



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE

T E S I S

**Evaluación de AKAMBA en cultivos susceptibles a
lepidópteros en la región de Guasave, Sinaloa.**

PRESENTA

NADIA LIZETH CASTRO HERNANDEZ

**PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERÍA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

Director (a) de tesis

Dra. Delfina Salinas Vargas

CO-DIRECTORA

Dra. Flor María Ruelas González

Guasave, Sinaloa; febrero de 2026.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis padres y a mi familia por su apoyo incondicional, su comprensión y motivación durante todo este proceso académico. Su confianza y esfuerzo han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a mis asesoras, por su orientación, conocimientos y acompañamiento, los cuales contribuyeron de manera significativa al desarrollo de este trabajo de investigación.

También agradezco a todas las personas e instituciones que brindaron apoyo directo o indirecto para la realización de esta tesis, ya sea mediante asesoría, recursos, tiempo o facilidades durante el desarrollo del estudio.

Finalmente, agradezco a mi novio y a quienes me acompañaron en este camino, por su ánimo y apoyo constante, ya que su presencia fue importante para culminar esta etapa de formación profesional.

RESUMEN

Los lepidópteros constituyen un orden de insectos de importancia agrícola debido a que varias de sus especies, especialmente en estado larvario, son plagas que generan pérdidas económicas en cultivos de interés regional como el maíz (*Zea mays*). Entre ellas, *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) se reconoce como una de las plagas más dañinas debido a su capacidad de daño desde etapas tempranas del cultivo y su amplia gama de hospederos. El daño se manifiesta en forma de perforaciones irregulares en las hojas, acumulación de excremento y, en casos severos, destrucción del meristemo apical, lo que puede reducir considerablemente el rendimiento del cultivo. Debido a su capacidad de dispersión y adaptación a distintas condiciones climáticas, esta plaga representa un problema recurrente en regiones agrícolas como el norte de Sinaloa. La presente tesis tiene como objetivo evaluar un bioinsecticida en cultivos susceptibles a lepidópteros en la región de Guasave, Sinaloa. Con el fin de cuantificar la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* tratadas con diferentes dosis.

Para llevar a cabo este estudio, se estableció mediante ensayos de laboratorio y de campo abierto, considerando su efecto en distintos tiempos de evaluación, clima, y diferentes dosis.

Durante el desarrollo del experimento, se realizaron monitoreo de las larvas *Spodoptera frugiperda*. Los resultados obtenidos permitieron realizar comparaciones entre los diferentes tratamientos, identificando que dosis tiene mayor eficacia de mortalidad.

Este estudio contribuye al conocimiento científico sobre el cultivo de maíz y las plagas lepidópteros en Guasave, Sinaloa, al identificar la eficacia en los tratamientos dosificados en la región. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser de gran utilidad para los productores locales, así como para futuras investigaciones en el campo de la agronomía.

ABSTRACT

Lepidoptera constitute an order of insects of agricultural importance because several of their species, especially in the larval stage, are pests that cause economic losses in crops of regional interest such as maize (*Zea mays*). Among them, *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) is recognized as one of the most harmful pests due to its ability to cause damage from early stages of the crop and its wide range of host plants. The damage appears as irregular perforations on the leaves, accumulation of frass, and, in severe cases, destruction of the apical meristem, which can significantly reduce crop yields. Due to its capacity for dispersal and adaptation to different climatic conditions, this pest represents a recurring problem in agricultural regions such as northern Sinaloa. The aim of this thesis is to evaluate a bioinsecticide in crops susceptible to lepidopterans in the Guasave region, Sinaloa. In order to quantify the mortality of *Spodoptera frugiperda* larvae treated with different doses.

To carry out this study, it was conducted through laboratory and open field trials, considering its effect at different evaluation times, weather conditions, and various doses. During the development of the experiment, monitoring of *Spodoptera frugiperda* larvae was carried out. The results obtained allowed for comparisons between the different treatments, identifying which dose has the highest mortality effectiveness. This study contributes to scientific knowledge about maize cultivation and lepidopteran pests in Guasave, Sinaloa, by identifying the efficacy of dosed treatments in the region. The results obtained in this research can be very useful for local producers, as well as for future research in the field of agronomy.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. HIPÓTESIS	8
V. OBJETIVOS	9
5.1 General.....	9
5.2 Específicos	9
VI. MARCO TEÓRICO	10
6.1 Contexto agroclimático y productivo de la región	10
6.2 Problemática fitosanitaria asociada a la producción agrícola regional	11
6.3 Plagas lepidópteras de importancia agrícola	12
6.4 <i>Spodoptera frugiperda</i> (gusano cogollero)	13
6.4.2 Morfología y ciclo biológico.	15
6.4.3 Condiciones climáticas favorables.....	17
6.5 Mecanismo de daño.	18
6.6 Manejo Integrado de Plagas (MIP) en sistemas agrícolas.....	19
6.7. Estrategias de control de <i>Spodoptera frugiperda</i>	21
6.8. Agricultura sustentable e innovación agrícola	22
6.9 Benzoato de emamectina	24
6.9.1. Características químicas.....	24
6.9.2. Modo de acción	25
6.9.3. Dosis, forma de aplicación y persistencia	26

6.9.4. Impacto sobre organismos benéficos y medio ambiente	28
6.10. <i>Bacillus thuringiensis</i>	29
6.10.1. Clasificación y características generales.....	30
6.10.2. Mecanismo de acción, especificidad y selectividad en lepidópteros	30
6.10.4 Sinergia entre <i>Bacillus thuringiensis</i> y benzoato de emamectina	34
6.11 Antecedentes de investigación	35
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	38
7.1 Área de estudio	38
7.2 Etapa 1:	38
7.2.1. Diseño experimental.....	38
7.2.2 Colecta de larvas y material vegetal.	39
7.2.3. Aplicación de tratamientos.	39
7.2.4. Variables evaluadas	40
7.3. Etapa 2:	40
7.3.1. Diseño experimental.....	40
7.3.2. Aplicación de tratamientos	41
7.3.3. Variables evaluadas	41
7.3.4. Análisis estadístico	42
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
8.1 Resultados etapa 1.	43
8.2 Resultados etapa 2.	47
IX. CONCLUSIONES	52
X. RECOMENDACIONES	53
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Mortalidad promedio en porcentaje de <i>Spodoptera frugiperda</i> a las 24 y 48 h.	43
Tabla 2. Análisis de Varianza de la mortalidad de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> con tratamiento de bioinsecticida a diferentes dosis en hojas de maíz.	44
Tabla 3. Comparaciones de medias de los tratamientos con el bioinsecticida contra <i>Spodoptera frugiperda</i> en hojas de maíz. Método de Tukey y una confianza de 95%.	46
Tabla 4. Comparaciones de medias entre los tiempos de medición de la mortalidad de de <i>Spodoptera frugiperda</i> bajo tratamientos a diferentes dosis del bioinsecticida en hojas maíz. Método de Tukey y una confianza de 95%.....	46
Tabla 5. Análisis de Varianza de la mortalidad de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> con tratamiento de bioinsecticida a diferentes dosis en flor cresta de gallo.	47
Tabla 6. Comparaciones de medias de tratamientos del bioinsecticida contra <i>Spodoptera frugiperda</i> a diferentes dosis en flor cresta de gallo. Método de Tukey y una confianza de 95%.....	48

Tabla 7. Comparaciones de medias entre los tiempos de medición de la mortalidad de de <i>Spodoptera frugiperda</i> bajo tratamientos a diferentes dosis del bioinsecticida en flor cresta de gallo. Método de Tukey y una confianza de 95%.	49
---	----

I. INTRODUCCIÓN

La situación actual sobre la producción de alimentos en México y en el mundo, ha sido de muchos retos, debido a problemas fitosanitarios por diversos insectos que causan daño en diferentes cultivos de importancia económica. Sinaloa es uno de los principales estados productores de granos básicos y hortalizas, específicamente la región de Guasave que se considera el corazón agrícola de México, por sus principales zonas agrícolas, debido a la geografía y clima que presenta y por sus valles que permiten la producción extensiva e intensiva gracias a su infraestructura de riego y suelos fértiles que permiten la producción de granos, hortalizas y cultivos industriales. Sin embargo, estas mismas condiciones favorecen la proliferación de plagas, entre las cuales las larvas de insectos lepidópteros (familias *Noctuidae*, *Crambidae*, *Pyrallidae*, entre otras) representan una de las amenazas más persistentes y económicamente importantes. Estas especies presentan hábitos polífagos, es decir, pueden alimentarse de diversas plantas cultivadas como maíz, frijol, tomate, chile, repollo, brócoli, sorgo y algodón, lo que amplía su capacidad de adaptación y persistencia en el agroecosistema Sinaloense.

Las larvas representan la etapa más perjudicial, ya que se alimentan de diferentes partes de la planta (follaje, tallos, flores o frutos), provocando daños que afectan el crecimiento, deforman la planta y, en casos severos, destruyen estructuras productivas, reduciendo el rendimiento y la calidad del cultivo. En el caso de *Spodoptera frugiperda*, por ejemplo, la alimentación en el cogollo del maíz puede

generar pérdidas de hasta un 40 % del rendimiento si no se controla oportunamente (Cruz et al., 2021).

El clima de Guasave, con temperaturas de 25–35 °C y alta humedad, favorece el desarrollo y reproducción rápida de estas plagas, permitiéndoles completar varios ciclos durante una misma temporada agrícola. Además, la continuidad de siembras a lo largo del año y la proximidad entre parcelas de distintos cultivos generan puentes verdes que facilitan la supervivencia y dispersión de las poblaciones larvales entre ciclos.

