



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico Superior de Guasave

Tesis

Efecto de bioplaguicida elaborado a base de hongos entomopatógenos en el control de *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de frijol.

Presentada por:

López Moreno Kevin Jahir

Como requisito para la obtención del grado de
Ingeniero en Innovación Agrícola Sustentable

Director(a) de Tesis

Dr. Adalid Graciano Obeso

Codirector(a) de Tesis

Dr. Eusebio Nava Pérez



Guasave, Sinaloa, México; Febrero de 2026.

HOJA DE FIRMAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, que representa el cierre de una etapa fundamental en mi formación profesional, a las personas que han sido pilares esenciales en mi vida académica y personal.

En primer lugar, a mi madre, Adriana Moreno, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza, amor y perseverancia. Gracias por tu apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos en los que yo mismo dudé, y por enseñarme que el esfuerzo y la constancia siempre dan frutos. Tu sacrificio, tus palabras de aliento y tu presencia constante han sido el motor que me impulsó a seguir adelante y a no rendirme ante las dificultades. Este logro también es tuyo.

A mis abuelos, Pa Maty y Ma Chuy, por su cariño, sabiduría y consejos llenos de experiencia. Gracias por transmitirme valores como la responsabilidad, la humildad y el respeto, que han guiado mi camino a lo largo de mi vida, por no soltarme nunca de sus manos y por siempre estar. Su amor y confianza han sido una fuente de motivación permanente, y su ejemplo me ha enseñado la importancia de luchar por los sueños con paciencia y dedicación.

Asimismo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis docentes, quienes con su conocimiento, orientación y compromiso contribuyeron de manera significativa a mi formación académica, gracias por compartir su experiencia, por fomentar el pensamiento crítico y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí. Su dedicación y vocación han dejado una huella invaluable en mi desarrollo profesional y personal.

Finalmente, este trabajo simboliza no solo el cumplimiento de una meta académica, sino también el resultado del apoyo, la confianza y el amor de quienes me acompañaron durante este camino. A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro que marca el inicio de nuevos retos y oportunidades.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Adalid Graciano Obeso por su valiosa orientación, acompañamiento académico y compromiso profesional a lo largo del desarrollo de este trabajo. Su conocimiento, experiencia y disposición para brindar asesoría fueron puntos fundamentales para el fortalecimiento del enfoque metodológico y el rigor académico del presente estudio. Agradezco profundamente el tiempo dedicado a la revisión, las observaciones y las recomendaciones realizadas, las cuales contribuyeron de manera significativa a la mejora continua de mi trabajo en este proyecto y a mi formación académica y profesional. Asimismo, reconozco su apoyo y apertura para el uso adecuado de materiales y referencias académicas, siempre en apego a los principios éticos y normativos de la investigación.

De igual manera, expreso mi agradecimiento al M.C. Cruz Enrique Beltrán Burboa y al Dr. Arturo Rafael Armenta López, por sus valiosas aportaciones técnicas, su disposición para colaborar y su apoyo constante a lo largo de este proyecto, los cuales fueron esenciales para el adecuado desarrollo de las actividades experimentales y la obtención de los resultados presentados en este trabajo. Su compromiso, responsabilidad y trabajo colaborativo contribuyeron de manera significativa al cumplimiento de los objetivos planteados.

Por ello, reitero mi gratitud y reconocimiento a quienes, con su apoyo y profesionalismo, hicieron posible la realización de este estudio.

Y por último y no menos importante, agradezco infinitamente a mi familia, ya que, sin su gran apoyo incondicional, no podría estar culminando esta etapa de mi vida, gracias por su amor y por siempre estar.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
GLOSARIO	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	4
ALCANCES Y LIMITACIONES	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVOS.....	16
GENERAL:	16
ESPECÍFICOS:.....	16
HIPÓTESIS.....	17
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
MARCO TEÓRICO	19
1. GENERALIDADES ACERCA DE PLAGAS EN GRANOS ALMACENADOS	19
2. GENERALIDADES ACERCA DE LOS INSECTOS PLAGA EN GRANOS ALMACENADOS	20
2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS INSECTOS PLAGA EN GRANOS ALMACENADOS ...	20
2.2 MÉTODOS DE CONTROL DE LOS INSECTOS PLAGA EN GRANOS ALMACENADOS	21

2.2.1 MÉTODOS FÍSICOS Y MECÁNICOS (CASINI Y SANTAJULIANA, S/F)	21
2.2.2 MÉTODOS DE CONTROL BIOLÓGICO.....	23
3. GENERALIDADES ACERCA DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (HE).....	24
3.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA Y MORFOLOGÍA DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	26
3.2 CICLO DE VIDA DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	29
3.3 FACTORES QUE INCIDEN EN LAS INFECCIONES FÚNGICAS	30
3.4 MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	31
4. GENERALIDADES ACERCA DEL FRIJOL.....	33
4.1 ORIGEN DEL FRIJOL.....	33
4.2 IMPORTANCIA DEL FRIJOL EN MÉXICO	33
5. PRINCIPALES PLAGAS QUE AFECTAN AL GRANO DEL FRIJOL	35
6. GORGOJO <i>ZABROTES SUBFASCIATUS</i>	36
METODOLOGÍA.....	38
ÁREA DE ESTUDIO	38
MATERIALES BIOLÓGICOS	39
DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS	40
APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS Y ESTABLECIMIENTO DEL BIOENSAYO	40
REPRODUCCIÓN DEL HONGO ENTOMOPATÓGENO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i>	41
VARIABLE EVALUADA: MORTALIDAD.....	42
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
EFICACIA DIFERENCIAL DE CEPAS Y DOSIS DE <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> (METSCH.) CONTRA <i>ZABROTES SUBFASCIATUS</i> (BOHEMAN).....	43
CINÉTICA DE LA MORTALIDAD Y PROGRESIÓN DE LA INFECCIÓN	46
IMPLICACIONES DEL CONTROL SUBLETAL Y EVALUACIÓN INTEGRAL DEL DAÑO	47
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ANEXOS	62
--------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa, México.....	38
Figura 2.-	Ubicación del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	39
Figura 3.-	Mortalidad corregida del gorgojo mexicano del frijol (<i>Zabrotes subfasciatus</i> Boheman) expuesto a dos cepas del hongo entomopatógeno <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metsch.).....	43
Figura 4.-	Curva de mortalidad acumulada diaria del gorgojo mexicano del frijol (<i>Zabrotes subfasciatus</i> Boheman) expuesto a dos cepas del hongo entomopatógeno <i>Metarhizium anisopliae</i> (Metsch.).....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-	Descripción de los tratamientos evaluados contra <i>Zabrotes subfasciatus</i>	40
Cuadro 2.-	Mortalidad corregida (MC %) a los 14 días de <i>Zabrotes subfasciatus</i> en frijol tratado con dos cepas de <i>Metarhizium anisopliae</i>	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.-	Colecta de semillas de frijol y gorgojos (<i>Zabrotes subfasciatus</i>) necesarios para el experimento.....	62
Anexo 2.-	Preparación de medios de cultivo de hongo entomopatógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>	63
Anexo 3.-	Establecimiento de bioensayo en laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	64
Anexo 4.-	Desarrollo de técnicas de laboratorio para reproducción de hongo entomopatógeno.....	65
Anexo 5.-	Preparación de preinóculo para reproducción de hongo entomopatógeno mediante fermentación bifásica.....	66
Anexo 6.-	Evaluación de daño y pérdida de peso en semillas de frijol.....	67
Anexo 7.-	Asesoría por directores de tesis durante el desarrollo del proyecto de investigación.....	68

RESUMEN

El frijol *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae), es una especie de gran importancia económica en la agricultura, producida en Brasil, India, Myanmar, Estados Unidos, China y México. Las principales plagas del frijol durante su almacenamiento son los insectos coleópteros conocidos como gorgojos del frijol, *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus*. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar un bioinsecticida elaborado a base del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* en el control de *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de frijol en Laboratorio de Nutrición Vegetal del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Para lograrlo, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos: T1=Testigo (Agua + Tween 80 al 0.05%), T2=CIIDIR 1×10^8 (Baja), T3=CIIDIR 1×10^9 (Alta), T4=Agrobionsa® 1×10^8 (Baja) y T5=Agrobionsa® 1×10^9 (Alta). Cada tratamiento se repitió cuatro veces ($n=4$), totalizando 20 unidades experimentales. La unidad experimental consistió en un frasco de plástico con ventilación que contenía 100 semillas de frijol de la variedad 'Janasa'. Como variable de respuesta, se registró el número de insectos muertos cada 24 horas durante 12 días. De los resultados, se tiene que la cepa comercial (Agrobionsa®) demostró una patogenicidad significativamente superior a la cepa nativa (CIIDIR), donde la mortalidad máxima registrada para la cepa comercial (77.97% en dosis alta) fue más del doble que la observada para la cepa nativa (33.90% en dosis alta). Con base en lo anterior, se confirma que *Metarhizium anisopliae* ejerce un efecto significativo sobre la mortalidad de *Zabrotes subfasciatus*, siendo la cepa el factor determinante de la eficacia. El ANOVA evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos, explicando casi la totalidad de la variación observada, donde la cepa comercial Agrobionsa® presentó una patogenicidad significativamente mayor.

Palabras claves: cepa, mortalidad corregida, patogenicidad, plaga.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) is a species of great economic importance in agriculture, produced in Brazil, India, Myanmar, the United States, China, and Mexico. The main pests of common beans during storage are the coleopteran insects known as bean weevils, *Zabrotes subfasciatus* and *Acanthoscelides obtectus*. Based on this, the objective of this research was to evaluate a bioinsecticide made from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* for the control of *Zabrotes subfasciatus* in stored common beans at the Plant Nutrition Laboratory of the Instituto Tecnológico Superior de Guasave. To achieve this, a Completely Randomized Design (CRD) with five treatments was used: T1=Control (Water + Tween 80 at 0.05%), T2=CIIDIR 1×10^8 (Low), T3=CIIDIR 1×10^9 (High), T4=Agrobionsa® 1×10^8 (Low), and T5=Agrobionsa® 1×10^9 (High). Each treatment was repeated four times (n=4), totaling 20 experimental units. The experimental unit consisted of a vented plastic jar containing 100 'Janasa' bean seeds. The number of dead insects was recorded every 24 hours for 12 days as the response variable. The results show that the commercial strain (Agrobionsa®) demonstrated significantly higher pathogenicity than the native strain (CIIDIR), with the maximum mortality recorded for the commercial strain (77.97% at high dose) being more than double that observed for the native strain (33.90% at high dose). Based on this, it is confirmed that *Metarhizium anisopliae* exerts a significant effect on the mortality of *Zabrotes subfasciatus*, with the strain being the determining factor in efficacy. The ANOVA revealed highly significant differences between treatments, explaining almost all of the observed variation, with the commercial strain Agrobionsa® exhibiting significantly greater pathogenicity.

Keywords: strain, corrected mortality, pathogenicity, pest.

GLOSARIO

Bioinsecticida: Producto biológico elaborado a partir de organismos vivos o sus derivados (como hongos, bacterias o extractos vegetales) que controla insectos plaga de forma natural y menos contaminante.

Hongos entomopatógenos: Microorganismos que parasitan y causan enfermedades en insectos, actuando como agentes naturales de control biológico.

***Zabrotes subfasciatus*:** El gorgojo mexicano del frijol, es una especie de escarabajo de las hojas de la familia Chrysomelidae. Se encuentra en África, América del Norte, América del Sur, el sur de Asia y Europa.

Control biológico: Método de manejo de plagas que utiliza organismos vivos (depredadores, parásitos, patógenos) para reducir las poblaciones de insectos dañinos.

Plaguicida químico: Sustancia sintética usada para eliminar plagas, aunque su uso excesivo puede causar resistencia en insectos y contaminación ambiental.

Postcosecha: Etapa posterior a la recolección de los cultivos, que incluye el manejo, almacenamiento y conservación de los granos o productos agrícolas.

Almacenamiento de granos: Proceso de resguardo de los granos en condiciones adecuadas para evitar pérdidas por humedad, hongos, roedores o insectos.

***Beauveria bassiana*:** Especie de hongo entomopatógeno ampliamente utilizada como bioinsecticida en el control de diversas plagas agrícolas.

***Metarhizium anisopliae*:** Hongo entomopatógeno con alta eficacia en el control de insectos del suelo y plagas de productos almacenados.

***Paecilomyces fumosoroseus*:** Hongo entomopatógeno empleado en biocontrol, conocido por su capacidad de infectar múltiples especies de insectos.

Manejo integrado de plagas (MIP): Estrategia que combina métodos biológicos, culturales, físicos y químicos para mantener las poblaciones de plagas por debajo del nivel económico de daño.

Biodegradabilidad: Capacidad de una sustancia de descomponerse naturalmente sin causar daño al medio ambiente.

Resistencia: Capacidad adquirida de las plagas para tolerar dosis de plaguicidas que antes eran letales, resultado del uso repetido o indiscriminado.

Viabilidad: En el contexto de hongos, se refiere a la capacidad de las esporas para germinar y desarrollarse correctamente bajo condiciones adecuadas.

Esporulación: Proceso mediante el cual los hongos producen esporas, estructuras que les permiten reproducirse y dispersarse.

Concentración (ppm): Medida que indica la cantidad de una sustancia (como un bioinsecticida) disuelta en una cantidad determinada de solución; se expresa en partes por millón.

Bioensayo: Experimento biológico que evalúa el efecto de una sustancia (como un bioplaguicida) sobre organismos vivos, en este caso insectos plaga.

Mortalidad: Indicador del número o porcentaje de individuos muertos en una población de prueba después de aplicar un tratamiento.

Análisis de varianza (ANOVA): Herramienta estadística utilizada para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos experimentales.

Sustentabilidad: Principio que busca equilibrar el desarrollo económico, el bienestar social y la protección ambiental en las actividades humanas, como la agricultura.

INTRODUCCIÓN

El frijol *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae), es una especie de gran importancia económica en la agricultura, producida en Brasil, India, Myanmar, Estados Unidos, China y México (FIRA, 2019). Tiene un gran valor nutricional ya que contiene altos niveles de proteínas y aminoácidos esenciales, así como propiedades antioxidantes, antes y después del procedimiento de cocción (Landi et al., 2017). Su consumo y producción han aumentado en los últimos años. En México, ocupa la cuarta posición en importancia por su superficie de cultivo, después del maíz, pastos y sorgo (Banco de México, 2016). Asimismo, es el segundo cultivo más importante para consumo humano (Raygoza-Martínez, Rodríguez-Herrera, et al., 2025), siendo un grano básico en importancia en la producción y dieta mexicana. Su importancia radica en el contenido de proteína, fibra y ácido fólico. En el ciclo otoño-invierno 2022/2023, se cosecharon 203 mil 375 hectáreas con una producción de grano de 244 mil 664 toneladas, Sinaloa generó 92,535 toneladas, 37.8%; Nayarit 69,246 t, 28.3%; Chiapas 27,125, 11.1% (SIAP, 2023). A nivel nacional, es el tercer cultivo de mayor importancia por la superficie de siembra (7.9%). Se cosecharon 1.6 millones de hectáreas en 2021, el 87.2% fue siembra de temporal y el 12.8% de riego, se obtuvieron 1.176 millones de toneladas. Las variedades de frijol negro, pinto y azufrado/peruano son las de mayor participación en la producción del país. El rendimiento promedio en riego se ubicó en 1.76 toneladas por hectárea y en temporal en 590 kg por hectárea (FAO, 2022).

