
NPsSi + m	1.5429E ⁻¹⁰	-	-	Y=-1.375+0.140	0.8606
NPsSi	173994	38715	3.17777E10	Y=-6.377+1.216	0.3669

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados podemos resaltar que el mayor porcentaje de mortalidad se presentó en el bioensayo de película residual, en los tratamientos de nanopartículas de silicio y la combinación de metabolitos más nanopartículas, pudiendo ser una alternativa para el control de *T. castaneum*, sin embargo se recomienda continuar con la investigación de estos productos.

LITERATURA CITADA

- Abadía, B. y Bartosik, R. (2013). Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos. Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria. Editado por: Bernadette Abadía y Ricardo Bartosik. Autores: Abadía, MB, 194.
- Amjad, T.; Afsheen, S. y Iqbal, T. (2022). Nanocidal Effect of Rice Husk-Based Silver Nanoparticles on Antioxidant Enzymes of Aphid. *Biol Trace Elem Res.* 200(11):4855-4864. Doi: 10.1007/s12011-021-03067-5.
- Babamir-Satehi, A.; Ziaee, M. y Ashrafi, A. (2017). Síntesis y evaluación toxicológica de nanopartículas de sílice como portador de clorpirifos contra las plagas de escarabajos *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium confusum*. *Revista de la Sociedad Entomológica de Irán* , 37 (2), 235-247
- Badii, M.H.; Landeros, J. y Cerna, E. (2007). Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. CULCyT. (23)
- Berlanga-Padilla P.A.M.; Ayala, Z.M.A.; Montesinos, M.R. y Rodríguez, R.J.C. (2016). Manual de exploración para la Colecta de Hongos Entomopatógenos. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. Dirección General de Sanidad Vegetal. SAGARPA. SENASICA. Tecomaán, Colima, México, 54.
- Blanco, S., Sirio, A. A. y Roldán, S. M. (2022). Uso de bioinsecticidas: *beauveria bassiana*.

- Bon, L.M. y Socorro, V. (2012). Monitoreo y manejo de las temperaturas en la posición de silo Cuba Libre, Pedro Betancourt, Matanzas, para mantener la calidad del grano almacenado.
- Campbell, J.F.; Athanassiou, C.G.; Hagstrum, D.W. y Zhu, K. Y. (2022). *Tribolium castaneum*: un insecto modelo para la investigación fundamental y aplicada. Vol. 67: 347-365.
- Carrillo González, R. y González-Chávez, M. D. C. A. (2009). La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 2(2), 50-63.
- Carrillo, G. R., González Chávez, M. C. (2002). La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, vol.2.no 2, p.50-63
- Cerovich, M. y Miranda, F. (2004). Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. CENIAP HOY: Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, no.4.
- Chávez, I. E.; Rodríguez, Navarro S,; Sánchez Pérez L de C.; Hamdan Partida A y Barranco Florido JE. (2014). Actividad insecticida in vitro de extracto crudo de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin sobre larvas de *Phyllophaga spp.* (Harris). Rev. Protección Veg. 29(3):226.
- Chicaré, N. (2018). Extractos Vegetales para el Control de **Tribolium castaneum** (Herbst.) y *Rhyzopertha dominica* (Fabr.), Plagas de Granos Almacenados. [Tesis licenciatura, Universidad Nacional de la Plata Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales]. P. 4-11.