Tradicionalmente, el control de estas plagas se ha basado en la aplicación frecuente de insecticidas químicos, especialmente piretroides, organofosforados y carbamatos. Sin embargo, el uso excesivo y repetido de estos compuestos ha generado resistencia en poblaciones locales de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea* (González-Maldonado et al., 2022).

Los costos económicos asociados a estas plagas son significativos, los productores de la región destinan una parte considerable de sus gastos al control químico, que a menudo no garantiza la eficacia deseada debido a los brotes resistentes. Esto afecta la rentabilidad y competitividad de los cultivos, especialmente entre pequeños y medianos productores.

Por estas razones, la presencia recurrente de larvas lepidópteras se considera uno de los principales problemas fitosanitarios en Guasave, y su manejo requiere estrategias integrales que incluyan rotación de modos de acción, monitoreo oportuno, uso de

bioinsecticidas y conservación de enemigos naturales. En este contexto, el uso de bioinsecticidas como *Bacillus thuringiensis* y de insecticidas semisintéticos más selectivos como benzoato de emamectina representan alternativas prometedoras dentro del enfoque del Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Por lo anterior, la evaluación de estos productos juntos (AKAMBA) permitirá determinar su eficacia, selectividad, persistencia y viabilidad económica, contribuyendo a reducir la dependencia de plaguicidas convencionales y a fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en Guasave.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el municipio de Guasave, Sinaloa, los cultivos agrícolas de importancia económica presentan una alta incidencia de insectos de orden lepidóptera, las cuales ocasionan daños severos durante las etapas vegetativas de desarrollo del cultivo, generando pérdidas económicas significativas para los pequeños y grandes productores de la región. Estas plagas afectan directamente el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas, comprometiendo la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas productivos locales (Casillas, 2025).

Tradicionalmente, el control de estas plagas se ha basado en la aplicación frecuente de insecticidas químicos, especialmente piretroides, organofosforados y carbamatos. Sin embargo, el uso excesivo y repetido de estos compuestos ha generado resistencia en poblaciones locales de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea*, además de provocar problemas de contaminación ambiental, afectación a organismos benéficos como enemigos naturales (crisópidos, coccinélidos e himenópteros parasitoides) y riesgos potenciales para la salud de los aplicadores y consumidores (González-Maldonado et al., 2022). Estas consecuencias han reducido la eficacia de los programas de manejo fitosanitario y han incrementado los costos de producción debido a la necesidad de mayores dosis o aplicaciones más frecuentes.

Ante este escenario, surge la necesidad de evaluar alternativas de control que sean efectivas y, al mismo tiempo, compatibles con los principios de la agricultura sostenible. En particular, los insecticidas de origen biológico y aquellos con modos de

acción selectivos representan una opción viable para el manejo de plagas lepidópteras, ya que pueden contribuir a disminuir la presión de selección para la resistencia, reducir el impacto ambiental y preservar la biodiversidad funcional de los agroecosistemas. (Mikulic-Petkovsek, 2025).

Por lo anterior, resulta de suma importancia desarrollar investigaciones que evalúen la eficacia de nuevos productos más amigables con el medio ambiente y que minimicen los riesgos para la salud humana. En este sentido, el estudio de la eficacia del benzoato de Emamectina y *Bacillus thuringiensis* en el control de lepidópteros en cultivos susceptibles establecidos en el municipio de Guasave, Sinaloa, permitirá generar información científica que contribuya a la toma de decisiones en los programas de manejo integrado de plagas. Asimismo, los resultados de esta investigación podrán apoyar el diseño de estrategias de control más sostenibles, adaptadas a las condiciones locales, que favorezcan la productividad agrícola y la conservación de los recursos naturales de la región.

III. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica desde los ámbitos científico, ambiental, social y productivo, debido a la problemática creciente que representan las plagas lepidópteras en los cultivos agrícolas de importancia económica del municipio de Guasave, Sinaloa. La elevada incidencia de especies como *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea*, así como la disminución en la eficacia de los insecticidas convencionales, evidencian la necesidad de generar conocimiento científico que permita mejorar las estrategias actuales de manejo fitosanitario.

Desde el punto de vista científico, el estudio permitirá evaluar comparativamente la eficacia del benzoato de emamectina y *Bacillus thuringiensis* en el control de lepidópteros, generando información local y actualizada bajo condiciones agroclimáticas específicas de la región de Guasave. Estos resultados contribuirán al fortalecimiento del conocimiento sobre alternativas de control con modos de acción diferenciados y potencialmente compatibles con los programas de manejo integrado de plagas, particularmente en sistemas agrícolas donde la resistencia a insecticidas químicos representa una limitante significativa.

En el ámbito ambiental, la investigación cobra relevancia al promover el uso de productos con menor impacto negativo sobre el ecosistema agrícola. La reducción en la dependencia de insecticidas de amplio espectro puede favorecer la conservación de organismos benéficos, disminuir la contaminación del suelo y cuerpos de agua, y

mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad funcional, aspectos clave para la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Desde una perspectiva social y de salud pública, el uso de alternativas más selectivas y de menor toxicidad contribuye a disminuir los riesgos asociados a la exposición de los aplicadores y consumidores a residuos químicos, lo cual es particularmente importante en regiones agrícolas con alta intensidad de aplicaciones fitosanitarias.

Finalmente, en el ámbito productivo y económico, los resultados de este estudio podrán servir como base para la toma de decisiones por parte de productores, técnicos y asesores agrícolas, al proporcionar opciones de control eficientes y sostenibles que permitan reducir pérdidas económicas, optimizar costos de producción y mejorar la rentabilidad de los cultivos. En conjunto, la investigación se perfila como un aporte relevante para el desarrollo de estrategias de manejo de plagas más eficientes, seguras y acordes con las necesidades actuales de la agricultura en el municipio de Guasave, Sinaloa.

IV. HIPÓTESIS

Las dosis más bajas de producto AKAMBA son efectivas para el control de lepidópteras en campo y en laboratorio.

V. OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar la eficacia de diferentes dosis de un bioinsecticida en el control de larvas de *Spodoptera frugiperda* mediante ensayos de laboratorio y de campo abierto, considerando su efecto en distintos tiempos de evaluación.

5.2 Específicos.

1. Cuantificar la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* tratadas con diferentes dosis de un bioinsecticida en hojas de maíz bajo condiciones controladas de laboratorio.
2. Comparar la respuesta de *Spodoptera frugiperda* a diferentes dosis del bioinsecticida en condiciones de campo abierto en flor cresta de gallo, para determinar su eficacia bajo condiciones reales de producción.
3. Analizar estadísticamente los datos de mortalidad de *Spodoptera frugiperda* obtenidos en los ensayos de laboratorio y campo abierto, mediante un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias, para identificar diferencias significativas entre tratamientos y tiempos de evaluación.

VI. MARCO TEÓRICO

6.1 Contexto agroclimático y productivo de la región

El municipio de Guasave, situado al norte de Sinaloa, presenta un clima seco muy cálido con una temperatura media anual de aproximadamente 25°C. Las temperaturas suelen variar entre 12°C y 37°C durante el año, superando raramente los 39°C. La temporada de lluvias es cálida y húmeda (principalmente en verano), mientras que el resto del año es caluroso y mayormente despejado (WeatherSpark.2025).

Principales cultivos de importancia económica en el municipio de Guasave es el cultivo de maíz el cual, es el más extenso y destacado en el municipio, ocupando la mayor parte de la superficie agrícola. Guasave es uno de los principales productores de maíz en el estado de Sinaloa y también a nivel nacional. Otro cultivo es el frijol, con hectáreas significativas sembradas y valor económico importante dentro del sector agrícola; también sorgo, este se cultiva en una parte importante de las tierras agrícolas, destinado tanto a alimentación animal como a procesamiento; y por último el cultivo de garbanzo también figura entre los principales productos sembrados en Guasave (Plan Municipal de Desarrollo, 2024).

Además de granos básicos, la agricultura de Guasave incluye diversos cultivos hortofrutícolas que aportan valor económico como tomate, chile, papa, tomatillo, calabaza y pepino. Estos productos se cultivan gracias al riego y su demanda tanto en mercados nacionales como en procesamiento industrial (CODESIN, 2023).

6.2 Problemática fitosanitaria asociada a la producción agrícola regional

6.2.1 Cultivos susceptibles a lepidópteros en Guasave, Sinaloa

Los principales cultivos establecidos en Guasave, tales como maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), garbanzo (*Cicer arietinum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annum*), presentan alta susceptibilidad al ataque de insectos del orden Lepidoptera, particularmente durante sus etapas vegetativas y reproductivas (INIFAP, 2018). Esta susceptibilidad está asociada a factores como el origen exótico o mejoramiento genético intensivo, la baja diversidad genética y el uso excesivo de monocultivos.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en el municipio de Guasave, Sinaloa, tanto por su superficie sembrada como por su impacto económico y social. La región cuenta con condiciones agroclimáticas favorables para su producción, principalmente durante los ciclos otoño-invierno y primavera-verano (INIFAP, 2018). Sin embargo, el rendimiento del cultivo se ve limitado por la incidencia de plagas insectiles, entre las cuales se destaca el gusano cogollero, y es una de las plagas más destructivas del maíz a nivel mundial. Pertenece al orden Lepidoptera y a la familia Noctuidae. Sus larvas se alimentan del follaje y del cogollo de la planta, causando daños severos que pueden reducir el rendimiento hasta en un 60 % en infestaciones severas (Sparks, 1979).

La susceptibilidad del maíz al gusano cogollero está relacionada con factores genéticos, fenológicos y de manejo agronómico. El uso de híbridos de alto rendimiento

y la práctica del monocultivo continuo han contribuido a incrementar la incidencia de esta plaga (Altieri & Nicholls, 2004). Asimismo, la reducción de enemigos naturales por el uso excesivo de insecticidas de amplio espectro ha favorecido brotes poblacionales altos (Pedigo & Rice, 2009).