A nivel mundial, México ocupa el octavo lugar respecto a su producción y superficie sembrada; en este sentido, en 2020 se establecieron 1,676,355 hectáreas, de las cuales 88.4 % fueron de temporal y 11.6 % de riego, con un rendimiento promedio de 0.566 y 1.7 t ha⁻¹, respectivamente, y con una producción total de 1,086,733 toneladas. Los principales estados productores de frijol son Zacatecas, Sinaloa, Nayarit y Chiapas, aportando el 68.54 % de la producción nacional. En Sinaloa, en el ciclo 2020-2021 se establecieron 83,661 ha bajo riego (98.23 %) y se obtuvieron 140,828 ton (FAOSTAT, 2021; SIAP, 2021).

Por otra parte, el valor alimenticio de los granos y el valor económico de las semillas requiere cuidados especiales en el almacén que permitan garantizar la conservación de la calidad que deberá mantenerse durante el tiempo de almacenamiento y hasta el momento en que serán utilizados (Lorenzo, 2023). El almacenamiento es una de las etapas de producción más expuesta a las plagas, debido a esto los rendimientos anuales de la producción de frijol pueden sufrir pérdidas del 40%, si no se tratan los depósitos infectados (Savković et al., 2019).

Las principales plagas del frijol durante su almacenamiento son los insectos coleópteros conocidos como gorgojos del frijol, *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae) (Rodríguez, 2018). La especie *Z. subfasciatus*, infesta granos sanos, los cubren de huevos y las larvas hacen perforaciones al alimentarse, lo cual causa la disminución del peso del grano y la cantidad de nutrientes (Cárdenas et al., 2019). Debido a esto es una de las plagas más graves del frijol almacenado, ocasionando pérdidas de entre un 30 a 40% de la semilla (Duan et al., 2017), reduciendo su calidad y tasa de germinación (Wille et al., 2019). Existen varias alternativas técnicas y de manejo que se han implementado para reducir las pérdidas poscosecha, principalmente durante el almacenamiento del grano de frijol (López-Monzón et al., 2016).

La práctica más frecuente para el control de gorgojo es mediante el uso de insecticidas sintéticos, como son los organofosforados y piretroides, al igual que fumigantes con fosfina (Baldin et al., 2017). Algunos de sus efectos adversos son la rápida evolución de la resistencia a los insecticidas, la contaminación de los ecosistemas y el efecto en la salud humana (Lazarević et al., 2018). Por lo que es de vital importancia buscar alternativas menos perjudiciales como el uso de agentes de control biológico y trampas con feromonas (Soares et al., 2015). Estudios recientes que se han enfocado a controlar la plaga del gorgojo con el uso de herramientas con menor impacto ambiental y en la salud, incluyen el uso de polvos inertes (Lazarević et al., 2018), tierra de diatomeas (Wille et al., 2019), compuestos

orgánicos volátiles (Rodríguez-González et al., 2018) y el uso de ingeniería genética (Baldin et al., 2017; Jiménez et al., 2017).

Cabe señalar que los insectos plaga de los granos almacenados causan pérdidas entre 10 y 20%, lo que hace necesaria la búsqueda de alternativas de control efectivas, amigables con el medio ambiente y que no representen riesgos para la salud de las personas (Silva-Aguayo et al., 2021). El ataque de estos, provoca la pérdida de la calidad del grano, tanto para consumo humano como para garantizar semillas.

En este contexto, el uso de agentes de control biológico, como los hongos entomopatógenos, ha cobrado gran interés en la agricultura moderna. Estos microorganismos son capaces de infectar y matar insectos plaga de manera natural, sin causar daños colaterales al ecosistema. Diversas investigaciones han demostrado su eficacia en el control de insectos que afectan cultivos y productos almacenados, consolidándolos como una opción viable para el desarrollo de bioinsecticidas ecológicos.

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la efectividad de un bioinsecticida elaborado a base de hongos entomopatógenos en el control del gorgojo del frijol en granos almacenados. La investigación busca determinar la concentración letal adecuada de los hongos utilizados y comprobar su capacidad para reducir la población de *Zabrotes subfasciatus* en condiciones de almacenamiento. Con esta evaluación se pretende ofrecer una alternativa ecológica, segura y eficiente para el manejo postcosecha del maíz, contribuyendo así a la conservación de su calidad y a la sostenibilidad de la producción agrícola.

ANTECEDENTES

Bioinsecticidas para el control de *Zabrotes subfasciatus* Boheman y la calidad de semilla en frijol.

El frijol es el segundo cultivo más importante en México para consumo humano. Durante su almacenamiento se han registrado pérdidas arriba del 35% debido al ataque de gorgojos para los que el control químico representa el método más común. Se han realizado grandes esfuerzos en la búsqueda de métodos de control natural. El objetivo de este trabajo fue evaluar en tres variedades de frijol (Negro, Peruano y Flor de Mayo) el efecto del uso de polvos vegetales (*Eucalyptus globulus* y *Tagetes erecta*) con dos métodos de secado (natural y liofilizado) en la mortalidad del gorgojo pinto del frijol (*Zabrotes subfasciatus*) así como el efecto en la calidad de semilla. Se evaluó la mortalidad a las 24, 48, 72 y 96 h. Diferencias estadísticas se mostraron entre variedades y polvos vegetales, no así para dosis y métodos de secado. La más alta mortalidad acumulada fue la observada con el eucalipto con 71.41%, mientras, que el cempasúchitl alcanzó 52.93%. La semilla tratada con polvos alcanzó el 87% de germinación, mientras que el testigo fue de 88% (Raygoza-Martínez, Rodríguez-Herrera, et al., 2025)

Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas.

Los hongos entomopatógenos son un amplio grupo de micro-organismos que proveen múltiples servicios a los sistemas agroecológicos. Entre esos está la capacidad de regular las plagas para mantenerlas en niveles adecuados. El presente artículo describe los hongos entomopatógenos de mayor utilización para el control biológico de plagas, el mecanismo de acción de los mismos sobre su hospedero, así como investigaciones realizadas sobre el comportamiento in vitro e in situ de los hongos de mayor utilización para el control de ciertos insectos. De igual manera, se describe las formulaciones que se utilizan para el desarrollo de esta

biotecnología en campo. En el desarrollo de bioplaguicidas los hongos entomopatógenos son una opción viable para disminuir el detrimento del medio ambiente (Delgado & Murcia-Ordoñez, 2011).

Manejo del gorgojo de frijol almacenado, con extractos de plantas asociadas al cultivo.

Se analizaron extractos etanólicos y en infusión de las plantas *Cyclospermum leptophyllum*, *Tithonia tubaeformis*, *Reseda luteola*, *Salvia microphylla* y *Solanum rostratum* contra el gorgojo del frijol almacenado *Acanthoscelides obtectus*. Con pruebas de olfatometría se seleccionaron los mejores extractos vegetales y un mediante un bioensayo con frascos con frijol, a los que se les aplicaron extractos de las plantas, se determinaron los mejores extractos para el manejo de la plaga. Los resultados del olfatómetro mostraron que la mayor respuesta repelente fue de los extractos de *C. leptophyllum* etanólico (89%), *S. rostratum* y *S. microphylla* en infusión (83%). Los extractos que mostraron mejor respuesta en la mortalidad fueron los extractos etanólicos de *C. leptophyllum* (100%), *S. microphylla* y *S. rostratum* (93.25%), al igual que los extractos en infusión de *C. leptophyllum* y *T. tubaeformis* (93.25%). Todas las plantas arvenses probadas mostraron actividad de repelencia y mortalidad, por lo que se propone su uso para el manejo de la plaga de *A. obtectus* en frijol almacenado, siendo una alternativa con menor impacto ambiental (Perales-Aguilar et al., 2020).

Control de *Zabrotes subfasciatus* con elicitores y su efecto en la calidad de semilla de frijol

La germinación y vigor de la semilla deben ser altos para garantizar un óptimo establecimiento. Los elicitores promueven mecanismos de defensa en las plantas. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto de elicitores en la semilla de frijol y la mortalidad de *Z. subfasciatus*. Se utilizaron tres variedades de frijol, Negro Veracruz, Flor de Mayo y Peruano. Las dosis fueron a 0.5% y 1% de carbonato de

calcio, 1 μ M y 10 μ M de quitosan; 1 mM y 10 mM de ácido salicílico. Se realizaron pruebas de germinación, velocidad de emergencia e índice de vigor II y mortalidad. Los resultados indican, que la Mortalidad de *Z. subfasciatus* en frijol Negro alcanzó 53.79%. Los mejores elicitores para controlar el gorgojo fueron quitosan y carbonato de calcio con 60.18% y 58.87%. Ningún tratamiento afectó la calidad fisiológica de la semilla, germinación y vigor (Raygoza-Martínez, Guevara-Acevedo, et al., 2025).

Determinación del efecto del aceite esencial de *Larrea tridentata* sobre el gorgojo *Acanthoscelides obtectus* (Say) en frijol almacenado.

El frijol es uno de los principales cultivos en el norte de Sonora. Las mayores pérdidas ocurren durante su almacenamiento y éstas son ocasionadas por enfermedades y plagas, siendo uno de los factores que interfieren en su calidad. Entre estas plagas, se encuentra el gorgojo *Acanthoscelides obtectus* Say, causando altas pérdidas económicas. Para su control se utilizan insecticidas sintéticos, principalmente organofosforados y piretroides. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del aceite esencial de *Larrea tridentata* (AEG) en el gorgojo *Acanthoscelides obtectus*. En relación al porcentaje de mortalidad se observó que existió diferencias significativas una mortalidad arriba del 80% con la concentración de 10 μ l/AEG. A las 48 horas la concentración de 10 μ l/AEG presentó un 93,33% de mortalidad. Mientras que a las 72 horas se obtuvo una mortalidad del 96,66% y el control fue de 33,33%. Se presentó inhibición al 100% en la ovoposición con las concentraciones de 2, 5 y 10 μ l/AEG. La emergencia se presentó en la concentración de 0,5 μ l/AEG mostro 13 nuevos ejemplares y 0 μ l/AEG presentó 147 nuevos bruquidos. No se presentó grano dañado en las concentraciones de 2, 5 y 10 μ l/AEG, pero si en frijol tratado con 0,5 y 0 μ l/AEG, las cuales oscilaron del 9,33 al 62%. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación podemos mencionar que *Larrea tridentata* presenta efecto en la inhibición del crecimiento, supresión del comportamiento reproductivo o la reducción de la fecundidad y mortalidad en *A. obtectus* (Millanes Moreno et al., 2024a)

Efecto de polvos vegetales en el gorgojo mexicano (*Zabrotes subfasciatus* Boheman) y su daño a granos almacenados de frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.)

Los polvos vegetales son una alternativa ecológica para el manejo de plagas de granos almacenados en agricultura a pequeña escala. Objetivo. Evaluar la actividad de polvos vegetales de hojas de albahaca (*Ocimum basilicum*), hierbabuena (*Mentha spicata*), epazote (*Chenopodium ambrosioides*) y ruda (*Ruta graveolens*) en la mortalidad, repelencia e infestación de *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de *Phaseolus lunatus*. Metodología. Los polvos vegetales se aplicaron a concentración de 1% en peso a granos almacenados en contenedores de plástico, y posteriormente los granos se infestaron con adultos de *Z. subfasciatus*. Resultados. El polvo de *C. ambrosioides* causó 96% y 100% de mortalidad en adultos de *Z. subfasciatus* 2 y 4 días después de la exposición, respectivamente. El polvo de *C. ambrosioides* disminuyó la oviposición y producción de progenie de *Z. subfasciatus*. El polvo de *C. ambrosioides* previno completamente el daño a los granos. Los polvos vegetales de las otras especies tuvieron efectos repelentes mínimos. Implicación. Los polvos vegetales representan una opción viable para el manejo de plagas de granos almacenados. Conclusión. El polvo de *C. ambrosioides* previene los daños por *Z. subfasciatus* en granos almacenados de *P. Lunatus* (Bautista-Sosa et al., 2021).

Evaluación de la resistencia de genotipos de frijol al virus del mosaico dorado amarillo y al gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleóptera: Chrysomelidae)

La adopción de variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se basa en altos rendimientos, calidad comercial del grano y resistencia a factores limitantes (bióticos y abióticos). El gorgojo de almacén *Zabrotes subfasciatus* y el virus del mosaico dorado amarillo del frijol (VMDAF) son factores bióticos que afectan directamente la calidad del grano y el rendimiento. El objetivo del estudio fue evaluar

la resistencia al gorgojo *Z. subfasciatus* y al VMDAF en 21 líneas de frijol de la Universidad de Puerto Rico y tres variedades testigos (Amadeus 77, Surú y Seda). La resistencia a *Z. subfasciatus* debido a la presencia del locus APA (arcelina-fitoheماغلوتینina-inhibidor de α -amilasa) en las líneas PR, se evaluó utilizando frascos de vidrio conteniendo 10 semillas y 5 parejas del gorgojo, en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones. La resistencia al VMDAF se evaluó en condiciones de campo utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y la presencia del marcador molecular SR2 del gen bgm-1 en el laboratorio. Las líneas PR 1729-44 y PR 1729-45 fueron altamente resistentes al gorgojo presentando menor índice de susceptibilidad, porcentaje de emergencia de adultos y daños a las semillas, y mayor tiempo promedio de desarrollo del insecto. Ambas líneas resultaron ser resistentes al VMDAF y presentaron buen rendimiento en el campo, y presentaron el marcador SR2 del gen bgm-1. Estas líneas serán evaluadas en condiciones de producción y almacenamiento en fincas de agricultores (Suazo, 2019).

Resistencia de genotipos de frijol común a los daños causados por el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en el almacenamiento.

Se evaluó la resistencia de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al ataque del Gorgojo Mexicano, *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) durante el almacenamiento. El estudio se realizó en la Universidad Zamorano, Honduras. Se usó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. En el 2014 un grupo de ocho variedades mejoradas y criollas (Amadeus 77, DEOHRO, Cardenal, PM2-Don Rey, Cincuentaño y Paraisito) fueron evaluadas para conocer el nivel de daños del frijol almacenado causado por el gorgojo mexicano. En el 2015, 12 variedades ICTA Ligero, Surú, Tío Canela-75, PM2-Don Rey, Verano, Amadeus-77, PR 1429-3 y PR 1429-4. Se determinó el total de huevos y promedio por hembra, número y peso de adultos emergidos, pérdida de peso de la semilla, número de perforaciones por semilla y porcentaje de germinación, el ciclo de vida del insecto, índice de susceptibilidad, proporción de hembras y período de desarrollo. En el 2014, aunque

se presentaron diferencias entre las variedades, sin embargo, los altos valores registrados en la mayoría de variables indicaron susceptibilidad de todas. En el 2015, el genotipo más susceptible fue Azabache 40, con 100% de daño en las semillas y el más resistente PR 1429-4 con 15% de daño. La primera emergencia ocurrió 26 DDI en PM2-Don Rey, y la última a 57 DDI en Surú. PR 1429-3, PR 1429-4 y Surú fueron los genotipos más resistentes. Se recomienda validar los genotipos a nivel de finca para confirmar su potencial de resistencia (Espinal et al., 2021).