- Chirinos, D.T.; Castro, R., Cun, J.; Castro, J.; Peñarrieta, B.S.; Solis, L. y Geraud, P.F. (2020). Los insecticidas y el control de plagas agrícolas: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1): e1276
- Comité de Acción contra Resistencia a los Insecticidas (IRAC). 2024. Folleto de Clasificación del modo de Acción de Insecticidas y Acaricidas Incluyendo Nematicidas. Edición. 5.1
- Cuevas, M. I. . (2006). Insecticidas alternativos para el control de plagas en granos almacenados. *Inventio*, 2(3), 55–60. Recuperado a partir de <https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/846>
- Dal Bello, G. y Padín, S. (2006). Olfatómetro simple para evaluar la actividad biológica de aleloquímicos vegetales en *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Agrociencia Uruguay*. 10(2),23-26.
- De Faria, M. y Wraight, S.P. (2007). Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, 43(3), 237-256.
- De los Mozos, P. M. (1997). Plagas de los productos almacenados. Centro de Investigación Agraria de Albaladejito. *Boletín. S.E.A.*, (20) 93-109
- Derbalah, A.S.; Khidr, A.A.; Moustafa, H.Z. y Taman, A. (2014). Laboratory evaluation of some non-conventional pest control agents against the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders). *Egypt J Biol Pest Cont* 24(2): 363-368

- Domínguez, U.J.E. y Marrero, A. L. (2010). Catálogo de la entomofauna asociada a almacenes de alimentos en la providencia de Matanzas. *Fitosanidad*. 14(2), 75-82.
- Esquivel-Rivera, J. A.; Tafoya, F.; López-Muraira, I. G.; Silos-Espino, H., Carrillo-Rodríguez, J. C. y Perales-Segovia, C.(2022). Vegetable extracts evaluation as a control alternative for two stored corn pests, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) and *Prostephanus truncatus* (Horn). *Revista Bio Ciencias* 9, e1282 doi: <https://www.scielo.org.mx/pdf/revbio/v9/2007-3380-revbio-9-e1282.pdf>
- FAO. (1993).Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Consultado el 14 de noviembre. Disponible en <https://www.fao.org/4/x5027s/x5027s0h.htm>
- Faroni, L.R.A. y De Sousa, A.H. (2006). Aspectos Biológicos y taxonómicos de las principales plagas de insectos de los granos almacenados. *Tecnología de almacenamiento en semillas*. 371-402 pp.
- Farooq, M.A.; Atta, B.; Gogi, M.D.; Arif, M.J. y Arain, Q.A. (2020). Compatibility of entomopathogenic fungi and *Azadirachta indica* extract against the cotton pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) under controlled conditions. *Egypt J Biol Pest Control* 30, 63: 1 – 6
- Fraga, R. (2010). Contaminación por *Tribolium castaneum* Herbst en harina integral de maíz almacenado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 20(2), 63-65
- García, L. M.L.; Aguirre, G.J.A.; Narro, S.J.; Cortés, B. E. y Rivera, R.J.G. (2007). Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 33(3), 231-239

- González, F. G., Delgado, M. R., Zapata, R. T., Pinto, V. M., & Alarcón, S. R. (2009). AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS DE GRANOS ALMACENADOS. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8(2), 49-56.
- Gul, H. T.; Saeed, S. y Khan, F. A. (2020). Entomopathogenic Fungi as a Biological Pest Management Option: A Review. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 6(6). doi:10.20431/2454-6224.0606001
- Helmy, E.A.M.; San, P.P.; Zhang, Yao, Z.Z.; Adatkwah, C. y Tuda, M.(2023). Eficacia entomotóxica de nanopartículas sintetizadas por hongos contra etapas inmaduras de plagas de frijol almacenado. *Sci Rep* 13 , 8508. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35697-1>
- Henry, R.M.; Ulloa, G.A. y Ramsey, W.J.M. (2008). Manual para la vigilancia y el control del paludismo en Mesoamérica. Institución Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.
- Hernández, H. V. (2015). Patogeneidad y Virulencia de Hongo *Beauveria bassiana* Contra la Chinche de las Crucíferas *Bagrada hilaris* Bajo Condiciones de Laboratorio [Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. RepositorioInstitucionaldigital.<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7620>
- Hernandez, V.V.M. y Berlanga, P.A.M.(1999). Uso de *Beauveria bassiana* como insecticida microbial. Ficha técnica CB-03. Centro Nacional de Referencia de Control Biológico. SAGAR y CONASA. Tecoma, Col. 4p.
- Jafir, M.; Ahmad, J. N.; Arif, M. J.; Ali, S. y Ahmad S. J. N. (2021). Characterization of *Ocimum basilicum* synthesized silver nanoparticles and its relative toxicity

to some insecticides against tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Feb. (Lepidoptera; Noctuidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 218: 112-127.