La flor cresta de gallo (*Celosia argentea* var. *cristata*) es una planta anual ornamental de la familia Amaranthaceae apreciada por sus inflorescencias vistosas y uso en jardinería y arreglos florales. Aunque en jardinería se reporta que este cultivo no suele presentar plagas, sin embargo, algunas especies de lepidópteros pueden alimentarse del follaje junto con otros insectos como áfidos y ácaros, entre otros insectos plaga. Aunque, *Celosia* no es un cultivo agrícola mayor como maíz o frijol, bajo ambientes agrícolas con presencia de plagas generalistas puede verse afectado, especialmente si hay cultivos hospederos cercanos o alta presión de plagas en Guasave.

6.3 Plagas lepidópteras de importancia agrícola

Los lepidópteros representan uno de los grupos de insectos plaga más dañinos en la agricultura a nivel mundial. Sus larvas ocasionan daños directos al follaje, tallos, flores y frutos, reduciendo significativamente el rendimiento y la calidad de los cultivos (Pedigo & Rice, 2009).

Entre las principales especies reportadas en el noroeste de México destacan: *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero), *Helicoverpa zea*, *Heliothis virescens* y *Plutella xylostella*. Siendo las primeras dos especies la principal afectación en la región.

6.4 *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero)

El gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) es una especie de lepidóptero perteneciente a la familia *Noctuidae*, considerada una de las plagas agrícolas más importantes en América. La fase larval es la etapa más dañina, ya que se alimenta del follaje, tallos y estructuras reproductivas del maíz, provocando perforaciones en las hojas y daños en el cogollo que pueden reducir significativamente el rendimiento del cultivo. Se caracteriza por presentar una marca en forma de “Y” invertida en la cabeza y cuatro puntos oscuros dispuestos en forma cuadrada en el último segmento abdominal (Capinera, 2001).

6.4.1 Daños e importancia.

Es una plaga polífaga que causa severas pérdidas si no se controla oportunamente. De acuerdo al comportamiento a campo y su importancia se encuentra en el grupo de las plagas constantes que pueden causar daños económicos anualmente porque está presente durante todo el ciclo de los cultivos. Las numerosas pérdidas causadas por *Spodoptera frugiperda* se deben a su poder de adaptación a diferentes condiciones lo cual ha permitido que su distribución geográfica sea amplia (Pogue, 2002). En regiones tropicales y subtropicales los daños regularmente son superiores a 60% (Andrews, 1988; Willink et al., 1993).

Su aumento poblacional comenzó a repercutir también en soja, aunque la oleaginosa es de menor preferencia de la plaga comparada con su marcada avidez por cultivos generalmente de gramíneas y sobre todo en lotes con pastos. En referencia al cultivo

de maíz los ataques más severos se presentan durante la fase vegetativa inicial del desarrollo de las plantas, 30 días después de la siembra, pueden llegar a ocasionar pérdidas en el rendimiento de un 30 a un 64 %, por esto demanda de 3 a 4 aplicaciones químicas para su control, incrementando así los costos de producción (Dively et al. 2023).

El gusano cogollero selecciona hojas y brotes tiernos, especialmente de los cogollos para alimentarse, convirtiéndose en un masticador del tejido vegetal. En estado de plántulas puede causar la defoliación completa y además dañar el meristemo apical en desarrollo (Buntin, 1986). Brown y Mohamed (1972) mencionan que causa disminución de rendimiento en grano por la defoliación condicionada a la cantidad de área foliar destruida y la etapa de desarrollo del cultivo (Lauer, 2009). El mayor impacto de la plaga sucede cuando la defoliación se presenta en etapas vegetativas avanzadas y en las etapas reproductivas (Thomison y Nafziger, 2003).

El nivel de daño se cuantifica según el nivel de infestación y el estado fenológico del cultivo, en donde se oscila en un 10 y 50 % de plantas infestadas (Andrews, 1988, 1989, King y Saunders, 1984). Además, se ha establecido una escala de daños en tres grados en donde el Grado 1, sólo rompen la epidermis de las hojas sin perforarlas, dejando manchas translúcidas conocidas como “ventanitas”, Grado 2, la defoliación de hojas es moderada y se comienza a observar presencia de excrementos, y el Grado 3, los daños en el cogollo son intensos y comprometen a la planta; se observan larvas grandes y gran cantidad de excrementos. Consumen la lámina foliar produciendo perforaciones irregulares, y se dirigen hacia el cogollo, para alimentarse y protegerse.

6.4.2 Morfología y ciclo biológico.

Huevo: Los huevos son esféricos, de color blanco a amarillo verdoso al inicio, y posteriormente gris al aproximarse la eclosión. Se depositan en masas recubiertas de escamas de la hembra sobre la superficie de hojas jóvenes. Cada masa puede contener entre 100 y 300 huevos (Agrosavia, 2025).

Larva: La larva es el estadio más destructivo. Posee un cuerpo cilíndrico segmentado con tonos que varían de verde a marrón, con líneas longitudinales claras y manchas características en la cabeza y los segmentos dorsales. Pasan por 6 a 7 instares larvales, incrementando su tamaño de 1–2 mm al primer instar hasta 30–40 mm en el último instar (Capinera, 2001).

Pupa: La pupa es de color marrón oscuro, cilíndrica, y se desarrolla generalmente en el suelo a una profundidad de 2–5 cm. Este estadio dura entre 7 y 14 días dependiendo de la temperatura y humedad.

Adulto: La mariposa adulta tiene una envergadura de 32–40 mm. Los machos presentan a las anteriores oscuras con marcas claras y alas posteriores grisáceas con tonos más claros en el borde; la hembra es ligeramente más grande y con coloración similar. Los adultos son nocturnos y pueden migrar largas distancias en busca de nuevos cultivos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2024).

El ciclo completo de *S. frugiperda* depende de factores ambientales como temperatura, humedad y disponibilidad de alimento (Figura 1).



Figura 1. Ciclo biológico del gusano cogollero

Huevo: 2–5 días hasta la eclosión.

Larva: 14–30 días, dependiendo del instar y las condiciones ambientales. Durante este tiempo se alimentan intensamente de hojas y tallos jóvenes, causando el mayor daño a los cultivos.

Pupa: 7–14 días, en el suelo. Durante esta fase ocurre la metamorfosis hacia el adulto.

Adulto: 10–21 días de vida, período en el que se reproducen y depositan huevos, completando así el ciclo (Montezano et al., 2018)

En condiciones óptimas, el ciclo completo puede durar de 30 a 45 días, lo que permite que varias generaciones se desarrollen en una sola temporada agrícola, aumentando el potencial de daño y la necesidad de estrategias de control efectivas.

6.4.3 Condiciones climáticas favorables

Spodoptera frugiperda es una plaga altamente adaptable que se desarrolla de manera óptima bajo ciertas condiciones climáticas, lo que explica su rápida expansión y capacidad de afectar múltiples cultivos en diversas regiones. La temperatura es uno de los factores más determinantes; estudios indican que el rango óptimo de desarrollo se encuentra entre 25 y 30 °C, donde el ciclo biológico completo puede completarse en aproximadamente 30–45 días (Montezano et al., 2018; Early et al., 2018). Temperaturas inferiores a 15 °C ralentizan el crecimiento larval y pupal, mientras que temperaturas superiores a 35 °C pueden aumentar la mortalidad de larvas jóvenes.

La humedad relativa también influye en la supervivencia de huevos y larvas. Valores moderados a altos, entre 60% y 80%, favorecen la eclosión de los huevos y reducen el riesgo de desecación de las larvas, mientras que períodos prolongados de sequía disminuyen la densidad poblacional (Cruz et al., 2019). La precipitación tiene un efecto mixto: lluvias ligeras no afectan significativamente a la plaga, pero lluvias intensas pueden lavar los huevos y larvas de la superficie de las hojas, reduciendo la infestación local.

La plaga muestra además un patrón migratorio influenciado por el clima, pudiendo desplazarse grandes distancias en busca de condiciones favorables y cultivos

disponibles. Por ello, regiones tropicales y subtropicales con temperaturas cálidas, humedad moderada y disponibilidad continua de hospederos son especialmente propicias para su proliferación (Early et al., 2018). Estas condiciones climáticas explican la alta incidencia de *S. frugiperda* en zonas de América, África y Asia, así como su rápida dispersión a nuevas áreas donde se cumplen los parámetros ambientales adecuados.

6.5 Mecanismo de daño.

Spodoptera frugiperda causa daños directos e indirectos en los cultivos mediante su alimentación y conducta biológica. El daño directo se produce principalmente en su etapa larval, cuando las larvas jóvenes y maduras se alimentan vorazmente de hojas, tallos, cogollos y mazorcas, causando defoliación, reducción de área foliar fotosintética y destrucción de tejidos reproductivos (Capinera, 2001; Montezano et al., 2018). Las larvas de primer instar tienden a alimentarse de la epidermis foliar, mientras que las de instares posteriores consumen gran parte de la lámina foliar, provocando perforaciones irregulares y reducción significativa del área fotosintética. En cultivos de maíz, se observa frecuentemente el ataque al cogollo y a las hojas jóvenes, lo que afecta el crecimiento y desarrollo de la planta y puede reducir el rendimiento hasta en un 50–70% en infestaciones severas (Early et al., 2018).

El daño indirecto se relaciona con la entrada de patógenos oportunistas en los tejidos dañados por la alimentación larval, como hongos y bacterias, que pueden acelerar la descomposición de hojas y mazorcas, afectando aún más la productividad y calidad de la cosecha (Cruz et al., 2019) Además, el estrés causado por el daño foliar puede

inducir respuestas fisiológicas en la planta, como reducción de la fotosíntesis, menor acumulación de carbohidratos y debilitamiento general, lo que incrementa la susceptibilidad a otras plagas y enfermedades.