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- El proyecto tiene el potencial de generar información valiosa sobre desarrollo de un bioinsecticida para el control de plagas de granos almacenados del cultivo de frijol. Esto podría contribuir al conocimiento científico en el campo de la agronomía, al generar nuevos productos biotecnológicos.
- Los resultados proporcionarán recomendaciones prácticas para optimizar el uso de plaguicidas en el control de plagas en el cultivo de frijol en la región de Guasave, Sinaloa. Lo cual mejorará la calidad de la semilla de frijol almacenada en silos, casas y bodegas de la región.
- Los agricultores y productores locales se pueden beneficiar de los resultados del estudio, ya que al adaptar sus prácticas de cuidado a postcosecha puede aumentar el valor comercial de sus productos.

Limitaciones.

- La variabilidad climática en Guasave, Sinaloa, podría influir en los resultados del estudio.
- Factores externos como enfermedades y plagas podrían afectar los resultados del estudio.
- Los resultados obtenidos en Guasave, Sinaloa, podrían no ser directamente extrapolables a otras regiones debido a las diferencias en el clima, el suelo y las prácticas agrícolas.
- La duración del proyecto podría ser limitada por restricciones financieras.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El frijol es uno de los principales cultivos en Sinaloa. Las mayores pérdidas ocurren durante su almacenamiento y éstas son ocasionadas por enfermedades y plagas, siendo uno de los factores que interfieren en su calidad (Millanes Moreno et al., 2024b). Los daños y perjuicios provocados por los insectos de granos almacenados pueden ser similares a los causados en los cultivos. Se estima que de 5 a 30 % de la producción mundial se pierde a causa de los insectos, lo que equivale a la cantidad de granos necesaria para alimentar a 130 millones de personas anualmente (Vázquez-Badillo, 2016). En México se reportaron pérdidas de postcosecha de 20 al 30% por almacenamiento inadecuado, los daños son causados por aves, roedores, insectos y hongos, mostrándose para el frijol común hasta un 23%. El frijol es el segundo cultivo más importante en México para consumo humano. Durante su almacenamiento se han registrado pérdidas arriba del 35% debido al ataque de gorgojos para los que el control químico representa el método más común (Raygoza-Martínez, Rodríguez-Herrera, et al., 2025).

La conservación y protección de este grano durante el almacenamiento constituye una necesidad alimenticia, social y económica. Hace más de dos décadas se estimaba que el 5-10% de la producción mundial de granos alimenticios se perdía a causa de insectos de almacén, lo que en ese entonces podría ayudar a alimentar a 130 millones de personas anualmente (FAO, 1999). Para América Central y México se han estimado pérdidas poscosecha que alcanzan hasta 35% de frijol almacenado (Nava-Pérez et al., 2010).

La especie que causa mayor daño al frijol almacenado es el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman), orden Coleóptera, familia Chrysomelidae, subfamilia Bruchinae (De Franca, 2012). El deterioro del grano de frijol como consecuencia del ataque de estos insectos sucede cuando las larvas se alimentan de las semillas, causando daños a los cotiledones. Los granos son cubiertos de huevos y presentaron perforaciones que corresponden a las cámaras de

alimentación de los insectos, lo que causa una significativa pérdida de peso. Para contrarrestar el daño por *Z. subfasciatus* en granos almacenados se han usado insecticidas químicos, sin embargo, la residualidad de éstos representan un riesgo para la salud humana (Bernardes et al., 2018).

El control químico es el método más utilizado para proteger los granos almacenados del ataque de este insecto. Sin embargo, debido a la composición química y toxicidad de los productos utilizados, presenta desventajas como contaminación de los granos por residuos, resistencia de los insectos, riesgos graves al medio ambiente, daños a la salud, alto costo de los productos, necesidad de equipos de aplicación y mano de obra entrenada (Finkler 2011; Campanini et al. 2012). El uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos es la causa directa de la resistencia de diferentes organismos, y por consiguiente de la pérdida de su efectividad. Ante esto, es común aumentar las dosis y preparar mezclas de varios productos, con frecuencia más tóxicos, por lo que el problema de la resistencia lejos de solucionarse, se agrava. El control químico también produce otros efectos como: brotes de plagas secundarias, resurgencia de plagas y disminución de las poblaciones de enemigos naturales. Esto ha originado la búsqueda y adopción de nuevas alternativas de control que permitan reducir el uso indiscriminado de agrotóxicos, que sean efectivos y a la vez no presente efectos perjudiciales (Pessoa et al. 2014). A partir de esa situación, se hace necesario desarrollar métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente, uno de los cuales es el control biológico (Pacheco Hernández et al., 2019).

Para lograr lo anterior y minimizar efectos adversos en el ambiente y la salud humana, en la última década se ha incrementado el estudio del empleo de productos naturales que sustituyan a los plaguicidas (Rodríguez et al., 2006; Rojas-Pirela et al., 2024). En este contexto, surge la necesidad de evaluar métodos de control biológico, como el uso de hongos entomopatógenos, que ofrecen una opción natural para combatir esta plaga sin los efectos negativos de los insecticidas tradicionales.

JUSTIFICACIÓN

La conservación de los granos almacenados es motivo de preocupación del hombre, por su significado en la dieta humana y por la necesidad de resguardarlo contra el peligro que significa su aprovechamiento potencial por sus competidores. Este aspecto adquiere una especial dimensión, en la medida que la población humana se incrementa, por lo que todos los países prestan atención especial a su soberanía alimentaria. Para garantizar el abasto de alimentos no basta con producir enormes volúmenes de granos y frutas, también se requiere de sistemas eficientes de conservación de los productos cosechados, en óptimas condiciones físico-químicas y de sanidad (Christensen y Kaufmann, 1969).

Los daños y perjuicios provocados por los insectos de granos almacenados pueden ser similares a los causados en los cultivos. Se estima que de 5 a 30 % de la producción mundial se pierde a causa de los insectos, lo que equivale a la cantidad de granos necesaria para alimentar a 130 millones de personas anualmente. En México se reportaron pérdidas de postcosecha de 20 al 30% por almacenamiento inadecuado, los daños son causados por aves, roedores, insectos y hongos, mostrándose para el frijol común hasta un 23% (Vázquez-Badillo, 2016).

El uso de una semilla de calidad es fundamental para establecer las bases de una cosecha exitosa y reducir riesgos productivos (Ávila-Marioni et al., 2011). Adicionalmente, el valor alimenticio de los granos y el valor económico de las semillas requiere cuidados especiales en el almacén que permitan garantizar la conservación de la calidad que deberá mantenerse durante el tiempo de almacenamiento y hasta el momento en que serán utilizados (Lorenzo, 2023). La importancia de conservar los granos almacenados requiere cuidados, pues debido al crecimiento de la población se busca asegurar el abastecimiento de alimentos con excelente calidad, que no sufran daños por la acción de plagas, enfermedades o del medio ambiente, evitando pérdidas en su peso o reducción en su calidad (FAO 2010). Un buen sistema de almacenamiento permite disminuir las mermas

ocasionadas por plagas y enfermedades, reduciendo así los costos económicos, ambientales y sociales que estos generan (Ortiz et al. 2012).

La finalidad del almacenamiento del grano es conservar las condiciones adecuadas, con el propósito de preservar la calidad hasta a su consumo (Santos y Chavaglia 2017). Uno de los grandes problemas que tienen los productores durante el almacenamiento de granos, es su elevada pérdida económica ocasionada por la acción de insectos plaga, ya que estos interfieren en la calidad y afectan la producción alimentaria (Lima y Cardoso 2013; Antunes y Dionello 2017). En este sentido, el control biológico es uno de los métodos de manejo de plagas compatibles con el ambiente, ofrece beneficios a la economía de los agricultores, protección al ambiente y a la salud de los consumidores (Pacheco Hernández et al., 2019).

En la actualidad, se hace urgente la búsqueda de alternativas sostenibles y menos agresivas con el entorno. Por ello, la presente investigación se enfoca en el estudio de los hongos entomopatógenos como una opción ecológica viable para el control de plagas en granos almacenado. Estos hongos, al ser agentes naturales capaces de infectar y matar insectos, representan una herramienta prometedora dentro del manejo integrado de plagas. Su uso ha sido cada vez más valorado en el ámbito agrícola por su capacidad para controlar insectos dañinos sin los efectos secundarios de los productos químicos tradicionales (Chiribiga et al., 2021). Los hongos entomopatógenos son un amplio grupo de micro-organismos que proveen múltiples servicios a los sistemas agroecológicos. Entre esos está la capacidad de regular las plagas para mantenerlas en niveles adecuados (Delgado & Murcia-Ordoñez, 2011).

Los hongos entomopatógenos son organismos de importante valor ecológico al desempeñar funciones de regulación sobre insectos, quienes debido al mal manejo de pesticidas realizado por el humano para su control se han convertido en plagas incontrolables y resistentes, convirtiendo a los hongos entomopatógenos en una opción viable para la elaboración de bioplaguicidas que permitan el control de los

mismos sin contaminación y deterioro del medio ambiente; no obstante, se debe tener en cuenta que el impacto en el ambiente puede ser negativo al controlar especies de insectos benéficas como es el caso de las abejas (*Apis mellifera*), polinizadoras por excelencia en el ecosistema. El desarrollo de productos a base de hongos entomopatógenos debe involucrar investigación para determinar el nivel de interacción del hongo con su hospedero y con el medio ambiente, la concentración del producto y el método de formulación adecuado que permita llevar estos microorganismos a condiciones de campo para que desempeñen una función de buena capacidad reguladora de las plagas dentro del agroecosistema.

OBJETIVOS

General:

Evaluar un bioinsecticida elaborado a base de hongo entomopatógeno *Metarhizium anosopliae* en el control de *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de frijol en Laboratorio de Nutrición Vegetal del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.

Específicos:

1. Identificar y caracterizar el crecimiento in vitro del hongo entomopatógeno utilizado en la formulación del bioinsecticida, evaluando su viabilidad y capacidad de esporulación en condiciones controladas de laboratorio.
2. Determinar la concentración óptima del bioinsecticida a base de hongos entomopatógenos para lograr la mortalidad efectiva de *Zabrotes subfasciatus* en granos de frijol almacenados.
3. Evaluar el efecto del bioinsecticida sobre el comportamiento biológico de *Zabrotes subfasciatus*, considerando parámetros como tasa de mortalidad, oviposición y daño causado al grano.

HIPÓTESIS

El hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* aplicado a distintas dosis tienen un efecto insecticida en más del 50% sobre el gorgojo *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), por lo tanto, son una alternativa de control viable.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto de la aplicación de hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* a distintas dosis sobre el control del gorgojo *Zabrotes subfasciatus* en granos almacenados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)?

MARCO TEÓRICO

1. Generalidades acerca de plagas en granos almacenados

Con el fin de prevenir y controlar las infestaciones de las plagas de almacén, la FAO (2018) recomienda buenas prácticas de almacenamiento, como el uso de insecticidas antes de almacenar, el aseguramiento de depósitos adecuados, la selección de granos limpios, la restricción de aves y roedores, el mantenimiento de temperaturas bajas y la inspección frecuente de los granos. Una vez detectada una infestación, se aplican estrategias de control que incluyen fumigaciones para eliminar completamente los insectos en todas sus fases biológicas, complementadas con aplicaciones frecuentes de insecticidas líquidos o en polvo. Asimismo, se emplean alternativas de manejo que abarcan prácticas culturales, físicas, químicas y biológicas, como la manipulación del entorno del cultivo o del almacenamiento para reducir la incidencia de insectos mediante el uso de variedades criollas, cosechas en fechas precisas, secado adecuado del grano, aplicación de cal y almacenamiento en espacios fríos y secos, según lo ha señalado Morales et al. (2020).

El control físico contempla técnicas como la reducción de humedad y temperatura, almacenamiento hermético, uso de polvos abrasivos y radiación. La FAO (1993) destaca la importancia de mantener condiciones ambientales adversas para los insectos, ya que, esto limita su supervivencia y reproducción. Asimismo, la aplicación de polvos como la tierra de diatomeas y el almacenamiento hermético han demostrado alta efectividad en el manejo de plagas (Marrero-Artabe et al., 2020).

Aunque el control químico sigue siendo una herramienta eficaz, debe considerarse complementario a otras estrategias, debido a los efectos indeseables, tales como toxicidad, residualidad y generación de resistencia en las poblaciones de insectos. La FAO (1993) advierte sobre el uso controlado y cuidadoso de insecticidas y fumigantes, priorizando su aplicación bajo condiciones seguras y supervisadas.

2. Generalidades acerca de los insectos plaga en granos almacenados

El almacenamiento de la postcosecha consiste en acopiar los granos, en condiciones de temperatura y humedad determinadas. Se realiza para evitar pérdidas de la producción, preservando los granos por períodos más o menos prolongados sin que se deteriore la calidad y la inocuidad con que han sido cosechados (Nayak y Daglish, 2018). Los productores pueden almacenar los granos para la siembra futura, alimentación de animales o para la venta en una fecha posterior. En cambio, los acopiadores, manipulan la mercadería, garantizando la disponibilidad continua, periódica y de consumo permanente e ininterrumpido (Abadia y Bartosik, 2013).

El grano de cereal o cariósido consta de tres partes: el pericarpio que comprende de 7 a 10%; el endospermo que abarca el 80 a 85%; y el germen/embrión que ocupa el 3 a 8%. A su vez, estas partes están normalmente protegidas con una cáscara, cuya proporción varía según la especie. Los insectos tienen el hábito de alimentarse del embrión, destruyendo el poder germinativo, como así también del endospermo, lo que provoca la reducción total o parcial del vigor. Esto ocasiona una disminución del peso del grano, y del contenido de proteína, lo que repercute directamente en la calidad general del producto. Los granos dañados por insectos se caracterizan por presentar agujeros de forma irregular (~1 mm de diámetro) y de profundidad creciente (Breese, 1960).

2.1 Importancia económica de los insectos plaga en granos almacenados

Desde la cosecha hasta el momento del procesamiento o uso final, todas las operaciones a las cuales se someten los granos corresponden a la “postcosecha”. En esta etapa, los productores y acopiadores, almacenan la producción en lugares estratégicamente seleccionados y en condiciones adecuadas de conservación, a fin de mantener en el tiempo la calidad y las propiedades intrínsecas de los granos y las semillas. Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para

la Agricultura y la Alimentación (FAO), las pérdidas en la producción agrícola mundial causadas por diferentes plagas fluctúan entre 20% y 40%, y al menos el 10% de las cosechas son destruidas por roedores e insectos en sus lugares de almacenamiento. Su magnitud varía según la región, el año, el cultivo y el tipo de plaga como factor causal. En los países desarrollados, las pérdidas por insectos varían de 5 a 10%, mientras que en países emergentes pueden alcanzar el 30% (Vilchez y Miller, 2006).