Jayaraj, R.; Megha, P. y Sreedev, P. (2017). Plaguicidas organoclorados, sus efectos tóxicos sobre los organismos vivos y su destino en el medio ambiente. 9 (3-4): 90-100.

Leahey, J.P. (Ed.) (1985). *The pyrethroid insecticides*. Taylor & Francis, London
Lockwood, J.A., TC. Sparks y R.N. Story, 1984. Evolution of insect resistance to insecticides: a evaluation of the roles of physiology and behavior. *Bull. Entomol. Soc. Amer* 41-5 1.

Lindblad, C. y Druben, L. (1986). Almacenamiento de grano: Manejo, Secado, Silos y Control de Insectos y Roedores. Editorial concepto. Segunda Reimpresión. México, DF. 33pp.

Lira Saldivar, R. H.; Méndez Argüello, B.; Santos Villarreal, G. D. L. y Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.

Marín, C.V. H., Rodríguez, N.S., Barranco, F. J. E., Terrón, S.R., y Cibrián, T.D. (2019). Metabolitos y Conidios de *Beauveria bassiana* Como Control de Mosco Negro fungoso 1, Bajo Condiciones de Invernadero. *Southwestern Entomologist*, 43(3) : 691-703

Marín-Cruz, V. H.; Rodríguez-Navarro, S.; Barranco-Florido, J. E. y Cibrián-Tovar, D. (2017). Insectistatic and insecticide activity of *Beauveria bassiana* in *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(3), 329-340.

- Martinez, A.I. y Malgaralejo, H. J.(2016). Control Quimico de Plagas en Granos Almacenados. Almacenamiento en México. Revista N. 271
- Meza, G. J. L.; Camacho B. J. R, y Cortes, M. E. (2009). Manejo Integrado de plagas en granos almacenados. Tecnologías de Granos y Semillas. 109, 141-142
- Moreno, L. L. V. y Alvarez, J. M. (2011). Control ecológico de poblaciones de plagas. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, Ministerio de la Agricultura.
- Motta-Delgado, P.A. y Murcia, O.B. (2011). Hongos entomopatogenos como alternativa para el control biológico de plagas. Ambiente y Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 6(2), 77-90.
- Nava, P.E.; Gastélum, H. P.; Camacho, B. J. R.; Valdez, T.B.; Bernal, R. C. R y Herrera, F. R. (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (SAY) en frijol almacenado. Ra Ximhai: Revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible, 6(1), 37-44.
- Padín, S.; Bello, G. D. y Fabricio, M. (2008). Pérdida de grano causada por *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* y *Acanthoscelides obtectus* en trigo duro almacenado y frijol tratado con *Beauveria bassiana*. Revista de Investigación de Productos Almacenados. V. 38. P.69-74.
- Peralta, S; Quiñonez, E. 2017. Unidad de Almacenamiento. MAG, M de A (ed.). Quito, Ecuador, s.e.
- Pereira, S. F. A. (1993). Conservación y Proyección de los Granos Almacenados. Manual de Manejo poscosecha de granos a nivel rural.