El mecanismo de daño de *S. frugiperda* se basa en la alimentación directa de las larvas sobre tejidos críticos del cultivo y la facilitación de daños secundarios por patógenos, generando pérdidas económicas significativas en cultivos de importancia agrícola como maíz, sorgo, arroz y algodón. La combinación de daño directo e indirecto hace que esta plaga sea especialmente destructiva y que su manejo requiera estrategias integradas y oportunas.

6.6 Manejo Integrado de Plagas (MIP) en sistemas agrícolas.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) propone el uso combinado de prácticas culturales, control biológico y control químico selectivo para mantener las poblaciones de *S. frugiperda* por debajo del umbral económico de daño (Kogan, 1998). Dentro de este enfoque, los bioinsecticidas y los insecticidas selectivos representan una alternativa sustentable frente a los productos convencionales.

La integración de métodos de control en la agricultura, conocida como Manejo Integrado de Plagas (MIP), es fundamental para lograr un control eficiente, sostenible y seguro de insectos plaga. Esta estrategia combina herramientas químicas, biológicas, culturales y físicas, aprovechando las fortalezas de cada una para maximizar la eficacia y minimizar impactos negativos sobre el ambiente y los organismos benéficos (FAO, 2018). Por ejemplo, la combinación de bioinsecticidas

como *Bacillus thuringiensis* (Bt) con insecticidas químicos selectivos como el benzoato de emamectina permite atacar plagas en diferentes etapas de desarrollo y con distintos mecanismos de acción, reduciendo la probabilidad de resistencia y aumentando la mortalidad de larvas de plagas como *Spodoptera frugiperda* (Bravo, Likitvivatanavong, Gill & Soberón, 2011; Sparks & Nauen, 2015).

La integración de métodos también promueve la sostenibilidad agrícola, al disminuir la dependencia de químicos de amplio espectro que pueden afectar organismos no objetivo, contaminar suelos y fuentes de agua, y generar residuos en los cultivos. Por ejemplo, el uso de Bt protege específicamente insectos plaga, mientras que la aplicación de dosis controladas de benzoato de emamectina en combinación con bioinsecticidas permite mantener la productividad sin comprometer la biodiversidad (Vilas-Boas, De Sousa & Araújo, 2020). Además, esta estrategia facilita la rotación de plaguicidas y métodos biológicos, lo que es crucial para prevenir la aparición de resistencia en poblaciones de insectos, un problema creciente en cultivos extensivos como maíz y algodón (Tabashnik, Brevault & Carrière, 2013).

La integración de métodos de control permite aprovechar los beneficios de cada herramienta, reducir costos y riesgos ambientales, aumentar la eficacia del control de plagas y fomentar prácticas agrícolas sostenibles, constituyendo un pilar del manejo moderno de plagas.

6.7. Estrategias de control de *Spodoptera frugiperda*.

6.7.1. Control químico

El control químico sigue siendo una herramienta importante, pero debe emplearse racionalmente. Diversos estudios indican que *S. frugiperda* ha desarrollado resistencia a múltiples grupos de insecticidas, como organofosforados, carbamatos y piretroides, debido a su uso intensivo (Yu, 1991; Sparks, 2013). Por ello, se recomienda el uso de insecticidas selectivos como clorantraniliprol, espinetoram, indoxacarb y emamectina benzoato, aplicados contra larvas en estadios tempranos (IRAC, 2022). La rotación de modos de acción es esencial para retrasar la evolución de resistencia y preservar la eficacia de los productos (Sparks & Nauen, 2015).

6.7.2. Control biológico

El control biológico se basa en el uso de enemigos naturales para regular las poblaciones de *S. frugiperda*. Entre los parasitoides de huevos, *Trichogramma* spp. y *Telenomus remus* destacan por su alta eficiencia en la reducción de la eclosión larval, siendo ampliamente utilizados en programas de control biológico inundativo (Beserra et al., 2002). En cuanto a parasitoides larvales, especies como *Cotesia marginiventris* contribuyen significativamente a la mortalidad natural (Molina-Ochoa et al., 2003).

El uso de entomopatógenos constituye una herramienta clave, *Bacillus thuringiensis* actúa por ingestión y es eficaz contra larvas jóvenes (Bravo et al., 2011). Hongos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* infectan por contacto y son efectivos bajo

condiciones de alta humedad (Faria & Wraight, 2007). Los nucleopoliedrovirus (NPV) específicos causan epizootias naturales en poblaciones de la plaga (Moscardi, 1999).

6.7.3 Control cultural

El control cultural incluye prácticas agronómicas que modifican el agroecosistema para hacerlo menos favorable al desarrollo de la plaga. La rotación de cultivos con especies no hospederas interrumpe el ciclo biológico de *S. frugiperda* y reduce la supervivencia de larvas y pupas en el suelo (Altieri, 1994). Asimismo, la siembra sincronizada y el uso de fechas de siembra tempranas disminuyen la coincidencia del cultivo con los picos poblacionales del insecto (Hruska & Gould, 1997). La eliminación de residuos de cosecha y malezas hospederas reduce sitios de refugio y oviposición (Capinera, 2001). Por otro lado, el manejo equilibrado de la fertilización, especialmente del nitrógeno, es fundamental, ya que altas concentraciones favorecen el crecimiento vegetativo y aumentan la preferencia de oviposición y el desarrollo larval (Pitre & Hogg, 1983).

6.8. Agricultura sustentable e innovación agrícola

La agricultura sustentable se define como un sistema de producción que satisface las necesidades alimentarias actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, integrando aspectos económicos, sociales y ambientales (FAO, 2018). Dentro de este enfoque, la innovación agrícola se orienta al desarrollo y evaluación de tecnologías que permitan reducir el impacto ambiental, optimizar el uso de insumos y mantener la productividad de los cultivos (Pretty, 2008).

El uso racional de insecticidas selectivos y bioinsecticidas constituye una de las principales innovaciones dentro del manejo fitosanitario sustentable, especialmente en regiones de agricultura intensiva como Guasave, Sinaloa.

El control de plagas agrícolas ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas debido a los problemas asociados al uso intensivo de insecticidas convencionales, tales como el desarrollo de resistencia, la contaminación ambiental y el impacto negativo sobre organismos no objetivo. En este contexto, los insecticidas de nueva generación y las alternativas de control han cobrado relevancia al enfocarse en mecanismos de acción más específicos, mayor eficacia a bajas dosis y menor persistencia ambiental. Los insecticidas selectivos y de bajo impacto ambiental, como aquellos que actúan sobre blancos fisiológicos específicos de los insectos, permiten un control más eficiente de las plagas con una reducción del riesgo para enemigos naturales, polinizadores y la salud humana (TecnoAgro, 2023).

Paralelamente, los bioinsecticidas, formulados a partir de microorganismos entomopatógenos, metabolitos naturales o extractos vegetales, se han consolidado como una herramienta fundamental dentro de la agricultura sostenible debido a su alta selectividad, biodegradabilidad y compatibilidad con programas de Manejo Integrado de Plagas. Las tendencias actuales en el control de plagas agrícolas apuntan a la integración de estas tecnologías con prácticas culturales, monitoreo y biotecnología, promoviendo sistemas productivos más sostenibles, resilientes y ambientalmente responsables (FAO, 2018; Faria & Wraight, 2007; Bravo et al., 2011; Sparks & Nauen, 2015).

6.9 Benzoato de emamectina

6.9.1. Características químicas

El químico benzoato de emamectina es un compuesto sintético utilizado para controlar orugas y lepidópteros; es un insecticida de origen biológico (derivado de la abamectina) perteneciente al grupo de las avermectinas, caracterizado por ser una mezcla de sales (90% B1a y 10% B1b) su fórmula química es $C_{49}H_{75}NO_{13} \cdot C_7H_6O_2$.

El benzoato de emamectina es un insecticida semisintético perteneciente al grupo de las avermectinas, el cual se obtiene por modificación química de la abamectina, un metabolito producido por la bacteria *Streptomyces avermitilis*. Químicamente, es una mezcla de dos homólogos principales (B1a y B1b), siendo el componente B1a el predominante y responsable de la mayor parte de la actividad biológica. Se presenta como un sólido cristalino de color blanco a ligeramente amarillento. El benzoato de emamectina es poco soluble en agua, pero presenta buena solubilidad en solventes orgánicos como acetona, metanol y cloroformo, lo que facilita su formulación en productos comerciales.

Desde el punto de vista químico, se caracteriza por poseer una estructura macrocíclica lactónica, con múltiples grupos funcionales, como enlaces éster, grupos hidroxilo y dobles enlaces conjugados, que le confieren alta actividad insecticida a bajas concentraciones. Es una molécula relativamente estable en condiciones ácidas, pero susceptible a la fotodegradación, razón por la cual su persistencia en el ambiente es limitada, lo que contribuye a un menor impacto ambiental. El benzoato de emamectina

presenta baja presión de vapor, lo que reduce el riesgo de volatilización, y una alta afinidad por los tejidos vegetales, permitiendo su acción translaminar. Estas características químicas, junto con su elevada potencia biológica, explican su eficacia contra insectos lepidópteros, incluso en dosis muy bajas (Lasota & Dybas, 1991).