Se estima que entre el 5 y 10% de la producción total se pierde por causa de los insectos (Casini, 2006; Casini y Santajuliana, s/f), lo cual equivale a la cantidad de granos necesaria para alimentar a 130 millones de personas anualmente (FAO, 1983), representando unos 22.000 millones de dólares que dejan de ingresar en el sistema económico (Bartosik, 2013). El sector de postcosecha se ve condicionado por una fuerte presión de los consumidores por alimentos inocuos y producidos en forma sustentable (Bartosik, 2013). Es importante mantener la integridad del grano que llega al depósito, ya que aquellos que ingresan con impurezas, tierra y con daños físicos son los más susceptibles de ser invadidos por plagas en general. Controlar a las plagas es imprescindible no sólo por los daños directos que causan en los granos, sino también porque los estándares de comercialización argentinos prohíben la venta de mercaderías con insectos vivos. A raíz del ataque de insectos, se reduce la calidad, peso, valor comercial y el poder germinativo de las semillas (Stefanazzi et al., 2006). Para la entrega de mercadería libre de insectos existen tres herramientas fundamentales: prevención, monitoreo y control (Bartosik, 2012).

2.2 Métodos de control de los insectos plaga en granos almacenados

2.2.1 Métodos físicos y mecánicos (Casini y Santajuliana, s/f)

- Calor. Aire caliente a alta velocidad (60°C - 3'). La alta velocidad que posee la masa de aire caliente hace que el grano quede suspendido, y de esta forma, se elimine a los insectos plaga.

- Frío. Se insufla el aire frío a través de la masa de granos almacenada (14 y 17°C). El frío es conducido por el sistema de aireación sin utilizar el ventilador, el proceso puede durar horas, días o semanas.
- Temperatura. Conservación a bajas temperaturas. Los insectos no se reproducen a temperaturas inferiores a los 21°C o superiores a los 35°C por largos períodos de tiempo. Las temperaturas favorables a la reproducción están entre estos valores, considerándose como ideal los 28°C.
- Humedad. La principal fuente de humedad es la propia del grano. Cuando la humedad aumenta del 12 al 15%, los insectos se desarrollan y se reproducen con mayor intensidad. Por encima de estos límites, predominan los ácaros y los hongos, y a mayor humedad prevalecen las bacterias.
- Los polvos inertes. Las sustancias más usadas son la sílica en jalea, el magnesio calcinado, cenizas y las arcillas (FAO, 1983). Como así también, la tierra de diatomeas, que son antiquísimas algas microscópicas, huecas y con carga eléctrica negativa (Fusé et al., 2013). El mecanismo de acción insecticida es por abrasión, dado que presentan una teca bivalva silícea y absorción de los lípidos cuticulares del insecto que produce la muerte por deshidratación (Juárez y Calderón Fernández, 2007; Pedrini et al., 2007).
- El almacenaje hermético. No se permite la entrada del aire al interior del silo. Los granos e insectos consumen el oxígeno presente y lo sustituyen por el CO₂, muriendo por asfixia. También se puede realizar la aplicación de gases como CO₂ y N₂, aunque esto es muy costoso y requiere de instalaciones herméticas y de provisión de gases, entre otros.
- El impacto. Los granos son expulsados por fuerza centrífuga contra una superficie y con el impacto los insectos del exterior e interior mueren. Asimismo, los granos infestados se rompen y los insectos expuestos son retirados por aspiración.
- El transilaje. Consiste en pasar el grano de un silo a otro por medios mecánicos, lo que permite reducir la temperatura y dispersar la humedad acumulada en algunos puntos de la masa de granos.

- Variedades resistentes. Debido a su constitución genotípica, el grano se daña en menor intensidad por el ataque del insecto que otra variedad menos resistente, comparado con el grano estándar.

2.2.2 Métodos de control biológico

El control biológico se define como el uso de organismos vivos para reducir la densidad de la población o el impacto de un organismo considerado plaga (Eilenberg et al., 2001).

- Patógenos. Microorganismos capaces de producir enfermedad en condiciones normales de resistencia del hospedador (López Lastra y Lecuona, 2019). Son altamente específicos, no generan resistencia y son compatibles con los insecticidas tradicionales. Entre ellos, los más utilizados son bacterias, hongos y virus. Los hongos entomopatógenos (HE) han sido evaluados para el control de coleópteros en granos almacenados (Luangsa-ard et al., 2011, Barra et al., 2013).
- Productos Fitosanitarios (PF). Es el método habitual para el control de las plagas. Existen productos con principios activos fosforados (fosfina), clorados (clorpirifós, mercaptotion, pirimifós, diclorvos) y piretroides (deltametrina) que se presentan formulados en forma líquida o sólida.
- Ozono. Se usa en bajas dosis, pero suficiente como para eliminar los insectos.
- Insecticidas botánicos. Derivan de plantas y se usan en varias formas (polvos, extractos, aceites esenciales y plantas enteras). En el mercado existen pocos productos obtenidos de las plantas (Rozman et al., 2007).
- Feromonas. Sustancias de naturaleza hormonal que se utilizan para alterar los hábitos sexuales y el comportamiento producidos por los machos para

apareamiento (feromonas sexuales) o producidas por los machos de especies más longevas que atraen a los adultos de ambos sexos a una fuente de alimento adecuada (feromonas de agregación). Se usan en monitoreo para reducir la cópula por alteración del medio.

- Reguladores de crecimiento. Brindan protección por un largo plazo y dan como resultado la reducción de la población. Se pueden rociar o espolvorear directamente sobre el grano.

3. Generalidades acerca de los hongos entomopatógenos (HE)

Los hongos entomopatógenos son organismos de importante valor ecológico al desempeñar funciones de regulación sobre insectos, quienes debido al mal manejo de pesticidas realizado por el humano para su control se han convertido en plagas incontrolables y resistentes, convirtiendo a los hongos entomopatógenos en una opción viable para la elaboración de bioplaguicidas que permitan el control de los mismos sin contaminación y deterioro del medio ambiente; no obstante, se debe tener en cuenta que el impacto en el ambiente puede ser negativo al controlar especies de insectos benéficas como es el caso de las abejas (*Api mellifera*), polinizadoras por excelencia en el ecosistema. El desarrollo de productos a base de hongos entomopatógenos debe involucrar investigación para determinar el nivel de interacción del hongo con su hospedero y con el medio ambiente, la concentración del producto y el método de formulación adecuado que permita llevar estos microorganismos a condiciones de campo para que desempeñen una función de buena capacidad reguladora de las plagas dentro del agroecosistema (Delgado & Murcia-Ordoñez, 2011).

Los hongos entomopatógenos son un grupo de microorganismos importantes como agentes de control biológico que se encuentran distribuidos en todo el mundo. Existen aproximadamente 700 especies conocidas como patógenos de insectos (Lacey, 2012). La mayoría pertenecen al Phyla Ascomycota (Orden Hypocreales) y

Entomophthoromycota (Orden Entomophthorales). Aunque estos dos grupos se diferencian en algunos aspectos de la historia de vida, ambos producen conidios u otras esporas asexuales que son las unidades infectivas (Roy et al., 2006; Vega et al., 2012). Estos hongos pueden encontrarse en distintas ubicaciones geográficas y climáticas, tanto en suelos cultivados como naturales (Vega et al., 2008). Tienen la particularidad de actuar como patógenos de diferentes tipos de artrópodos (insectos y ácaros) y pueden llegar a producir la muerte del hospedador (Humber, 2012).

Según Pucheta Diaz et al. (2006), los hongos entomopatógenos tienen un gran potencial como agentes controladores, constituyendo un grupo con más de 750 especies, diseminados en el medio ambiente y provocando infecciones fungosas a poblaciones de artrópodos; Para López-Llorca y Hans-Börje (2001), entre los géneros más importantes están: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, mientras que para la FAO (2003), los géneros de importancia son *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium*. En el desarrollo del control biológico, que para Tellez-Jurado et al. (2009) se define como una práctica agrícola en constante crecimiento que busca la destrucción total o parcial de patógenos e insectos plaga frecuentemente mediante el uso de sus enemigos naturales, los hongos entomopatógenos según Samson et al. (1998), son los primeros agentes biológicos en ser utilizados para el control de plagas, porque según Asaff et al. (2002), son capaces de producir enfermedad y muerte de los insectos. Estos microorganismos infectan a los artrópodos directamente, a través de la penetración de la cutícula y ejercen múltiples mecanismos de acción, confiriéndoles una alta capacidad para evitar que el hospedero desarrolle resistencia.

Sin embargo, Meyling y Eilenberg (2007), afirman que para su utilización como control biológico es necesario prácticas agrícolas en donde se manipule el ambiente para beneficiar las poblaciones de entomopatógenos, donde el conocimiento de los

aspectos ecológicos del hongo es necesario, tales como la humedad relativa, temperatura, patogenicidad, virulencia y hospederos a los que infecta activamente. Lacey et al. (2001), afirma que entre los aspectos básicos se encuentran el aislamiento del hongo, cultivo, pruebas biológicas y predicción de los efectos sobre las poblaciones de plagas en el medio ambiente, así como un desempeño predecible sobre cambios de las condiciones medioambientales y una mayor eficiencia de producción. Para Butt et al. (2001), la producción de hongos para el control de plagas implica una amplia investigación donde se involucran disciplinas como la patología, ecología, genética y fisiología, además de técnicas para la producción masiva, formulación y estrategias de aplicación.

Algunas de las ventajas de los HE son la alta especificidad, la dispersión natural, la posibilidad de cultivo in vitro y la seguridad para los humanos y otros organismos vertebrados, preservando los enemigos naturales del organismo objetivo a combatir. Como así también, si se encuentran en las condiciones ambientales adecuadas, puede introducirse, colonizar y reproducirse con la posibilidad de mantener un control permanente una vez establecidos. Además, poseen la capacidad de multiplicarse y dispersarse en el ambiente (Lacey, 2012).

Sin embargo, hay algunas desventajas que están vinculadas con la velocidad de muerte del insecto blanco, debido a que estos mueren luego de varios días de ser infectados; y a su persistencia en el ambiente, dado que se encuentra ligada a las condiciones climáticas: temperatura, humedad relativa, luminosidad, etc. (Lacey, 2012; Padín y Passalacqua, 2018).

3.1 Clasificación taxonómica y morfología de los hongos entomopatógenos

***Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin**

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Cordycipitaceae

Género: Beauveria

Ubicación Mycobank 199430*

*Clasificación taxonómica según Mycobank (Sitio Web: <http://www.mycobank.org/>).

El género *Beauveria* afecta a una gran cantidad de insectos y ácaros, siendo comúnmente encontrado en la naturaleza (insectos muertos y momificados). En el exoesqueleto del huésped forma una densa cubierta blanca, ocasionalmente con fascículos erectos de hifas. Las células conidiógenas están generalmente densamente agrupadas (verticiladas o solitarias) y son incoloras. El raquis posee la base globosa o con forma de matraz. A su vez, la extensión apical denticulada (dentada) se estrecha hacia la porción que sostiene el conidio, la cual se presenta en forma de zig-zag, después de que varios conidios se producen. El género se caracteriza morfológicamente por los conidios globosos a cilíndricos o vermiformes, aseptados, que son típicamente hialinos, de pared lisa; y los conidióforos forman densos grupos (Humber, 2012).

Actualmente, se acepta que el género comprende un complejo de varias especies crípticas. La identificación morfológica de las especies de *Beauveria* se ha basado tradicionalmente en la morfología de los conidios (Rehner y Buckley, 2005). Sin embargo, la amplia superposición en las dimensiones y la forma de los conidios entre las especies dificulta la identificación definitiva. El uso de herramientas moleculares ha posibilitado la diferenciación intraespecífica dentro del género mediante el análisis comparativo de secuencias de ADN. En la actualidad hay más de 10 especies descritas, por ejemplo: *B. bassiana*, *B. brongniartii* (Sacc.) Petch, *B. caledonica* Bissett & Widden, *B. amorpha* (Höhn.) Minnis, S.A. Rehner & Humber, *B. asiatica* S.A. Rehner & Humber, *B. pseudobassiana* S.A. Rehner & Humber (Rehner et al., 2011).

***Metarhizium anisopliae* (Metschn) Sorokīn**

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Clavicipitaceae

Género: *Metarhizium*

Ubicación Mycobank 8912

El género *Metarhizium* se caracteriza por tener la capacidad de infectar una amplia gama de artrópodos y por ser muy común en insectos y en el suelo como su mayor reservorio. El micelio a menudo cubre a los huéspedes afectados; los conidióforos forman parches densos; mientras que conidióforos individuales son ampliamente ramificados (tipo candelabro), y aparecen densamente entrelazados. Las células conidiógenas se presentan con ápices redondeados a cónicos, formando un himenio denso con conidios aseptados, cilíndricos u ovoides. Constituyen largas cadenas que generalmente se adhieren lateralmente y forman columnas prismáticas o cilíndricas o placas sólidas de esporas. El color típico de esta especie se lo otorgan los conidios, los cuales varían de verde oliváceo, pálido o brillante a amarillo verdoso o sepia (Humber, 2012).

Según la bibliografía, los estudios taxonómicos de especies dentro de este género se realizaron basándose en las características morfológicas y los datos del marcador ITS (Rehner y Buckley, 2005), sin embargo, no fueron suficientes. En consecuencia, varios autores realizaron estudios taxonómicos moleculares de análisis de secuencia multilocus obteniendo una base más sensible y sólida (Rehner y Buckley, 2017), pudiendo determinar las especies más comunes como: *M. anisopliae*, *M. robertsii* y *M. rileyi* (= *Nomuraea rileyi*).

Metarhizium anisopliae s.l. presenta amplia distribución mundial y ha sido encontrado infectando insectos, como larvas de coleópteros, pulgones, trips, locústidos, cigarras, chinches y otras especies (Boucias y Pendland, 1998; López Lastra y Lecuona, 2019).

3.2 Ciclo de vida de los hongos entomopatógenos

1. Adhesión de la espora sobre la cutícula del huésped: El ciclo del desarrollo de un HE comienza con una unidad infectiva, una espora asexual o conidio, que contacta al hospedador, mediante las propiedades físicas, químicas y electrostáticas de la superficie del conidio y de la cutícula. En este proceso también intervienen proteínas denominadas hidrofobinas (Holder y Keyhani, 2005; López Lastra y Lecuona, 2019).
2. Germinación y formación de apresorios: Cuando los conidios quedan retenidos en la cutícula del hospedador, se adhieren e hidratan y ocurre su germinación. Originan un tubo germinativo y, en algunos casos, la formación de un apresorio. El apresorio favorece la fijación y el ingreso del hongo al interior del huésped, ayudando en la penetración.
3. Penetración de las hifas (liberación de enzimas) en el huésped: La penetración ocurre en las partes más débiles de la cutícula (membranas intersegmentales, zonas de inserción de las patas, ojos y mandíbula), a través de la presión mecánica ejercida por el extremo de la hifa invasiva o por el apresorio y el mecanismo enzimático, lipasas, proteasas y quitinasas, que van degradando la cutícula (Tanada y Kaya, 1993).
4. Multiplicación del hongo en el hemocelo del insecto (por medio de brotación de los cuerpos hifales/blastosporas): El hongo, ya en el hemocelo del insecto, convierte el crecimiento del micelio en un crecimiento por gemación. Las blastosporas, formas miceliares unicelulares similares a cuerpos hifales,

proliferan rápidamente evadiendo la respuesta inmune del insecto (Tanada y Kaya, 1993; Boucias y Pendland, 1998).