- Pérez C., N. (2004). Manejo ecológico de plagas. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural- CEDAR. La Habana. Cuba, 296.
- Ponce, G. N. (2015). Importancia del Alimento y Conservación de Granos y Semillas. [Tesis licenciatura Universidad Autónoma del Estado de México].
- Ponce, G., Cantú, P.C., Flores, A., Baddi, M., Zapata, R., Lopez, B., Fernández, I. (2006). Modo de Acción de Insecticidas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Revista salud pública y nutrición, 7 (4).
- Pucheta, D. M.; Flores, M. A.; Rodríguez, N. S. y De la Torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. Interciencia, 31(12), 856-860.
- Ramayo, R.J.O. (2016). Almacenamiento en México. Revista N. 271, p 22
- Ramos, R.O.; Campbell, J.F. y Ramaswamy, S.B. (2007). Eficacia del nematodo entomopatógeno *Steinernema riobrave* frente a las plagas de productos almacenados *Tribolium castaneum* y *Plodia interpunctella*. Control Biológico, 40(1), 15-21.
- Rees, D. (2004). Insects of Stored Products. CSIRO. Doi: 10.1071/9780643101128
- Riudavets, J.; Lucas, E, y Pons, M. (2002) . Insects and mites of stored products in the northeast of Spain. IOBC/WPRS Bulletin, 25(3): 41-44.
- Rodríguez, R.R. y Herrera, R.F.J. (2002). Insectos y hongos en los granos almacenados en Yucatán. Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán. N. 227: 44-53
- Rodríguez-Rojas, A. y Peraza-Padilla, W. (2022). Use of *Beauveria bassiana* on the control of Tecla (*Strymon megarus* (Lepidoptera: Lycaenidae)) on pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr). Agronomía Mesoamericana, 33(3).

Salvadores, U. Y.; Silva A.G.; Tapia V.M. y Heep G. R.(2007) Polvos de especias aromáticas para el control del gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, en trigo almacenado. Agricultura Técnica (Chile) 67:147-154.

Sánchez-Pérez, Ll. C., J. E. Barranco-Florido, S. Rodríguez-Navarro, J. F. Cervantes-Mayagoitia, and M. A. Ramos-López. (2014). Enzymes of entomopathogenic fungi, advances and insights. Adv. Enzyme Res. 2: 65-76

Sánchez-Pérez, Ll. C.; Barranco-Florido, J. E.; Rodríguez-Navarro, S.; Cervantes-Mayagoitia, J. F. y Ramos-López, M. A. (2014). Enzymes of entomopathogenic fungi, advances and insights. Adv. Enzyme Res. (2) 65-76

Santamaría, A.; Costa-Comelles, J.; Alonso, J.M.A. y Ferrer, J. (1998). Ensayo del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin para el control de la mosca blanca de los cítricos *Aleurothrixus floccosus* (Maskell) (Homoptera: Aleyrodidae) y su acción sobre el parásito *Cales noacki* (Howard) (Hymenoptera: Aphelinidae). Bol. San. Veg Plagas, 24(6), 695-706.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). México potencia en control biológico de plagas. Disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-potencia-en-control-biologico-de-plagas>

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Guía de Buenas Practicas en Centros de Almacenamiento de Granos

Senbill, H., Hassan, S. M. y Eldesouky, S. E. (2023). Acaricidal and biological activi-ties of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the two-spotted spi-der mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and

their side effects on the predatory mite, *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 26(1): 1020-1027

Shahzad, K., y Manzoor, F. (2019). Nanoformulaciones y su modo de acción en insectos: una revisión de las interacciones biológicas. *Drug and Chemical Toxicology*, 44 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1525393>

Taheri, S. M.; Aramideh, S.; Akbarian, J. y Pirsá, S. (2020). The effect of zinc oxide nanoparticles, kaolin powder and *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin in combination with Neemarin® against *Bemisia tabaci* and pupae of *Eretmocerus mundus* under field conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 43(3): 1-19

Vázquez, M. L. y Álvarez, J. M. (2011). Control ecológico de poblaciones de plagas. Ed. CIDISAV. 134p. La Habana. ISBN: 978-959-7194-44-6

Ware, G.W. (2000). *The pesticide book*. Thomson Publications. Edition.5. ISBN 0913702633, 9780913702635.

Zelaya, M.L.X.; Chávez, D.I. F.; Santos, V.S.; Cruz, C. C. I.; Ruíz, R.S. y Rojas, A.E.(2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13 (SPE27), 69-78.