6.9.2. Modo de acción

El benzoato de emamectina es un insecticida derivado de las avermectinas con alta efectividad contra larvas de lepidópteros. Su modo de acción consiste en la activación de canales de cloro regulados por glutamato, lo que provoca parálisis irreversible y muerte del insecto (Irac, 2021). Este insecticida se caracteriza por su acción translaminar, baja dosis de aplicación y relativa selectividad hacia organismos no objetivo (Sparks et al., 2013). Cuya acción se centra en el sistema nervioso y muscular de los insectos. Su mecanismo se puede desglosar en los siguientes puntos:

- Interacción con canales de cloro dependientes de glutamato (GluCl): la molécula se une específicamente a los canales de cloro regulados por glutamato que se encuentran en la membrana postsináptica de neuronas y células musculares de insectos y nematodos. La unión mantiene estos canales abiertos de manera prolongada, provocando un flujo masivo de iones cloruro (Cl^-) hacia el interior de la célula.
- Hiperpolarización neuronal y muscular: la entrada continua de Cl^- hiperpolariza la membrana, es decir, hace que el potencial de membrana sea más negativo, lo que inhibe la generación de potenciales de acción. Como resultado, las neuronas

no pueden transmitir impulsos eléctricos, y las fibras musculares no reciben señales para contraerse.

- Parálisis flácida de los músculos y bloqueo de la alimentación: la hiperpolarización causa parálisis flácida, caracterizada por pérdida de motilidad en el insecto. La plaga deja de alimentarse inmediatamente, lo que reduce el daño a los cultivos. Finalmente, la parálisis provoca muerte por inanición y colapso del sistema nervioso.
- Selectividad y baja toxicidad en vertebrados: los vertebrados carecen de canales GluCl dependientes de glutamato, y la barrera hematoencefálica impide que la emamectina alcance el sistema nervioso central, lo que explica su baja toxicidad para mamíferos, aves y peces.
- Acción translaminar y sistémica parcial: el benzoato de emamectina se absorbe parcialmente por las hojas y tejidos vegetales, permitiendo que plagas que consumen tejido foliar o cogollos sean afectadas, aunque no entren en contacto directo con la aplicación. Esto incrementa la eficacia del control contra insectos crípticos como *Spodoptera frugiperda*.
- Efecto rápido a bajas dosis: es altamente activo en dosis muy bajas (por ejemplo, 5–10 g/ha), debido a su afinidad con los canales GluCl y su potente efecto neurotóxico específico.

6.9.3. Dosis, forma de aplicación y persistencia

El benzoato de emamectina se aplica generalmente en dosis bajas debido a su alta potencia insecticida: muchas formulaciones indican un rango de 5–10 g de ingrediente

activo por hectárea para control de larvas de lepidópteros y otras plagas en cultivos como hortalizas, algodón, arroz y ornamentales, variando según el cultivo y la formulación específica (5 % WDG o CE). En formulaciones específicas para maíz y otros cultivos vegetales, se recomienda de 200 – 300 g/ha en aplicaciones foliares, con dos aplicaciones espaciadas por 7 10 días cuando se detectan larvas tempranas.

La principal forma de aplicación del benzoato de emamectina es mediante pulverización foliar, utilizando equipos terrestres manuales o motorizados para lograr una cobertura uniforme del follaje e incrementar la ingestión por la plaga (acción traslaminar). (Lasota & Dybas, 1991; Sparks et al., 2013).

La aplicación se realiza generalmente diluida en agua, con el volumen de caldo adecuado de acuerdo a la densidad del cultivo y el desarrollo vegetativo, aplicándose preferentemente cuando las larvas están en estadios tempranos para maximizar la eficacia. (IRAC, 2021).

En cuanto a la persistencia, el benzoato de emamectina muestra una persistencia ambiental relativamente corta debido a su degradación rápida por fotólisis (luz solar) y actividad microbiana tanto en agua como en suelos, lo que limita su presencia residual fuera del tejido vegetal tratado. (Lasota & Dybas, 1991; EFSA, 2012).

En estudios de residuos en cultivo de okra, los depósitos disminuyeron por debajo de los límites de cuantificación en aproximadamente 5 días, y no se detectaron residuos significativos en el suelo después de 15 días, lo que indica una vida media corta en condiciones de campo. (Choudhary et al., 2012).

Otros reportes señalan que en arroz inundado la emamectina se degrada en 1–5 días debido a la fotólisis y la actividad de microorganismos, mostrando baja persistencia en el ambiente y menor riesgo de lixiviación o acumulación prolongada. (Kwon et al., 2010)

6.9.4. Impacto sobre organismos benéficos y medio ambiente

El benzoato de emamectina es considerado un insecticida de bajo impacto ambiental y selectivo, pero su uso debe manejarse cuidadosamente debido a posibles efectos sobre organismos no objetivo. Su selectividad se basa en su modo de acción, que afecta principalmente a los canales de cloro regulados por glutamato (GluCl), presentes en insectos y algunos nematodos, pero ausentes o poco sensibles en vertebrados, aves y mamíferos, lo que reduce significativamente la toxicidad para estos organismos (Bravo, Likitvivatanavong, Gill & Soberón, 2011).

En cuanto a organismos benéficos, como abejas, mariquitas, crisopas y avispas parasitoides, los estudios muestran que la toxicidad es moderada a baja si se respeta la ventana de aplicación y se evita la aplicación durante la floración o sobre insectos activos (Faria & Wraight, 2007). Sin embargo, la exposición directa puede causar mortalidad en estos insectos debido a contacto o ingestión de residuos frescos. Por esta razón, se recomienda aplicar el producto en horas de baja actividad de polinizadores y preferentemente en estadios tempranos de la plaga.

El impacto ambiental en suelos y agua es generalmente limitado. El benzoato de emamectina es poco soluble en agua y altamente fotodegradable, lo que reduce su lixiviación hacia fuentes hídricas y su acumulación en suelos (Sparks & Nauen, 2015).

Además, su vida media en hojas y tejidos vegetales es corta, con residuos que generalmente desaparecen en 7–14 días, lo que disminuye la exposición prolongada de organismos no objetivo (FAO, 2018). Sin embargo, se han reportado efectos adversos sobre organismos acuáticos muy sensibles, como crustáceos y peces, si hay contacto directo con soluciones concentradas, por lo que se recomienda evitar aplicaciones cerca de cuerpos de agua abiertos.

El benzoato de emamectina combina alta eficacia contra plagas con un perfil de seguridad relativamente alto para vertebrados y organismos benéficos, pero requiere prácticas de manejo integrado, como aplicación dirigida, respeto de intervalos y manejo de dosis, para minimizar riesgos ecológicos.

6.10. *Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis (Bt) es una bacteria entomopatógena ampliamente utilizada en el control de lepidópteros. Produce proteínas cristalinas (toxinas Cry) que, al ser ingeridas por las larvas, ocasionan la destrucción del epitelio intestinal y la muerte del insecto (Bravo et al., 2011).

Diversos estudios han demostrado la eficacia de Bt contra larvas de S. frugiperda, especialmente en estadios tempranos, además de su bajo impacto ambiental y alta especificidad (Schnepf et al., 1998; van Frankenhuyzen, 2009).

6.10.1. Clasificación y características generales

Bacillus thuringiensis (Bt) es una bacteria Gram positiva del género *Bacillus*, perteneciente a la familia Bacillaceae, ampliamente distribuida en suelos, vegetación y material orgánico en descomposición (Bravo, Likitvivatanavong, Gill & Soberón, 2011). Es un bacilo móvil mediante flagelos, capaz de formar esporas ovals resistentes a condiciones ambientales adversas, y durante la esporulación produce cristales proteicos parasporales conocidos como toxinas Cry y Cyt, responsables de su acción insecticida (Schnepf et al., 1998). Bt es un organismo aerobio facultativo que puede crecer en un amplio rango de temperaturas (10–40 °C) y pH (6–8), y su metabolismo saprófito le permite degradar materia orgánica mediante enzimas hidrolíticas como proteasas, lipasas y amilasas (Vilas-Boas et al., 2020).

6.10.2. Mecanismo de acción, especificidad y selectividad en lepidópteros

Las toxinas Cry y Cyt de *Bacillus thuringiensis* actúan cuando son ingeridas por larvas de lepidópteros. En el intestino alcalino se activan, se unen a receptores específicos del epitelio intestinal y forman poros en la membrana, causando parálisis y muerte. Su alta selectividad se debe a que solo insectos con las condiciones y receptores adecuados (como los lepidópteros) son susceptibles, reduciendo el impacto en organismos no objetivo (Bravo et al., 2011; Schnepf et al., 1998). Genéticamente, Bt posee una gran diversidad de cepas debido a la presencia de múltiples genes Cry y Cyt localizados en plásmidos y cromosomas, lo que permite diseñar bioinsecticidas específicos y desarrollar cultivos transgénicos Bt que expresan estas toxinas para controlar plagas de manera eficiente (Vilas-Boas et al., 2020). Su alta especificidad

hacia insectos plaga y baja toxicidad para humanos, vertebrados, aves y polinizadores hacen de Bt un componente esencial de la agricultura sostenible y del Manejo Integrado de Plagas (MIP), reduciendo el impacto ambiental asociado al uso de insecticidas químicos (Bravo et al., 2011; Schnepf et al., 1998).

La eficacia de *Bacillus thuringiensis* como bioinsecticida depende de diversos factores ambientales, biológicos y de aplicación. Entre los principales se encuentran la densidad poblacional y el estadio larval del insecto, ya que larvas jóvenes son generalmente más susceptibles a las toxinas Cry y Cyt que larvas avanzadas (Bravo, Likitvivatanavong, Gill & Soberón, 2011). Las condiciones ambientales también son determinantes: la exposición directa a luz solar intensa degrada rápidamente los cristales proteicos, reduciendo su persistencia; temperaturas extremas y lluvia pueden disminuir la concentración activa sobre las hojas (Schnepf et al., 1998). La formulación del producto, incluyendo polvos mojables, gránulos o líquidos, influye en la adhesión y liberación de las toxinas, así como la cobertura foliar durante la aplicación (Vilas-Boas, De Sousa & Araújo, 2020). Además, la alimentación del insecto y la densidad de plaga afectan la ingestión suficiente de cristales para causar mortalidad, mientras que la diversidad genética de la cepa de Bt determina el espectro de acción frente a distintas especies de insectos.