5. Liberación de toxinas/metabolitos: Las sustancias tóxicas químicas, micotoxinas (péptidos cíclicos) son secretadas por el hongo en el hemocelo y se encuentran involucradas en el proceso infectivo (Tanada y Kaya, 1993; Boucias y Pendland, 1998).
6. Invasión de tejidos, lisis y muerte del insecto: La multiplicación del hongo en el interior del insecto genera competencia por nutrientes y oxígeno. Por consiguiente, el hospedador progresivamente presenta carencia de coordinación, comportamientos alterados (Lecuona, 1996), parálisis y cambios de coloración (Alves, 1998). El insecto, ya muy debilitado, muere.
7. Esporulación externa del hongo a través de la cutícula del insecto hospedante: Después de la muerte del insecto, si las condiciones de humedad relativa son altas, las estructuras fúngicas logran atravesar las partes más débiles de la cutícula (membranas intersegmentales). El cuerpo inicialmente se recubre de un micelio blanco con aspecto algodonoso y posteriormente es recubierto de conidios de la coloración característica de cada especie fúngica.
8. Infección a otros insectos sanos a través del inóculo fúngico (esporas, conidios, etc.): Una vez fuera del hospedador se producen las esporas capaces de iniciar nuevos ciclos de infección en otro hospedador, tanto huéspedes primarios como alternativos, diseminando el patógeno en el ambiente por acción de agentes abióticos o bióticos (Fuxa y Tanada, 1987; Hesketh et al., 2010; López Lastra y Lecuona, 2019).

3.3 Factores que inciden en las infecciones fúngicas

Los factores ambientales más importantes que afectan el uso de los HE son la temperatura, la luz UV y la humedad relativa. En cuanto a la temperatura, el rango óptimo de crecimiento varía entre 10° y 30°C. En segundo lugar, la exposición a la radiación solar inhibe o retrasa la germinación. Por último, la humedad relativa y el agua libre afectan la germinación y la esporulación del hongo. Consecuentemente, la fluctuación de dichos factores podría tener un impacto sobre el efecto del control (Magan, 2001). Asimismo, se debe tener en cuenta el tipo de sustrato/ambiente, estado del hospedador, edad, dosis o concentración del patógeno, secuencia y tiempo de alimentación de cada patógeno (López Lastra y Lecuona, 2019).

3.4 Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos

Según Carruthers y Hural (1990); Haraprasad et al. (2001); Chamley y Collins (2007), los hongos entomopatógenos, a diferencia de otros agentes entomopatógenos, tienen mecanismos de invasión únicos, hecho reafirmado por Charnley (1997); Jeffs et al. (1997) y Kershaw y Talbot (1998), referenciando que no necesitan ser ingeridos por el insecto para controlarlo sino que lo infectan por contacto y adhesión de las esporas a partes de su cuerpo (partes bucales, membranas intersegmentales o espiráculos, entre otros). Es así como lo enuncia Hajek (1997); Deshpande (1999); Milner (2000); Asaff et al. (2002) y Barranco Florido et al. (2002), que inician su proceso infectivo y asociación patógeno-hospedero formando los túbulos germinales y a veces el apresorio (que sirve para el anclaje de la espora) con los cuales ejerce una presión hacia el interior del insecto facilitando la invasión del hongo.

En síntesis, según Alean Carreño (2003), el mecanismo de acción se divide en tres fases:

1. Adhesión y germinación de la espora a la cutícula del insecto.
2. Penetración en el hemocèle y
3. Desarrollo del hongo.

Lo cual generalmente resulta en la muerte del insecto. Esta facilidad de infestación se debe a las características tanto físicas y químicas que tienen los insectos como lo referencian Hegedus y Khachatourians (1995) y Khachatourians (1996), que son los carbohidratos presentes en las proteínas cuticulares que permiten que la germinación mediada por mensajeros se acelere, así como la cubierta mucilaginosa que contribuye a la hidratación de la espora y que además funciona como protector ante la presencia de polifenoles tóxicos y enzimas secretadas por el sistema inmune del insecto. Cabe destacar que, durante la penetración del hongo desde la cutícula del insecto hasta el haemocoel, la hifa queda inmersa en proteínas, quitina, lípidos, melanina, difenoles y carbohidratos; algunos de ellos son nutrientes, pero otros pueden inhibir su crecimiento, ya que el insecto activa su sistema inmune a través de procesos como la melanización, fagocitosis, nodulación y encapsulamiento (St. Leger y Roberts, 1997). Sin embargo, los hongos desarrollan una serie de actividades que les permiten evitar este tipo de defensas, tales como cambios en la pared celular y producción de sustancias inmunomoduladoras o toxinas fúngicas (Khachatourians, 1991). A partir de la penetración cuticular, se proliferan dentro del insecto e inician el crecimiento micelial a través de sus cuerpos hifales que invaden diversas estructuras como tejidos musculares, cuerpos grasos, tubos de Malpighi, mitocondrias, hemocitos, retículo endoplásmico y membrana nuclear (Pucheta Diaz et al., 2006). Finalmente, las hifas penetran la cutícula desde el interior del insecto y emergen a la superficie iniciando la formación de esporas cuando presenta las condiciones adecuadas como es la humedad relativa y temperatura (Gillespie y Claydon, 1989).

Por tal razón, conocer la ecología entre insecto-entomopatógeno, que para Téllez-Jurado et al. (2009), son los diferentes mecanismos que los hongos entomopatógenos tienen para infectar a los insectos y los mecanismos que los insectos tienen para defenderse, puede ayudar en el aislamiento, selección y mejora de cepas fúngicas, que según Van Driesche (2008), se ha enfocado en la utilización de 20 especies de 12 géneros, de las más de 400 especies reconocidas como

infectantes de insectos, para su utilización como agentes de control biológico y/o en el cuidado de especies benéficas de insectos.

4. Generalidades acerca del frijol

4.1 Origen del frijol

El frijol es originario de América, los hallazgos arqueológicos y las evidencias científicas registran dos centros de domesticación y diversidad genética del frijol común, Mesoamérica y los Andes (Bellon, 2009). México es reconocido como centro primario de domesticación y diversidad genética del frijol. Cuenta con una amplia diversidad de poblaciones silvestres, variedades criollas, cada una adaptada localmente, desplegando diferentes tipos de crecimiento, coloración de flor, fruto y semillas; se encuentran en un amplio intervalo de ambientes ecológicos y desde una altitud de casi a nivel del mar hasta los 3000 m (Delgado y Gama, 2015).

El frijol tiene un gran valor nutricional ya que contiene altos niveles de proteínas y aminoácidos esenciales, así como propiedades antioxidantes, antes y después del procedimiento de cocción (Landi et al., 2017). Su consumo y producción han aumentado en los últimos años, ya que se estimaba en 17 millones de toneladas en el 2016. El almacenamiento es una de las etapas de producción más expuesta a las plagas, debido a esto los rendimientos anuales de la producción de frijol pueden sufrir pérdidas del 40%, si no se tratan los depósitos infectados (Savković et al., 2019).

4.2 Importancia del frijol en México

México es el centro de origen, domesticación y diversidad genética del frijol común (*Phaseolus vulgaris*), la leguminosa de consumo humano directo más importante del mundo. Junto con el maíz, los frijoles han sido la base de la alimentación de los

mexicanos durante miles de años. Son utilizados como guarnición en el desayuno, la comida o la cena y en algunos hogares, constituyen el plato principal. Una comida cotidiana de la región se compone de guisado, tortillas, frijoles, agua de sabor o refresco. La combinación del maíz y el frijol es una herencia prehispánica debido a que se cultivaban dentro de la milpa junto a otras especies vegetales y constituían la base de la alimentación familiar. El frijol entonces, es un alimento básico de la cocina mexicana y su combinación con el maíz es una mezcla sinérgica altamente nutritiva, sí el maíz es el cereal y la fuente de energía, el frijol es la principal fuente de proteínas de origen vegetal que se conserva hasta la actualidad (Gálvez y Peña, 2015; Gálvez y Salinas, 2015).

En este país, el frijol es el tercer cultivo de mayor importancia por la superficie sembrada, con 7.9% del total en el año agrícola, en tanto que ocupó la décima posición por el valor de la producción agrícola nacional, con una participación de 2.4% en 2020. En una superficie cosechada de 1.6 millones de hectáreas en el año agrícola 2021, 87.2% de temporal y 12.8% de riego, se obtuvieron 1 176 millones de toneladas, lo que significó un incremento de 11.3% con respecto a la producción del año agrícola 2020. Mayor cantidad de precipitación en las principales regiones de temporal favoreció principalmente la recuperación de los rendimientos promedio por unidad de superficie, por lo que la producción nacional creció por segundo año consecutivo luego de la fuerte afectación por la sequía registrada en 2019. El 73.2% de la producción se obtuvo en el ciclo Primavera-verano y 26.8% en el ciclo otoño-invierno (O-I). Las variedades de Frijol Negro, Pinto y Azufrado/Peruano son las de mayor participación en la producción nacional. Cinco entidades federativas participaron en conjunto con 68.2% de la producción nacional: Zacatecas (29.9%), Sinaloa (13%), Durango (10.5%), Chihuahua (8.9%) y Nayarit (6%).

El rendimiento promedio en riego se ubicó en 1.76 t ha⁻¹ y en temporal en 590 kg ha⁻¹. Por su parte, el consumo de frijol en México durante el ciclo comercial oct. 2020-sep. 2021 se estima en 1 061 millones de toneladas. El 9% de este volumen fue abastecido con frijol importado, proveniente principalmente de Estados Unidos

de América. Durante los primeros once meses de 2021 México importó 177.5 miles de toneladas de frijol y exportó 37.2 miles de toneladas (FAO, 2022).

La conservación y protección de este grano durante el almacenamiento constituye una necesidad alimenticia, social y económica. Hace más de dos décadas se estimaba que el 5-10% de la producción mundial de granos alimenticios se perdía a causa de insectos de almacén, lo que en ese entonces podría ayudar a alimentar a 130 millones de personas anualmente (FAO, 1999). Para América Central y México se han estimado pérdidas poscosecha que alcanzan hasta 35% de frijol almacenado (Nava-Pérez et al., 2010).

5. Principales plagas que afectan al grano del frijol

Las principales plagas del frijol durante su almacenamiento son los insectos coleópteros conocidos como gorgojos del frijol, *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae) (Rodríguez, 2018). La especie *Z. subfasciatus*, infesta granos sanos, los cubren de huevos y las larvas hacen perforaciones al alimentarse, lo cual causa la disminución del peso del grano y la cantidad de nutrientes (Cárdenas et al., 2019).

La especie que causa mayor daño al frijol almacenado es el gorgojo mexicano (*Zabrotes subfasciatus*) (Boheman)], orden Coleóptera, familia Chrysomelidae, subfamilia Bruchinae (De Franca, 2012). El deterioro del grano de frijol como consecuencia del ataque de estos insectos sucede cuando las larvas se alimentan de las semillas, causando daños a los cotiledones. Los granos son cubiertos de huevos y presentaron perforaciones que corresponden a las cámaras de alimentación de los insectos, lo que causa una significativa pérdida de peso. Existen varias alternativas técnicas y de manejo que se han implementado para reducir las pérdidas poscosecha, principalmente durante el almacenamiento del grano de frijol (López-Monzón et al., 2016).

La práctica más frecuente para el control del gorgojo es mediante el uso de insecticidas sintéticos, como son los organofosforados y piretroides, al igual que fumigantes con fosfina (Baldin et al., 2017). Algunos de sus efectos adversos son la rápida evolución de la resistencia a los insecticidas, la contaminación de los ecosistemas y el efecto en la salud humana (Lazarević et al., 2018). Por lo que es de vital importancia buscar alternativas menos perjudiciales como el uso de agentes de control biológico y trampas con feromonas (Soares et al., 2015). Estudios recientes que se han enfocado a controlar la plaga del gorgojo con el uso de herramientas con menor impacto ambiental y en la salud, incluyen el uso de polvos inertes (Lazarević et al., 2018), tierra de diatomeas (Wille et al., 2019), compuestos orgánicos volátiles (Rodríguez-González et al., 2018) y el uso de ingeniería genética (Baldin et al., 2017; Jiménez et al., 2017).

6. Gorgojo *Zabrotes subfasciatus*

Una de las especies de insectos que afectan a las semillas de frijol, en el periodo de almacenamiento, y que puede mencionarse como una de las principales plagas es *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (gorgojo pinto), perteneciente al orden Coleoptera, familia Chrysomelidae (Valdés, 2012).

Ramírez et al. (2017) refieren que *Zabrotes subfasciatus* (Boheman), tienen como hospedante principal a *Phaseolus vulgaris*, en su fase de semilla; aunque también puede alimentarse de otras especies de leguminosas en condiciones de aislamiento como es el caso de *Vigna unguiculata* (L.).

Este insecto se distribuye en regiones del Centro y Sur América y se desarrolla adecuadamente en climas cálidos y templados. Una de las características del daño que producen es al ovopositar sobre la testa de las semillas que van a ser almacenadas, su estado larval lo desarrolla dentro del grano, barrenando el mismo (King y Saunders, 1984; Maes, 2005).

En postcosecha o almacenamiento, se tiene fuertes problemas principalmente por los gorgojos que afectan los granos y semillas, entre ellos el gorgojo pinto del frijol, *Zabrotes subfasciatus* Boheman, un insecto perteneciente a la familia Bruchidae, básicamente se alimenta de granos de frijoles, aunque puede encontrarse también en arvejas, lentejas y soya. Se localiza básicamente en América, aunque existen reportes de su presencia en África.

Se caracteriza por tener cuerpo negro u oscuro, cuenta con élitros con una banda blanca mesal y transversal, mide de 1.8 a 2.5 mm de longitud y de 1.2 a 1.8 de ancho. Tienen antenas largas que sobrepasan la mitad del cuerpo. La hembra es más grande que el macho, presenta un color negro mientras que el macho es pardo oscuro. La hembra adhiere sus huevecillos en la semilla, las larvas emergen y se instalan en el interior del grano, se alimentan del endospermo y en ocasiones sólo dejan la cubierta del pericarpio y entonces salen al exterior. Los adultos tienen un periodo de vida entre 10 a 12 días. Su ciclo biológico dura de 20 a 24 días a una temperatura de 35 °C, pero si ésta disminuye a 20°C el ciclo puede alargarse hasta por 100 días (FAO y AfricaSeeds, 2019).

METODOLOGÍA

Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Guasave, Sinaloa, el cual se localiza en la región noroeste, subregión económica centro-norte del estado de Sinaloa (Alvarado Morales et al., 2022). Se ubica entre los meridianos 108°10'03" y 109°06'50" longitud oeste, y los paralelos 25°10'03" al 25°46'19" de latitud norte; colinda al norte con los municipios de Ahome y Sinaloa, al sur con Angostura y el Golfo de California, al este con los municipios de Sinaloa, Salvador Alvarado y Angostura, y al oeste con el Golfo de California y el municipio de Ahome (Fig.1).