6.10.3 Ventajas y limitaciones en campo

Entre las principales ventajas de Bt se destacan su alta especificidad hacia insectos plaga, lo que reduce riesgos para humanos, vertebrados, aves, abejas y otros insectos

beneficiosos (Bravo et al., 2011). Es un bioinsecticida natural y seguro, compatible con programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y con prácticas de agricultura ecológica y sostenible. Además, no deja residuos químicos persistentes, lo que permite cosechas seguras y minimiza impactos ambientales. Su versatilidad de aplicación en diversas formulaciones y la disponibilidad de cepas con genes Cry y Cyt específicos permiten controlar un amplio espectro de plagas en cultivos como maíz, algodón, tomate, papa y hortalizas (Vilas-Boas et al., 2020).

A pesar de sus ventajas, Bt presenta algunas limitaciones. Su eficacia es sensible a condiciones ambientales, como radiación UV, lluvia y altas temperaturas, que pueden degradar rápidamente las proteínas tóxicas y reducir la mortalidad de larvas (Schnepf et al., 1998). También requiere ingestión por parte del insecto, por lo que larvas que se alimentan de tejidos internos o protegidos pueden escapar al efecto del bioinsecticida. Otra limitación es su persistencia relativamente corta, lo que puede requerir aplicaciones repetidas en cultivos de ciclo largo. Además, la especificidad que representa una ventaja también implica que Bt no controla todas las plagas presentes en el campo, siendo necesario combinarlo con otras estrategias de manejo (Bravo et al., 2011; Vilas-Boas et al., 2020). Finalmente, la exposición continua a una sola cepa de Bt puede favorecer la selección de resistencia en poblaciones de insectos, lo que hace recomendable su uso rotativo con otros insecticidas o estrategias biológicas.

Bacillus thuringiensis (Bt) ha sido ampliamente estudiado y utilizado como bioinsecticida desde su descubrimiento en 1901, demostrando eficacia en el control de insectos lepidópteros, coleópteros y dípteros. Investigaciones realizadas en diferentes

regiones del mundo han documentado su capacidad para reducir poblaciones de plagas de importancia agrícola. Por ejemplo, Schnepf et al. (1998) realizaron una revisión exhaustiva sobre las propiedades biológicas y toxicológicas de las proteínas Cry y Cyt de Bt, destacando su acción específica y segura frente a insectos plaga y su compatibilidad con organismos benéficos. Bravo et al. (2011) reportaron que Bt ha sido empleado con éxito en programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) para cultivos como maíz, algodón y hortalizas, mostrando eficacia comparable a insecticidas químicos en etapas tempranas de infestación.

Estudios de campo realizados en Brasil y México han documentado que la aplicación de formulaciones comerciales de Bt reduce significativamente la incidencia de *Spodoptera frugiperda* y otras plagas de lepidópteros, disminuyendo daños foliares y mejorando el rendimiento de los cultivos (Vilas-Boas, De Sousa & Araújo, 2020). Además, experiencias con cultivos transgénicos Bt, como maíz y algodón, muestran que la expresión de genes Cry en las plantas proporciona protección continua contra plagas, reduciendo la necesidad de aplicaciones repetidas y el impacto ambiental asociado a insecticidas químicos (Tabashnik et al., 2013).

Sin embargo, las investigaciones también han señalado la importancia de rotación de cepas y combinación con otras estrategias, debido a la posibilidad de desarrollo de resistencia en poblaciones de insectos cuando se utiliza de forma continua una misma toxina Cry (Tabashnik et al., 2013; Bravo et al., 2011). En general, la experiencia acumulada indica que Bt es una herramienta eficaz, segura y compatible con prácticas

de agricultura sostenible, especialmente cuando se integra dentro de programas MIP que combinan control biológico, químico y cultural

6.10.4 Sinergia entre *Bacillus thuringiensis* y benzoato de emamectina

La combinación de bioinsecticidas con insecticidas selectivos puede generar un efecto sinérgico, incrementando la mortalidad de larvas y reduciendo la probabilidad de desarrollo de resistencia (Tabashnik et al., 2013). El uso conjunto de Bt y benzoato de emamectina representa una estrategia innovadora y sustentable para el manejo de *S. frugiperda* en maíz.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) combina estrategias químicas y biológicas para controlar insectos plaga de manera eficiente y sostenible. En este contexto, el benzoato de emamectina y *Bacillus thuringiensis* (Bt) representan dos herramientas complementarias. El benzoato de emamectina es un insecticida semisintético del grupo de las avermectinas, que actúa sobre los canales de cloro regulados por glutamato (GluCl) en las neuronas y músculos de insectos, provocando parálisis flácida y muerte de larvas de plagas como *Spodoptera frugiperda*, con dosis bajas (2–10 g/ha) y alta selectividad para organismos no objetivo (Bravo, Likitvivatanavong, Gill & Soberón, 2011; Sparks & Nauen, 2015). Por su parte, *B. thuringiensis* es una bacteria Gram positiva, formadora de esporas y productora de cristales proteicos parasporales (Cry y Cyt), que al ser ingeridos por insectos sensibles generan poros en las células epiteliales del intestino medio, causando deshidratación, parálisis intestinal y muerte

(Schnepf et al., 1998; Vilas-Boas, De Sousa & Araújo, 2020). La combinación de ambos permite ataques sinérgicos sobre plagas, mientras se minimiza el impacto ambiental y sobre organismos benéficos, ya que Bt es altamente específico para insectos plaga y el benzoato de emamectina tiene baja toxicidad para vertebrados, aves y polinizadores (Faria & Wraight, 2007; FAO, 2018). Además, la diversidad genética de Bt, con múltiples genes Cry y Cyt, permite orientar el control hacia especies específicas, mientras que la persistencia moderada del benzoato de emamectina en hojas y suelos asegura eficacia sin acumulación ambiental significativa (Bravo et al., 2011; Sparks & Nauen, 2015). Este enfoque integrado facilita reducción de plagas, aumento de rendimiento y sostenibilidad agrícola, evitando la dependencia exclusiva de químicos y promoviendo estrategias ecológicas de control.

6.11 Antecedentes de investigación

Diversas investigaciones han evaluado la eficacia de insecticidas biológicos y de nueva generación para el control de plagas lepidópteras, particularmente *Spodoptera frugiperda*, debido a su importancia económica y su capacidad de generar pérdidas severas en cultivos agrícolas. En bioensayos de laboratorio, se ha demostrado que el benzoato de emamectina presenta una alta toxicidad sobre larvas de *S. frugiperda*, mostrando una mayor potencia insecticida en comparación con formulaciones basadas en *Bacillus thuringiensis* (Bt). En este sentido, Elzawawy y El-Dewy (2023) reportaron que el benzoato de emamectina presentó valores de LC_{50} más bajos en comparación con Bt subsp. *kurstaki*, lo cual evidencia su eficacia a dosis muy reducidas y su rápida acción sobre larvas del cogollero.

Por otra parte, el uso de toxinas Bt continúa siendo una alternativa relevante debido a su selectividad y compatibilidad con estrategias de manejo integrado. Sin embargo, diversos estudios señalan que su desempeño puede variar dependiendo de factores como la formulación, la cepa utilizada y las condiciones de aplicación. Además, la susceptibilidad de las poblaciones naturales de *S. frugiperda* puede presentar variaciones regionales, lo cual influye en los resultados observados en campo. Zhang et al. (2023) evaluaron poblaciones invasoras de *S. frugiperda* y documentaron diferencias en la sensibilidad frente a toxinas Bt y a insecticidas como el benzoato de emamectina, aportando datos útiles para establecer líneas base de susceptibilidad y fortalecer estrategias de monitoreo de resistencia.

En relación con la aplicación combinada de herramientas biológicas y químicas, investigaciones recientes han explorado la interacción entre bioinsecticidas y productos selectivos como el benzoato de emamectina para mejorar la eficacia de control. En un estudio con enfoque fisiológico y de respuesta larval, se observó que la exposición a tratamientos con bioinsecticidas y benzoato de emamectina puede provocar efectos larvicidas importantes, además de alteraciones en el desarrollo y parámetros biológicos del insecto, lo cual resalta su potencial como alternativa para reducir la dependencia de insecticidas convencionales (Abd El-Aziz et al., 2023).

No obstante, aunque el benzoato de emamectina se considera una molécula eficaz y selectiva, también se ha documentado la aparición de resistencia en poblaciones de

campo bajo escenarios de uso continuo. En Brasil, se reportaron incrementos significativos en la tolerancia de *S. frugiperda* a este insecticida en poblaciones colectadas en distintos periodos, lo que sugiere que la presión de selección puede disminuir gradualmente su eficacia si no se implementan estrategias adecuadas de rotación de modos de acción y manejo integrado (Bassi et al., 2022). Este tipo de evidencia respalda la necesidad de evaluar alternativas sostenibles y combinar herramientas de control para prolongar la vida útil de insecticidas de nueva generación.

En el ámbito académico, diversas tesis han abordado el uso del benzoato de emamectina dentro de programas de manejo integrado de plagas. Rodríguez-Pérez (2011) analizó las bases técnicas para la utilización de este insecticida en cultivos bajo sistemas de MIP, destacando su potencial para el control de insectos plaga con menor impacto sobre organismos benéficos, siempre que se aplique con prácticas responsables. Asimismo, otras investigaciones en hortalizas han reportado resultados favorables con el uso de benzoato de emamectina para el control de insectos plaga, reforzando su utilidad en sistemas agrícolas donde se busca eficiencia y reducción del daño económico.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Área de estudio

El experimento se llevó a cabo dentro de las instalaciones del ITSG en Guasave, Sinaloa, en el campo experimental y en el laboratorio de parasitología. El estudio se llevó a cabo bajo condiciones de producción agrícola, durante el ciclo agrícola otoño-invierno.

El estudio se llevó a cabo en dos etapas; la primera etapa fue realizada a nivel laboratorio y la segunda etapa se llevó a cabo en campo abierto.

7.2 Etapa 1:

7.2.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques aleatorizados con 3 tratamientos y un tratamiento testigo, con tres repeticiones cada uno. Las unidades experimentales fueron larvas de gusano cogollero y el vehículo que contendrá el producto a evaluar fueron hojas de maíz, a las cuales se les aplicaron los tratamientos del bioinsecticida siguientes:

Tratamientos:

1. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (dosis 0.47ml)
2. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (dosis 0.23 ml)
3. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (0.11 ml)
4. Testigo absoluto (sin aplicación, solo agua)

7.2.2 Colecta de larvas y material vegetal.

Se llevó a cabo un monitoreo en un cultivo de maíz y se recolectaron larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) de segundo, tercer, cuarto y quinto instar para la evaluación de mortalidad. De igual manera, se recolectaron 12 hojas de plantas de maíz sin presencia de daños para la aplicación de las dosis de los tratamientos del producto de benzoato de emamectina con *Bacillus thuringiensis*.

7.2.3. Aplicación de tratamientos.

Las dosis del producto fueron preparadas conforme las recomendaciones del fabricante. Se prepararon 500 ml de cada tratamiento, y se agregaron 0.47 ml del producto para el tratamiento 1; 0.23 ml para el tratamiento 2; 0.11 ml para el tratamiento 3; y el tratamiento 4 consistió solamente en agua, siendo este el tratamiento testigo.

Posterior a ello, una por una, fueron sumergidas por 3 s las hojas de maíz en cada una de las concentraciones el producto, se dejaron secar a temperatura ambiente por aproximadamente 15 minutos y después fueron colocadas en charolas de plástico, posterior a ello, se colocaron 15 larvas de gusano cogollero cada hoja de maíz correspondiente a cada uno de los tratamientos de acuerdo (Cuadro 1).

Tratamiento	No. De larvas	Estadio larval
1	15	2do, 4to, y 5to
2	15	2do, 3ero y 4to
3	15	3ero, 4to y 5to
4	15	3ero, 4to y 5to

7.2.4. Variables evaluadas

Se evaluó el porcentaje de mortalidad de las larvas en cada uno de los tratamientos, la medición se llevó a cabo a las 24 h y 48 h, de haber aplicado las dosis. Para el porcentaje de mortalidad larval se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de mortalidad larval} = \frac{\text{número de larvas muertas}}{15} \times 100$$

7.3. Etapa 2:

En la segunda etapa se monitoreo un cultivo de flor cresta de gallo en el campo experimental del ITSG y se seleccionaron 20 plantas con gran infestación de larvas de gusano cogollero.

7.3.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques aleatorizados con 3 tratamientos y un tratamiento testigo, y los tratamientos se replicaron 5 veces, las unidades experimentales fueron larvas de gusano cogollero.

Tratamientos:

1. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (dosis 0.25 ml)
2. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (dosis 0.50 ml)
3. Bacillus thuringiensis + benzoato de emamectina (0.75 ml)
4. Testigo absoluto (sin aplicación, solo agua)

7.3.2. Aplicación de tratamientos

Las dosis del producto fueron preparadas conforme las recomendaciones del fabricante. Se prepararon 500 ml de agua destilada y se agregaron 0.25 ml del producto en el tratamiento 1; 0.50 ml en el tratamiento 2; 0.75 ml en el tratamiento 3; y el tratamiento 4 consistió solamente en agua, siendo este el tratamiento testigo. Las dosis fueron colocadas en atomizadores y se procedió a la aplicación. Se realizaron 5 disparos con la dosis correspondiente a cada planta en donde se encontraba la incidencia de la plaga.

Después de las aplicaciones se monitorearon las plantas tratadas a las 24 y 48 horas con la finalidad de medir la efectividad del producto.

7.3.3. Variables evaluadas

Antes de la aplicación de los tratamientos se realizó un conteo del número de larvas que contenía cada una de las plantas para tener el número de partida y poder estimar el porcentaje de mortalidad.

Se evaluó el porcentaje de mortalidad de las larvas en cada uno de los tratamientos, la medición se llevó a cabo a las 24 h y 48 h, de haber aplicado las dosis. Para el porcentaje de mortalidad larval se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de mortalidad larval} = \frac{\text{número de larvas muertas}}{\text{número de larvas inicial}} \times 100$$

7.3.4. Análisis estadístico

Los datos del porcentaje de mortalidad de ambas etapas 1 y 2, fueron analizados mediante un ANOVA y las diferencias fueron confirmadas mediante comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) en el software Minitab 18.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Resultados etapa 1.

En la Tabla 1 se presenta la mortalidad promedio de *Spodoptera frugiperda* evaluada a las 24 y 48 horas posteriores a la aplicación del bioinsecticida. A las 24 h, los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron altos porcentajes de mortalidad, destacando T2 con el valor más elevado (93.33%), seguido de T3 (86.66%) y T1 (73.33%). Estos resultados indican una respuesta rápida del insecto al bioinsecticida, particularmente en el tratamiento T2.

A las 48 h se observó una disminución en el número de larvas muertas registradas por tratamiento, siendo T1 el que presentó el mayor porcentaje adicional de mortalidad (26.66%), seguido de T3 (13.33%) y T2 (6.66%). Este comportamiento sugiere que el principal efecto del bioinsecticida ocurrió durante las primeras 24 h posteriores a la aplicación, mientras que el incremento de mortalidad entre 24 y 48 h fue menor.

En conjunto, los resultados evidencian que el tratamiento T2 presentó la mayor eficacia inicial contra *S. frugiperda*, lo que sugiere que esta dosis podría ser la más efectiva bajo las condiciones de laboratorio evaluadas.

Tabla 1. Mortalidad promedio en porcentaje de *Spodoptera frugiperda* a las 24 y 48 h.

Tratamiento	24 horas		48 horas	
	No. De larvas muertas	Mortalidad (%)	No. De larvas muertas	Mortalidad (%)
T0	0	0%	0	0%
T1	11	73.33%	4	26.66%
T2	14	93.33%	1	6.66%

T3	13	86.66%	2	13.33%
----	----	--------	---	--------

El análisis de varianza del diseño en bloques (Tabla 2) mostró que el factor tratamiento presentó un efecto estadísticamente significativo sobre la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* ($p=0.004$), lo que indica diferencias significativas entre las dosis del bioinsecticida evaluadas.

Asimismo, el tiempo de medición (bloque) influyó de manera altamente significativa en la respuesta biológica ($p=0.000$), evidenciando que la mortalidad larval varió significativamente entre los periodos de evaluación, lo cual confirma que el efecto del bioinsecticida depende del tiempo transcurrido después de la aplicación. El error experimental presentó un cuadrado medio de 0.9111, mientras que el análisis de falta de ajuste resultó significativo ($F = 19.43$; $p < 0.001$), lo que sugiere que parte de la variabilidad observada no fue completamente explicada por el modelo, posiblemente asociada a diferencias fisiológicas entre larvas o a variabilidad inherente del material biológico.

Tabla 2. Análisis de Varianza de la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* con tratamiento de bioinsecticida a diferentes dosis en hojas de maíz.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	15.333	5.1111	5.61	0.004
Tiempo de medición	2	110.222	55.1111	60.49	0.000
Error	30	27.333	0.9111		
Falta de ajuste	6	22.667	3.7778	19.43	0.000

Error puro	24	4.667	0.1944
Total	35	152.889	

La prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey (95% de confianza) evidenció diferencias significativas entre el tratamiento testigo (T0) y los tratamientos con bioinsecticida (Tabla 3). El testigo presentó la media más alta (4.56), agrupándose en la categoría A, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron medias significativamente menores (2.89, 3.22 y 3.11, respectivamente), ubicándose todos en el grupo B.

Estos resultados indican que las tres dosis del bioinsecticida redujeron significativamente la variable evaluada en comparación con el testigo; sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticas entre las dosis T1, T2 y T3, lo que sugiere una respuesta similar del gusano cogollero ante las concentraciones evaluadas bajo las condiciones del ensayo. En conjunto, la prueba de Tukey confirma la eficacia del bioinsecticida frente a *Spodoptera frugiperda*, aunque no se observó un efecto dosis–respuesta claramente diferenciada entre los tratamientos aplicados.

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) entre los tiempos de medición mostró diferencias significativas en la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* (Tabla 4), donde las evaluaciones iniciales y a las 24 h presentaron medias estadísticamente similares (5.00 y 4.33, respectivamente), agrupándose ambas en la categoría A, mientras que a las 48 h se registró una media significativamente menor (1.00), correspondiente al grupo B. Estos resultados indican que el mayor efecto del

bioinsecticida ocurrió durante las primeras 24 horas posteriores a la aplicación, con una disminución marcada de la respuesta larval a las 48 h.

Tabla 3. Comparaciones de medias de los tratamientos con el bioinsecticida contra *Spodoptera frugiperda* en hojas de maíz. Método de Tukey y una confianza de 95%.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T0	9	4.55556	A
T2	9	3.22222	B
T3	9	3.11111	B
T1	9	2.88889	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 4. Comparaciones de medias entre los tiempos de medición de la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* bajo tratamientos a diferentes dosis del bioinsecticida en hojas maíz. Método de Tukey y una confianza de 95%.