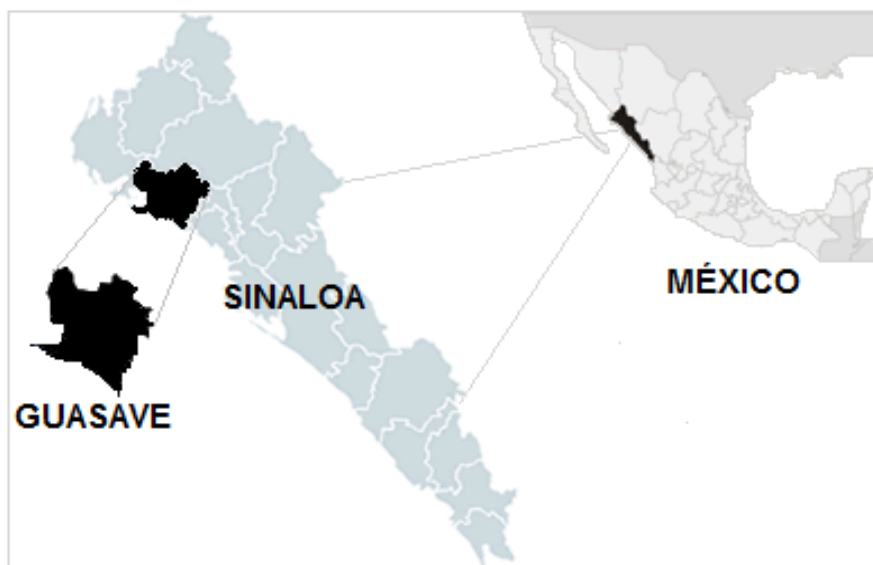


Figura 1.- Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa, México.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Los experimentos se llevaron a cabo en el laboratorio de bioinsecticidas del CIIDIR- Unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional, localizado en el municipio de Guasave, Sinaloa, México. Así como en el Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal del Instituto Tecnológico Superior de Guasave (Fig. 2).



Figura 2.- Ubicación del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.

Fuente: Tomado de Google Earth, 2025.

Materiales biológicos

- Insecto: Se utilizaron adultos (3-5 días de edad) de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman), provenientes de una colonia criada en laboratorio sobre semillas de frijol cv 'Janasa', bajo condiciones controladas (30 ± 2 °C, $70 \pm 5\%$ HR y fotoperiodo 12:12 h).
- Hongos: Se evaluaron dos cepas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin: i) una cepa nativa aislada y mantenida en la colección del CIIDIR, y ii) la cepa comercial formulada Agrobionsa®. Las cepas se reactivaron y masificaron en placas de agar papa dextrosa (PDA) incubadas a 25 °C durante 12-14 días. Las conidias se cosecharon en una solución acuosa estéril con 0.05% de Tween® 80. La concentración y viabilidad de la suspensión se verificó con hemocitómetro, ajustándose a 1×10^8 y 1×10^9 conidias viables mL^{-1} para las dosis baja y alta, respectivamente.

- Sustrato: Se emplearon semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'Janasa', libres de insecticidas y de daño aparente.

Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos (Cuadro 1). Cada tratamiento se repitió cuatro veces ($n=4$), totalizando 20 unidades experimentales. La unidad experimental consistió en un frasco de plástico con ventilación que contenía 100 semillas de frijol de la variedad 'Janasa'.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados contra *Zabrotes subfasciatus*.

Tratamiento	Cepa de <i>M. anisopliae</i>	Dosis (conidias mL^{-1})
T1	Testigo (Agua + Tween 80 al 0.05%)	--
T2	CIIDIR (Nativa)	1×10^8 (Baja)
T3	CIIDIR (Nativa)	1×10^9 (Alta)
T4	Agrobionsa® (Comercial)	1×10^8 (Baja)
T5	Agrobionsa® (Comercial)	1×10^9 (Alta)

Aplicación de tratamientos y establecimiento del bioensayo

El bioensayo de toxicidad por contacto residual se estableció de acuerdo con la metodología descrita por Armenta et al. (2020), adaptada para evaluar hongos entomopatógenos. La unidad experimental consistió en un frasco de plástico transparente de 250 mL con tapa perforada para ventilación.

El tratamiento del sustrato se realizó mediante aspersión residual uniforme de un volumen total de 0.5 mL de la suspensión correspondiente a cada tratamiento. Para

garantizar una cobertura homogénea, la aplicación se realizó en tres aspersiones sucesivas utilizando un atomizador manual de gatillo sobre las 100 semillas de frijol.

Inmediatamente después de la aplicación, y una vez que la superficie de las semillas se percibió seca al tacto (≈ 5 min), cada frasco se infestó con 20 adultos de *Zabrotes subfasciatus* (3-5 días de edad), provenientes de la colonia de cría masiva. Los frascos se sellaron y se dispusieron aleatoriamente en una cámara de incubación. Los bioensayos se mantuvieron bajo condiciones controladas de 30 ± 2 °C, $70 \pm 5\%$ de humedad relativa y fotoperiodo de 12:12 h (luz:oscuridad) durante el periodo de evaluación.

Reproducción del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*.

- Preparar agar papa dextroza "PDA" Medio de cultivo): en un matraz de 500ml. se disuelven 39g. del medio deshidratado en 1l. de agua destilada. Se calienta hasta la ebullición para disolver completamente el medio y posteriormente se esteriliza en autoclave a 121 grados centígrados por 15 minutos.
- Se saca del autoclave y se pone en la mesa para que se enfríe (estará listo para vaciarse cuando al tocar con la mano no queme, es importante que no se enfríe demasiado porque se solidifica y no será posible la propagación del hongo). NOTA: es indispensable el cuidado del ambiente a la hora de hacer el vaciado a las cajas petri, se debe limpiar con alcohol la campana, usar cubrebocas, cofia, bata y poner 2 mecheros.
- Una vez que vertimos el medio a las cajas esperamos a que solidifique en un lapso de 15 a 20 min. después agregamos el hongo a las cajas, el hongo se tomará del cultivo original, se cortará un trozo de 1cm. cuadrado y se coloca en el centro de la caja con un bisturí estéril, se cierra la caja y se sella con cinta para film.
- Se espera un periodo entre 7 y 14 días para que crezca el hongo colocando previamente las cajas en una incubadora entre 28 y 30 grados centígrados.

Variable evaluada: Mortalidad

Se registró el número de insectos muertos cada 24 horas durante 12 días. Los insectos se consideraron muertos por el hongo cuando presentaban micelio y esporulación externa característica de *Metarhizium* spp., o cuando al ser presionados suavemente no mostraban movimiento. Con estos datos se calculó la mortalidad acumulada corregida al día 14 utilizando la fórmula de Abbott (1925):

$$MC (\%) = [(X - Y) / (100 - Y)] * 100$$

Donde:

- MC = Mortalidad corregida.
- X = Porcentaje de mortalidad en el tratamiento.
- Y = Porcentaje de mortalidad en el testigo.

Análisis estadístico

Los datos de mortalidad corregida a los 14 días se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, considerando los factores "Cepa" y "Dosis" y su interacción. Previo al ANOVA, se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$), se procedió a una prueba de separación de medias de Tukey (HSD) para comparar todos los tratamientos entre sí. Adicionalmente, se construyeron gráficas de mortalidad acumulada diaria para describir la cinética de la infección. Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia del 95% ($\alpha=0.05$) utilizando el software estadístico SAS v9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficacia diferencial de cepas y dosis de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) contra *Zabrotes subfasciatus* (Boheman)

El análisis de varianza (ANOVA) de dos vías reveló que el factor "Tratamiento" tuvo un efecto altamente significativo sobre la mortalidad corregida a los 14 días ($F(4,10) = 551.49$; $p < 0.0001$), explicando más del 99.5% de la variabilidad observada ($R^2 = 0.995$). Como se muestra en la Figura 3, la prueba de comparación de medias de Tukey (HSD) permitió identificar diferencias estadísticas claras entre los tratamientos evaluados.

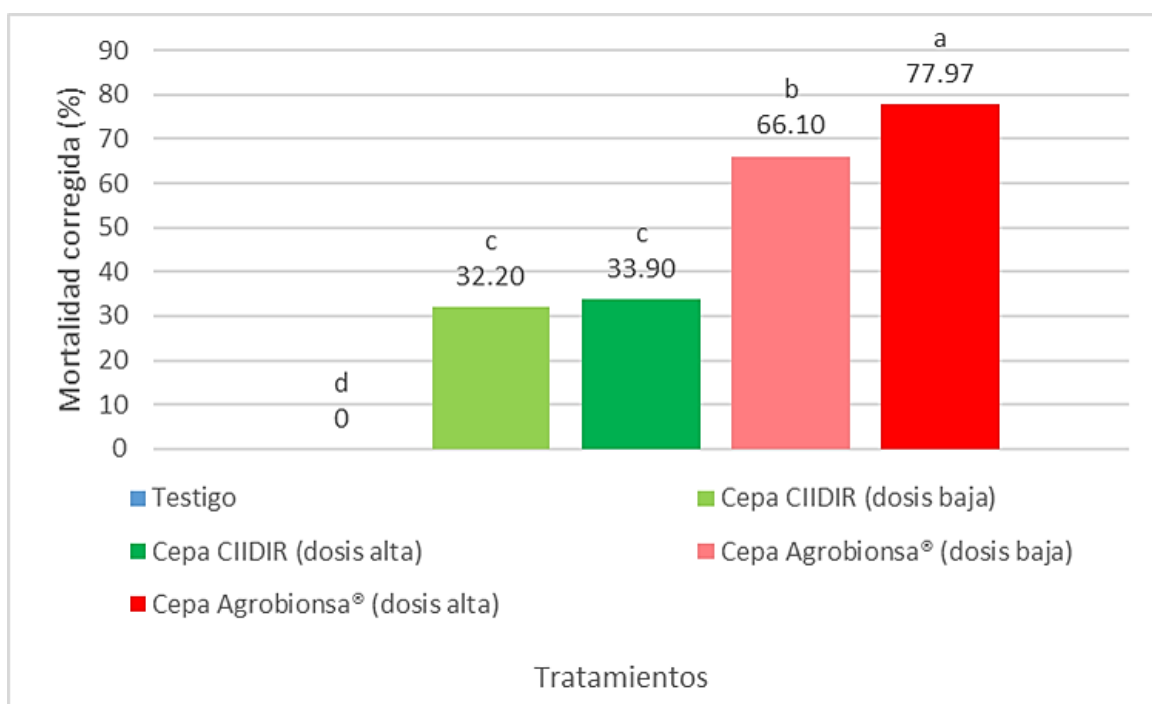


Figura 3. Mortalidad corregida del gorgojo mexicano del frijol (*Zabrotes subfasciatus* Boheman) expuesto a dos cepas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metsch.).

Dosis baja = 1×10^8 conidias mL^{-1} ; Dosis alta = 1×10^9 conidias mL^{-1} . Letras diferentes sobre las barras indican diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Rango Múltiple de Tukey, $p < 0.05$).

La cepa comercial (Agrobionsa®) demostró una patogenicidad significativamente superior a la cepa nativa (CIIDIR). Como se aprecia en la Figura 1, la mortalidad

máxima registrada para la cepa comercial (77.97% en dosis alta) fue más del doble que la observada para la cepa nativa (33.90% en dosis alta). Esta marcada diferencia (aproximadamente 44 puntos porcentuales) subraya el principio de especificidad cepa-huésped, donde la eficacia de un entomopatógeno depende críticamente de la compatibilidad fisiológica y bioquímica entre la cepa fúngica y el insecto objetivo. Estudios recientes con *Metarhizium* spp. confirman que la variación genética intraespecífica es un factor determinante en la virulencia, donde ciertos genotipos presentan adaptaciones específicas a la cutícula y fisiología de hospederos particulares (Iwanicki et al., 2025). La superioridad de la cepa comercial sugiere adaptaciones en rasgos clave de virulencia, como una mayor adhesión de conidios mediada por hidrofobinas (proteínas Mad1/Mad2), una germinación más rápida en respuesta a estímulos químicos del hospedero, o una producción más eficiente de enzimas cuticulares degradadoras (quitinasas, proteasas Pr1) necesarias para penetrar el integumento del gorgojo (Li y Xia, 2022; Dyvia et al., 2025).

Al evaluar el efecto de la dosis dentro de cada cepa, se observó un patrón contrastante. Para la cepa comercial se confirmó una relación dosis-respuesta positiva y significativa: el aumento de la concentración de conidias en un orden de magnitud (de 10^8 a 10^9 conidias mL^{-1}) incrementó la mortalidad en 11.87 puntos porcentuales (de 66.10% a 77.97%). Este comportamiento es característico de patógenos microbianos e indica que la eficacia de esta cepa puede optimizarse ajustando la dosis de aplicación, ya que mayores concentraciones aumentan la probabilidad de adhesión exitosa y superan las defensas inmunológicas iniciales del insecto (Zhang et al., 2024). Por el contrario, la cepa nativa no exhibió una respuesta dosis-dependiente; las mortalidades entre su dosis baja y alta fueron estadísticamente iguales (32.20% vs. 33.90%). Este resultado sugiere que, para esta cepa en particular, el factor limitante no fue la concentración de inóculo, sino una capacidad infectiva intrínseca menor, posiblemente debido a una mayor susceptibilidad a los compuestos antimicrobianos de la cutícula (como ácidos grasos o alcaloides) o a una respuesta inmune humoral más eficaz (melanización)

por parte de *Z. subfasciatus* (Wang et al., 2022; Mallick y Eleftherianos, 2024). Fenotipos de "meseta" en la curva dosis-respuesta han sido reportados en cepas de *Beauveria bassiana* con baja virulencia intrínseca.

Los valores numéricos completos, incluyendo las medias, el error estándar y la agrupación estadística detallada, se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Mortalidad corregida (MC %) a los 14 días de *Zabrotes subfasciatus* en frijol tratado con dos cepas de *Metarhizium anisopliae*.

Tratamiento	Cepa	Dosis (conidias mL ⁻¹)	MC (%) (Media ± EE)*
T1	Testigo (Agua + Tween 0.05%)	-	0.00 ± 0.00 a
T2	CIIDIR (Nativa)	1 × 10 ⁸ (Baja)	32.20 ± 1.70 b
T3	CIIDIR (Nativa)	1 × 10 ⁹ (Alta)	33.90 ± 0.00 b
T4	Agrobionsa® (Comercial)	1 × 10 ⁸ (Baja)	66.10 ± 1.70 c
T5	Agrobionsa® (Comercial)	1 × 10 ⁹ (Alta)	77.97 ± 1.70 d

*Letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba HSD de Tukey, $p < 0.05$). EE = Error Estándar.

El nivel de control alcanzado por la cepa comercial en su dosis alta (77.97% de mortalidad corregida) posee relevancia práctica para el manejo de plagas en granos almacenados. Una supresión cercana al 80% de la población adulta reproductiva puede reducir drásticamente la oviposición y, en consecuencia, el daño causado por la generación larval dentro de la semilla, el cual puede alcanzar hasta un 13% (Soares et al., 2015). Este nivel de eficacia es comparable o superior al reportado para otros agentes de control biológico contra plagas de almacén, como *Beauveria bassiana* contra *Sitophilus zeamais* (60-75% de mortalidad) o formulaciones comerciales de *M. anisopliae* para el control de *Tribolium* spp. (Sikorski, C. y Poltronieri, 2022; Bhatti et al., 2023), posicionando a esta cepa como una alternativa

técnica viable dentro de un esquema de Manejo Integrado de Plagas (MIP) para frijol almacenado.

Cinética de la mortalidad y progresión de la infección

La evaluación de la mortalidad diaria reveló la dinámica temporal de la infección por *Metarhizium anisopliae*. Como se muestra en la Figura 4, la cepa comercial (Agrobionsa®) indujo una mortalidad detectable y acumulativa a partir del día 5-6 post-inoculación, con una tasa de mortalidad sostenida que condujo a los altos porcentajes finales registrados. En contraste, la cepa nativa (CIIDIR) no mostró una curva de mortalidad acumulativa clara; las muertes registradas fueron esporádicas, tardías y de baja magnitud, lo que se refleja en sus bajos porcentajes finales.

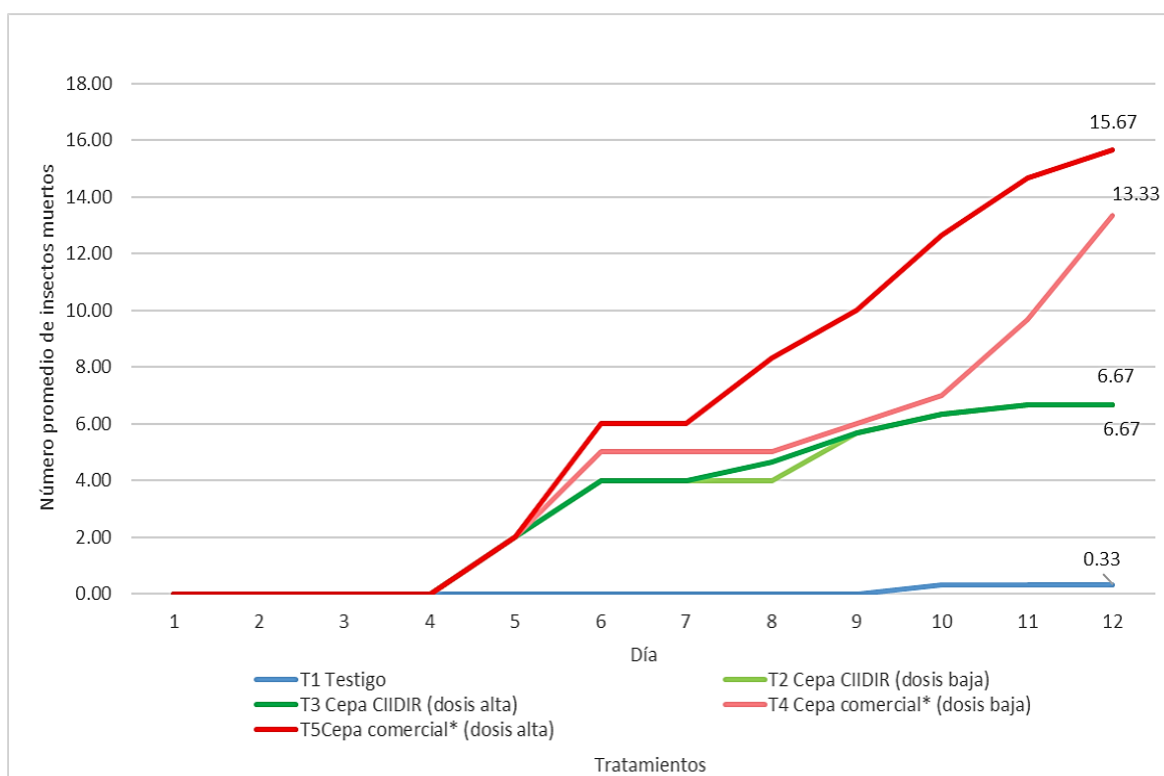


Figura 4. Curva de mortalidad acumulada diaria del gorgojo mexicano del frijol (*Zabrotes subfasciatus* Boheman) expuesto a dos cepas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Metsch.).

*Agrobionsa®. Dosis baja: 1×10^8 conidias viables mL^{-1} ; Dosis alta: 1×10^9 conidias viables mL^{-1} .

Implicaciones del control subletal y evaluación integral del daño

No obstante, una evaluación integral del potencial de un entomopatógeno para el manejo en almacén debe considerar sus efectos subletales y el daño económico final. La mortalidad del ~78% causada por la cepa comercial sugiere que un segmento de la población (~22%) podría sobrevivir, posiblemente con fitness reducido. Por lo tanto, medir el éxito reproductivo de los sobrevivientes (a través de la emergencia F1 y el peso de la progenie) y el daño directo al grano (porcentaje de semilla dañada y pérdida de peso) es crucial para cuantificar el verdadero impacto en la protección del grano. Además, evaluar cambios en la proporción sexual de la población posterior a la aplicación podría revelar efectos disruptivos en el potencial reproductivo a nivel poblacional, un aspecto poco explorado en el control microbiano de gorgojos. Por lo tanto, la alta mortalidad reportada aquí justifica investigaciones posteriores que incluyan estas métricas integrales para validar su uso como una herramienta sostenible y de alto impacto en la poscosecha del frijol.

En conclusión, los resultados validan el potencial de *Metarhizium anisopliae* para el control de *Zabrotes subfasciatus*, pero destacan que su éxito depende críticamente de la selección de la cepa. La cepa comercial Agrobionsa® se identifica como la más promisorio, debido a su alta patogenicidad y respuesta positiva a la dosis. La eficacia limitada y la ausencia de respuesta dosis-dependiente en la cepa nativa CIIDIR enfatizan la necesidad de realizar evaluaciones biológicas específicas para seleccionar candidatos. Futuras investigaciones deberán evaluar la persistencia de estos hongos en condiciones reales de almacenamiento y su efecto integral sobre la plaga y el grano, mediante parámetros como la emergencia de la generación F1, el porcentaje de semilla dañada, la pérdida de peso de la semilla, el peso de la progenie y el posible impacto subletal en la proporción sexual de la población.

CONCLUSIONES

- Los resultados confirman que *Metarhizium anisopliae* ejerce un efecto significativo sobre la mortalidad de *Zabrotes subfasciatus*, siendo la cepa el factor determinante de la eficacia. El ANOVA evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos, explicando casi la totalidad de la variación observada.
- La cepa comercial Agrobionsa® presentó una patogenicidad significativamente mayor que la cepa nativa CIIDIR, alcanzando hasta 77.97% de mortalidad. Esta superioridad respalda el principio de especificidad cepa–huésped y sugiere una mayor adaptación fisiológica al insecto objetivo. En términos aplicados, la cepa comercial se perfila como la opción más prometedora.
- Se observó una relación dosis–respuesta positiva únicamente en la cepa comercial, donde el aumento de la concentración de conidias incrementó significativamente la mortalidad. Este patrón indica que su eficacia puede optimizarse mediante ajustes en la dosis de aplicación.
- La dinámica temporal de la mortalidad mostró que la cepa comercial indujo una infección progresiva y sostenida a partir del día 5–6 post-inoculación. Por el contrario, la cepa nativa presentó una mortalidad tardía y esporádica.
- Aunque la mortalidad alcanzada por la cepa comercial es elevada, se recomienda evaluar efectos subletales y daño al grano para una valoración integral del control. Parámetros como la emergencia de la F1 y la pérdida de peso del grano permitirán estimar el impacto real en condiciones de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

- A los productores agrícolas se les recomienda incorporar cepas comerciales validadas de *Metarhizium anisopliae*, como Agrobionsa®, dentro de los programas de Manejo Integrado de Plagas en frijol almacenado, priorizando dosis técnicamente probadas. Su uso puede reducir la dependencia de insecticidas químicos y disminuir riesgos de resistencia y residuos en el grano.
- A los empresarios y formuladores de insumos agrícolas, se les sugiere invertir en el desarrollo, formulación y escalamiento de cepas altamente virulentas de hongos entomopatógenos, asegurando calidad, viabilidad y estabilidad del producto.
- A las instituciones públicas y centros de investigación, se les recomienda fortalecer los programas de evaluación y selección de cepas nativas y comerciales bajo condiciones reales de almacenamiento. Esto permitirá generar información local que respalde decisiones técnicas y promueva alternativas biológicas adaptadas a cada región.
- A las dependencias gubernamentales, se les exhorta a impulsar políticas públicas que fomenten el uso de control biológico en la poscosecha, mediante incentivos, subsidios o programas de adopción tecnológica. Estas acciones contribuirán a una producción más sostenible y a la reducción de riesgos a la salud y al ambiente.
- De manera general, se recomienda promover capacitación y transferencia de tecnología dirigida a productores, técnicos y responsables de almacenes, enfocada en el uso correcto de agentes microbianos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadia, M.B., & Bartosik, R.E. (2013). Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos: hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria. Ediciones INTA.
- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18 (2), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Alean Carreño, I. (2003). Evaluación de la patogenicidad de diferentes hongos entomopatógenos para el control de la mosca blanca de la yuca *Aleurotrachelus* sociales Bondar (Homoptera: Aleyrodidae) bajo condiciones de invernadero. 2003. 107f. Trabajo de grado (Microbióloga Agrícola y Veterinaria) - Facultad de Ciencias Basicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Alvarado Morales, O., Martínez Huerta, R., & Vega Osuna, L. A. (2022). Sesgos conductuales en la decisión sobre la producción en agricultores del municipio de Guasave, Sinaloa. *región y sociedad*, 34. <https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1488>.
- Antunes, L. y Dionello, R.G. (2017). Efficacy of insetitis during the burning of milky stones. *The Scientific Electronic Journal of UERGS*, 3(1): 83-94. <https://doi.org/0479.10.21674/2448-31.83-94>
- Armenta, L.A.R., Lugo, G.G.A., Sánchez, S.B.H., Almada, R.V.G. y Nava, P.E. (2020). Alternativas biorracionales para el manejo del picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera:Curculionidae). *Entomología mexicana*, Vol.7: 124-230. ISSN: 2448-475X
- Asaff, T. A.; Reyes, V. Y.; Lopez, L. V. E.; De La Torre, M. M. (2002). Guerra entre insectos y microorganismos: una estrategia natural para el control de plagas. *Avance y Perspectiva*, v. 21, p. 291-295.

- Baldin, E. L. L., S. Camargo R., E. R. Pannuti, L. and M. Lara, F. 2(017). Characterization of resistance to the bean weevil *Acanthoscelides obtectus* Say, 1831 (Coleoptera: Bruchidae) in common bean genotypes. *Arthropod-Plant Interactions* 11: 861–870. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9540-6>
- Banco de México. 2016. Panorama Agroalimentario: Frijol (2016). [Consultado: 25 de noviembre de 2019] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200638/Panorama_Agroalimentario_Frijol_2016.pdf.
- Barra, P., Rosso, L., Nesci, A., & Etcheverry, M. (2013). Isolation and identification of entomopathogenic fungi and their evaluation against *Tribolium confusum*, *Sitophilus zeamais*, and *Rhyzopertha dominica* in stored maize. *Journal of Pest Science*. 86 (2): 217-226. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0460-z> .
- Bartosik, R. (2012). Eficiencia de poscosecha. Control de insectos en granos almacenados. Gacetilla de divulgación. Febrero de 2012. PRECOP. -
Bartosik, R. 2013. La Poscosecha en Argentina: contexto Actual. Gacetilla de prensa. <http://inta.gob.ar/documentos/la-poscosecha-en-argentina-contexto-actual>. Acceso setiembre 2013.
- Bellon, M. (2009). “Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas”. En C. N. Biodiversidad, Capital Natural de México (págs. 355-382). México: CONABIO.
- Bhatti, M. H. T., Ahmad, S., Bilal, S., & Iqbal, M. (2023). Evaluation of different strains of entomopathogenic fungi as potential agents for the management of *Tribolium castaneum*. *Bulletin of Biological and Allied Sciences Research*, 2023(1), 52-52. <https://doi.org/10.54112/bbasr.v2023i1.52>
- Breese, M.H. (1960). The infestibility of stored paddy by *Sitophilus sasakii* (Tak.) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *Bulletin of Entomological Research*. 51, 599e630.
- Butt, T. M.; Jackson, C.; Magan, N. (2001). Fungi as biological control agent: progress, problems and potencial. In: BUTT, T. M.; JACKSON, C.; MAGAN,

- N. (Eds.). Fungi as biocontrol agents. Wallingford: CABI International, 2001. p. 1-8. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851993560.0001>
- Cárdenas M., M., M. Lavastida-Pérez, R. Rodríguez-Rojas, E. Pozo-Velázquez y R. ValdésHerrera. (2019). Incremento poblacional de *Zabrotes subfasciatus* en cultivares de frijol común. Revista Centro Agrícola 46: 38–45. [Consultado: 20 de noviembre de 2019] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200038&lng=en&tlng=es.
- Casini, C. (2006). Trigo: en la poscosecha se pierden casi 150 millones de dólares. Gacetilla de presa. <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=2180> acceso setiembre 2009.
- Casini, C., & Santajuliana M. s/f. Control de plagas en granos almacenados. INTA EEA Manfredi. Recuperado de <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/postcosecha/ControlPlagasGranosAlmacenados.asp>.
- De los Ángeles Bautista-Sosa, N., de Jesús Góngora-Gamboa, C., Chan-Canché, R. J., Ballina-Gómez, H. S., González-Mendoza, D., & Ruiz-Sánchez, E. (2021). Efecto de polvos vegetales en el gorgojo mexicano (*Zabrotes subfasciatus* boheman) y su daño a granos almacenados de frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 24, 58.
- Delgado, A., & Gama, S. (2015). “Diversidad y distribución de frijoles silvestres en México”. *Revista digital universitaria*, 16(2), 2-11.
- Delgado, P. A. M., & Murcia-Ordoñez, B. (2011a). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 77-90. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.187>
- De Franca, S. M.; Vargas-Oliveira, A. B.; Esteves-Filho, A. B. and Moura-Oliveira, C. (2012). Toxicity and repellency of essential oils to *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) in *Phaseolus vulgaris* L. Acta Amazónica. 42(3):381-386.

- Divya, M. M., Kannan, I. R., Lokeshwari, B., Saranraj, P., Ryntathiang, I., & Jothinathan, M. K. D. (2025). *Metarhizium anisopliae* as a sustainable biocontrol agent for effective insect pest management. *TPM: Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, 32(S5), 399–405. <https://tpmap.org/submission/index.php/tpm/article/view/1373>
- Duan, C., Z. Zhu, X. Wang, W. Li and S. Bao. (2017). Genetic diversity and differentiation of *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae) populations in China. *Agricultural and Forest Entomology* 19: 113–121. 10.1111/afe.12187
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387-400. doi: 10.1023/A:1014193329979
- Espinal, J. R., Soto, O. J., Abrego, A. N., Pizarro, I. P., Rodriguez, I. Y., & Sotomayor, J. C. R. (2021). Resistencia de genotipos de frijol común a los daños causados por el gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en el almacenamiento. *CEIBA, (Edición Zamorano Investiga)*, 112-121.
- FAO. (1999). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Alimentación, nutrición Nations (FAO), Statistics Division, Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/>
- FAO (Food and Agriculture Organization, Forestry Department). (2010). Seeds in Emergencies: A technical handbook. FAO Plant Production and Protection Paper. p. 7688.
- FAO. (2018). Conservación y protección de los granos almacenados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <https://www.fao.org/4/x5041s/x5041s00.htm>
- FAO. (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Alimentación Panorama alimentario frijol. [https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2023/01/](https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-Agroalimentario-Frijol-2022.pdf) Panorama-Agroalimentario-Frijol-2022.pdf. 227 p. 6

- FAOSTAT (2021). Food and Agriculture Organization of United y agricultura. 2ª. Ed. Roma, Italia, Dirección de Información de la FAO. 56 p.
- FAOSTAT. (2023). Food and Agriculture Organization. Situación Alimentaria Mundial. Disponible: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Finkler, C. (2011) Controle de insetos: uma breve revisão. Anais da Academia Pernambuca na de Ciência Agrônômica. Revista Científica Agraria, 8(9): 169-189. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2217>
- FIRA (2021). Panorama Agroalimentario: Frijol, 2019. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Disponible en: Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/01/Panorama-AgroalimentarioFrijol-2019.pdf> . (consultado en 21, marzo, 2021). [Links]
- Fusé, C.B., Villaverde M.L., Padín S.B., Del Giusto M.A., & Juárez M.P. (2013). Evaluación de la actividad insecticida de tierras de diatomeas de yacimientos argentinos. Gerencia de Comunicación e Imagen Institucional, DNA SICC, INTA.
- Gálvez, a., & Peña, C. (2015). “Revalorización de la dieta tradicional mexicana: una visión interdisciplinaria. Revista Digital Universitaria”, 16(5), 1-17. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art33/>
- Gálvez, A., & Salinas, G. (2015). “El papel del frijol en la salud nutricional de la población mexicana”. Revista Digital Universitaria, 16(2), 1-15. Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art12>
- Hajek, A. E. (1997). Ecology of terrestrial fungal entomopathogens. Adv. Microb. Ecol., v. 15, p. 193-249.
- Humber, R.A. (2012). Identification of entomopathogenic fungi. Richard A. Humber USDA-ARS Biological Integrated Pest Management Research Unit, Robert W. Holley Center for Agriculture and Health, 538 Tower Road, Ithaca, NY 14853-2901, USA.

- INEGI -Instituto Nacional de Estadística e Informática-. (2023). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>
- Iwanicki, N. S. A., Gotti, I. A., Delalibera Jr, I., & Licht, H. H. D. F. (2025). Host-specific patterns of virulence and gene expression profiles of the broad-host-range entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 209, 108242. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2024.108242>
- Jeffs, L. B.; Xavier, I. J.; Matai, R. E.; Khachatourians, G. G., (1997). Relationships between fungal spore morphologies and surface properties for entomopathogenic members of the genera *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Tolypocladium*, and *Verticillium*. *Can. J. Microbiol.*, v. 45, p. 936-948.
- Jiménez, J. C., M. de la Fuente, B. Ordás, L. E. García-Domínguez and R. A. Malvar. (2017). Resistance categories to *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae) in tepary bean (*Phaseolus acutifolius*), new sources of resistance for dry bean (*Phaseolus vulgaris*) breeding. *Crop Protection* 98: 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.04.011>
- Kershaw, M. J.; Talbot, N. J. (1998). Hydrophobins and repellents: proteins with fundamental roles in fungal morphogenesis. *Fungal Genet. Biol.*, v. 23, p. 18-33. <http://dx.doi.org/10.1006/fgbi.1997.1022>
- Lacey, L. A. (Ed.). (2012). *Manual of techniques in invertebrate pathology*. Academic Press.
- Lazarević, J., A. Radojković, I. Kostić, S. Krnjajić, J. Mitrović, M. B. Kostić and G. Branković. (2018). Insecticidal impact of alumina powders against *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of Stored Products Research* 77: 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.02.006>
- Lacey, L. A.; Frutos, R.; Kaya, H. K.; Vail, P. (2001). Insect pathogens as biological control agents: do they have a future? *Biol. Control*, v. 21, p. 230-248. <http://dx.doi.org/10.1006/bcon.2001.0938>

- Landi, N., S. Ragucci, M. Fiorentino, V. Guida and A. Di Maro. (2017). Nutritional Values and Metabolic Profile with and without Boiled Treatment of “Gallo Matese” Beans (*Phaseolus vulgaris* L.), a Landrace from Southern Italy. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria* 16: 331–344. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2017.0510>
- Li, J., & Xia, Y. (2022). Host–pathogen interactions between *Metarhizium* spp. and locusts. *Journal of Fungi*, 8(6), 602. <https://doi.org/10.3390/jof8060602>
- Lima, R. y Cardoso, M. (2013) Família Lamiaceae: Importantes óleos essenciais com ação biológica e oxidante. *Revista Fitos*, 3(3): 14-24.
- López Lastra, C.C., & Lecuona R.E. (2019). (eds.); 1a ed. Castelar, Buenos Aires. Ediciones INTA, CABA. 263 pp. ISBN 978-987-521-975-5
- López-Llorca, L. V.; Hans-Börje, J. (2001). Biodiversidad del suelo: control biológico de nematodos fitopatógenos por hongos nematófagos. *Cuaderno de Biodiversidad*, v. 3, n. 6, p. 12 – 15.
- López-Monzón, C. E.; Tobar-Tomas, W. V. y Ventura-Gómez, A. L. (2016). Controles alternativos para el gorgojo del frijol *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleptera:Bruchidae). *Ciencia, Tecnología y Salud*. 3(2):149-156.
- Magan, N. (2001). Physiological approaches to improving the ecological fitness of fungal biocontrol agents. In: ed. Butt T. M., Jackson C., Magan N. (eds.) *Fungi as Biocontrol Agents* Wallingford: CAB International.
- Mallick, S., & Eleftherianos, I. (2024). Role of cuticular genes in the insect antimicrobial immune response. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1456075. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1456075>
- Millanes Moreno, D., Mc Caughey-Espinoza, D. M., García-Baldenegro, V., Rodríguez Briseño, K., Retes-López, R., & Lazo-Javalera, F. (2024). Determinación del efecto del aceite esencial de *Larrea tridentata* sobre el gorgojo *Acantocelides obtetus* (Say) en frijol almacenado. *Idesia (Arica)*, 42(2), 19-26. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000200019>

- Milner, J. R. (2000). Current status of *Metarhizium* as a mycoinsecticide in Australia. *Biocontrol News Inf.*, v. 20, p. 47-50.
- Nava, P. E.; Gastélum, H. P.; Camacho, B. J. E.; Valdez, T. B.; Bernal, R. B. y Herrera, F. E. (2010). Utilización de extractos de plantas para el control de gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* (Say.) en frijol almacenado. Universidad Autónoma Indígena de México. El Fuerte, Sinaloa. 37-43 pp.
- Nayak, M.K., & Daglish, G.J. (2018). Importance of Stored Product Insects. In: Athanassiou and Arthur (eds). Recent advances in stored product protection. Springer-Verlag, GmbH, Germany pp 1-17.
- Ortiz, R., Ramírez, A., González, E. y Velázquez, M. (2015). Almacenes de maíz en México: Tipología y Caracterización. *Estudios Sociales*, 23(45): 163-184
- Pacheco Hernández, M. D. L., Reséndiz Martínez, J. F., & Arriola Padilla, V. J. (2019). Organismos entomopatógenos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: Una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.496>
- Padín, S. B., & Passalacqua S. A. (2018). Protección Vegetal. Series: Libro de Cátedra.
- Pessoa, A., Lozano, E., Vilani, A., Potrich, M., Matos, L., Oliveira, T. y Pessoa, G.M. (2014). *Bacillus thuringiensis* Berliner and *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebidae) under the action of plant extracts. *Arquivos do Instituto Biológico*, 81(4): 329-334. [http:// dx.doi.org/10.1590/1808-1657000962012](http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657000962012)
- Ramírez, R.N., Romero, J., Vera, J., Equihua, A. (2017). Demografía de brúquidos (Coleoptera: Bruchidae) asociados con *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Fabaceae). *Acta Zoológica Mexicana*, 33 (1): 9-17.
- Raygoza-Martínez, A. P., Rodríguez-Herrera, S. A., Cervantes-Ortiz, F., García-Rodríguez, J. G., Rodríguez-Mercado, D., & Mendoza Elos, M. (2025). Bioinsecticidas para el control de *Zabrotes subfasciatus* Boheman y la calidad

- de semilla en frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(1).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3086>
- Rehner, S.A., Minnis, A.M., Sung, G.H., Luangsa-ard, J.J., Devotto, L., & Humber, R. A. (2011). Phylogeny and systematics of the anamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria*. *Mycologia*, 103(5), 1055-1073.
- Rehner, S.A., & Buckley, E. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1- α sequences: evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps* teleomorphs. *Mycologia*, 97(1), 84-98.
- Rehner, S.A., & Kepler, R.M. (2017). Species limits, phylogeography and reproductive mode in the *Metarhizium anisopliae* complex. *Journal of invertebrate pathology*, 148, 60-66.
- Rodríguez, S. A. (2018). Semiochemistry of the Bruchidae species. *Journal of Stored Products Research* 77: 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.04.011>
- Rodríguez-González, A., P. A. Casquero, V. Suárez-Villanueva, G. Carro-Huerga, S. ÁlvarezGarcía, S. Mayo-Prieto and S. Gutiérrez. (2018). Effect of trichodiene production by *Trichoderma harzianum* on *Acanthoscelides obtectus*. *Journal of Stored Products Research* 77: 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.05.001>
- Roy, H.E., Steinkraus D.C., Eilenberg J., Hajek A.E., & Pell J.K. (2006). Bizarre interactions and endgames: entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 331-357.
- Rozman, V., Kalinovic I., & Z. Korunic. (2007). Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*. 43: 349–355.
- Saavedra, P. (2022). Plagas de importancia económica en granos almacenados. *Revista Fitosanitaria Mexicana*, 29(1), 39-46.

- Santos, W. y Chavaglia, R. (2017) Importância do controle de armazenagem para conservação e comercialização de grãos. *Revista Científica do Centro de Ensino Superior*, 5(5): 155.
- Savković, U., M. Đorđević and B. Stojković. (2019). Potential for *Acanthoscelides obtectus* to Adapt to New Hosts Seen in Laboratory Selection Experiments. *Insects* 10: 153. <https://doi.org/10.3390/insects10060153>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama agroalimentario. 220 p. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>.
- SIAP. (2023). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/856677/Frijol-Agosto.pdf>.
- Sikorski, C., & Poltronieri, A. S. (2022). Efeito de bioinseticidas formulados a partir de fungos entomopatogênicos sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em laboratório. *Research, Society and Development*, 11(11), e361111133535-e361111133535. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33535>
- Soares, M. A., E. D. Quintela, G. M. Mascarín and S. P. Arthurs. (2015). Effect of temperature on the development and feeding behavior of *Acanthoscelides obtectus* (Chrysomelidae: Bruchinae) on dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Stored Products Research* 61: 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.12.005>
- Stefanazzi, N., Gutiérrez M. M., Stadler T., Bonini N. A., & Ferrero A. A. (2006). Actividad biológica del aceite esencial de *Tagetes terniflora* Kunth (Asteraceae) en *Tribolium castaneum* Herbst (Insecta, Coleoptera, Tenebrionidae).

- Suazo, J. O. (2019). Evaluación de la resistencia de genotipos de frijol al virus del mosaico dorado amarillo y al gorgojo mexicano *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleóptera: Chrysomelidae). (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2019).
- Téllez-Jurado, A.; Cruz, R. M. G.; Flores, M. Y.; Asaff, T. A.; Arana Cuenca, A. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, v. 30, p. 73-80.
- Valdés, R. (2012). Efecto de especies de plantas y ozono (O₃) sobre *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Central "Marta Abreu" De Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 98 p.
- Vázquez-Badillo, M. E. (2016). Postcosecha de granos. *Revista Claridades Agropecuarias*, 271:3-6.
- Vega, F.E., Posada F., Aime M.C., Pava-Ripoll M., Infante F., & Rehner S.A. (2008). Entomopathogenic fungal endophytes. *Biological control*. 46(1), 72-82.
- Vilchez R.M., & O.R.R Miller. (2006). Calidad fitosanitaria y presencia de aflatoxinas en granos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), en almacén y campo, 2005. Trabajo de diploma. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua. 96 pp.
- Wang, J. L., Yang, K. H., Wang, S. S., Li, X. L., Liu, J., Yu, Y. X., & Liu, X. S. (2022). Infection of the entomopathogenic fungus *Metarhizium rileyi* suppresses cellular immunity and activates humoral antibacterial immunity of the host *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, 78(7), 2828-2837. <https://doi.org/10.1002/ps.6907>
- Wille, C. L., P.E. Wille, J. M. Da Rosa, M. I. C. Boff and C. R. Franco, C. R. (2019). Efficacy of recovered diatomaceous earth from brewery to control *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus*. *Journal of Stored Products Research* 83: 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.07.004>

Zhang, W., Chen, X., Eleftherianos, I., Mohamed, A., Bastin, A., & Keyhani, N. O. (2024). Cross-talk between immunity and behavior: insights from entomopathogenic fungi and their insect hosts. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(1), fuae003. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae003>

ANEXOS

Anexo 1. Colecta de semillas de frijol y gorgojos (*Zabrotes subfasciatus*) necesarios para el experimento.



Anexo 2. Preparación de medios de cultivo de hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*.



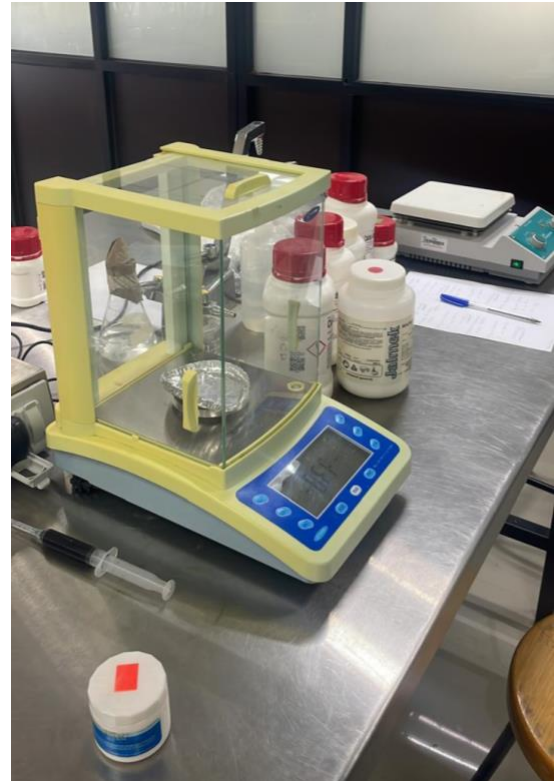
Anexo 3. Establecimiento de bioensayo en laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.



Anexo 4. Desarrollo de técnicas de laboratorio para reproducción de hongo entomopatógeno.



Anexo 5. Preparación de preinóculo para reproducción de hongo entomopatógeno mediante fermentación bifásica.



Anexo 6. Evaluación de daño y pérdida de peso en semillas de frijol.



Anexo 7. Asesoría por directores de tesis durante el desarrollo del proyecto de investigación.