Tiempo de medición	N	Media	Agrupación
Inicial	12	5.00000	A
24 h	12	4.33333	A
48 h	12	1.00000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

8.2 Resultados etapa 2.

El análisis de varianza correspondiente al experimento realizado en flor cresta de gallo bajo condiciones de campo abierto en el Campo Experimental del ITSG (Tabla 5) evidenció un efecto significativo del tratamiento con bioinsecticida sobre la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* ($p = 0.006$), lo que confirma que las diferentes dosis aplicadas influyeron de manera estadísticamente significativa en la respuesta del insecto. En contraste, el tiempo de medición no mostró diferencias significativas ($p = 0.101$), lo que sugiere que, bajo las condiciones ambientales del ensayo, la mortalidad larval no varió de forma relevante entre los periodos de evaluación considerados.

Estos resultados señalan que el bioinsecticida ejerció un impacto consistente sobre *S. frugiperda* en condiciones reales de producción, independientemente del tiempo de evaluación, lo que respalda su potencial como alternativa de manejo para esta plaga en sistemas agrícolas a cielo abierto.

Tabla 5. Análisis de Varianza de la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* con tratamiento de bioinsecticida a diferentes dosis en flor cresta de gallo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	797.0	265.66	4.68	0.006
Tiempo de medición	2	272.1	136.07	2.40	0.101
Error	54	3067.1	56.80		
Falta de ajuste	6	100.7	16.78	0.27	0.948
Error puro	48	2966.4	61.80		
Total	59	4136.2			

Los resultados del análisis de varianza indicaron que las diferentes dosis del bioinsecticida aplicadas en flor cresta de gallo producida en campo abierto generaron un efecto significativo sobre la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda*, lo que justificó la aplicación de una prueba de comparación de medias. En la tabla 6 se muestra la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) la cual confirma estas diferencias estadísticas al mostrar que los tratamientos con bioinsecticida (T1, T2 y T3) presentaron medias de mortalidad significativamente mayores en comparación con el tratamiento testigo (T0), el cual se agrupó de forma independiente en la categoría B. En particular, el tratamiento T1 registró la media más alta, mientras que T2 y T3 mostraron valores intermedios que compartieron agrupación con T1 y/o T0, lo que sugiere una respuesta gradual del insecto a las dosis evaluadas. En conjunto, la comparación de medias respalda los resultados del ANOVA y confirma que la aplicación del bioinsecticida incrementó de manera significativa la mortalidad de *S. frugiperda* en condiciones de campo, evidenciando su efectividad como alternativa de manejo de esta plaga.

Tabla 6. Comparaciones de medias de tratamientos del bioinsecticida contra *Spodoptera frugiperda* a diferentes dosis en flor cresta de gallo. Método de Tukey y una confianza de 95%.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T1	15	15.6667	A	
T3	15	13.0000	A	B
T2	15	12.0667	A	B
T0	15	5.7333		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Tabla 7. Comparaciones de medias entre los tiempos de medición de la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* bajo tratamientos a diferentes dosis del bioinsecticida en flor cresta de gallo. Método de Tukey y una confianza de 95%.

Tiempo de medición	N	Media	Agrupación
Inicial	12	5.00000	A
24 h	12	4.33333	A
48 h	12	1.00000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En laboratorio, estudios confirman que emamectina benzoato suele ser más potente que Bt en términos de mortalidad directa y LC₅₀ baja (Elzawawy & El-Dewy, 2023). Los resultados reportados en estudios de laboratorio indican que la emamectina benzoato presenta mayor potencia insecticida que *Bacillus thuringiensis* (Bt), reflejada en una mortalidad más rápida y valores de LC₅₀ más bajos (Elzawawy & El-Dewy, 2023). Esta diferencia puede explicarse por su modo de acción neurotóxico directo sobre los canales de cloro regulados por glutamato, mientras que Bt actúa a nivel intestinal tras su ingestión, requiriendo un proceso fisiológico previo para ejercer su efecto letal. En este sentido, la emamectina muestra una respuesta más inmediata, mientras que Bt presenta una acción más específica pero menos rápida.

En campo, la eficacia de Bt puede ser significativa pero variable, y su desempeño depende de formulación, cepa y condiciones ambientales (Mason en condiciones de campo la eficacia de Bt puede ser significativa, aunque más variable. Su desempeño depende en gran medida de factores como la formulación comercial, la cepa utilizada y las condiciones ambientales, especialmente radiación solar y humedad (Mason & Obrycki, 1998). En comparación, la emamectina benzoato suele mostrar mayor estabilidad operativa debido a su acción translaminar, lo que le permite mantener eficacia incluso cuando las condiciones ambientales son menos favorables para Bt.& Obrycki, 1998).

Poblaciones naturales de FAW pueden mostrar variación en susceptibilidad, lo que puede explicar diferencias entre ensayos de tu tesis y literatura (Zhang et al., 2023). La variabilidad en la susceptibilidad de poblaciones naturales de *Spodoptera frugiperda* puede explicar discrepancias entre resultados experimentales y literatura. Zhang et al. (2023) documentaron diferencias regionales en la sensibilidad tanto a toxinas Bt como a insecticidas como la emamectina, lo que sugiere que la presión de selección y los antecedentes de uso de insecticidas influyen en la respuesta biológica. Esto implica que los resultados obtenidos en una región específica, como Guasave, pueden diferir de otros estudios realizados en contextos agroecológicos distintos.

Integración de bioinsecticidas y combinaciones con Bt y emamectina puede mejorar el control general y rendimiento comparado con tratamientos individuales (Rodríguez-Pérez, 2011). La integración de bioinsecticidas con insecticidas selectivos representa

una estrategia más robusta que el uso individual de cada herramienta. Rodríguez-Pérez (2011) señala que la combinación de Bt y emamectina puede mejorar el control general de la plaga y el rendimiento del cultivo, al aprovechar la especificidad ecológica del primero y la rapidez de acción del segundo. Esta complementariedad puede traducirse en mayor estabilidad del control y menor presión de selección sobre un solo modo de acción.

Tesis previas respaldan la inclusión de emamectina benzoato dentro de programas de manejo integrado por sus características y compatibilidad ecológica (Khan et al., 2023). Investigaciones académicas respaldan la inclusión del benzoato de emamectina dentro de programas de Manejo Integrado de Plagas, destacando su compatibilidad ecológica y menor impacto sobre organismos no objetivo en comparación con insecticidas de amplio espectro (Khan et al., 2023). Sin embargo, su sostenibilidad depende de su uso racional, la rotación de modos de acción y el monitoreo constante de susceptibilidad para prevenir el desarrollo de resistencia.

IX. CONCLUSIONES

Las diferentes dosis del bioinsecticida evaluadas mostraron un efecto significativo sobre la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda*, tanto en condiciones de laboratorio como en campo abierto, lo que confirma la eficacia del producto para el control de esta plaga en hojas de maíz y en flor cresta de gallo.

En los ensayos de laboratorio, la mayor mortalidad larval se registró durante las primeras 24 horas posteriores a la aplicación del bioinsecticida, evidenciando una acción rápida del producto; mientras que a las 48 horas la respuesta fue significativamente menor, lo que indica que el efecto principal ocurre en etapas tempranas de exposición.

En el experimento a campo abierto, el análisis de varianza confirmó diferencias significativas entre tratamientos, mientras que el tiempo de medición no influyó de manera significativa en la mortalidad larval, lo que indica un efecto consistente del bioinsecticida bajo condiciones ambientales variables.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el bioinsecticida evaluado representa una alternativa viable para el manejo de *Spodoptera frugiperda*, con un desempeño efectivo tanto en condiciones controladas como en sistemas productivos a cielo abierto, aportando evidencia para su posible integración en programas de manejo integrado de plagas.

X. RECOMENDACIONES

La recolección de las larvas en campo es un punto clave para llevar a cabo el experimento, es recomendable tener un absoluto conocimiento del manejo del cultivo antes de realizar la recolección, eso evitará que se obtengan larvas que hayan pasado por un tratamiento químico y así tendríamos ejemplares que evidencien más el tratamiento del producto experimental.

Se recomienda realizar evaluaciones adicionales del bioinsecticida considerando fases larvales homogéneas de *Spodoptera frugiperda*, con el fin de reducir la variabilidad biológica y fortalecer la precisión de los resultados, particularmente en ensayos de laboratorio. De igual forma, Para futuros estudios en laboratorio, se sugiere ampliar el número de tiempos de evaluación intermedios (por ejemplo, 6, 12 y 72 h), lo que permitiría caracterizar con mayor detalle la dinámica temporal del efecto del bioinsecticida sobre la mortalidad larval.

En condiciones de campo abierto, se recomienda replicar el experimento en diferentes ciclos agrícolas y localidades, a fin de evaluar la estabilidad y consistencia del efecto del bioinsecticida bajo distintas condiciones ambientales y de presión de la plaga. Por ello, se recomienda documentar de manera detallada las condiciones ambientales durante los ensayos de campo (temperatura, humedad, precipitación), ya que estos factores pueden influir en la eficacia del bioinsecticida y facilitar la comparación con estudios posteriores.

Dado que en ambos ensayos las dosis evaluadas mostraron respuestas similares en términos de eficacia, se sugiere analizar dosis menores a las utilizadas en este estudio, lo que podría contribuir a optimizar el uso del producto, reducir costos y minimizar posibles impactos ambientales.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonio, G. A. (7 de Abril de 2011). *El chile piquín*. Obtenido de sabinashidalgo.net.
- CODESIN. (2017). *Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa*. . Obtenido de <https://sinaloaennumeros.codesin.mx/agricultura-en-sinaloa-2017/>
- Enriquez, E. A. (27 de septiembre de 2018). Obtenido de file:///C:/Users/OEM/Desktop/tesis/informacion/2007-0934remexca%20chiles%20piquines%20(1).
- Gutierrez Hernandez, J. (2011). *ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., & Zapata, M. y. (2007). Manual técnico de buenas prácticas agrícolas (BPA) bajo condiciones protegidas en la producción de jitomate. . Medellín. Colombia.
- Mexico desconocido. (2021). *Chile piquín, el más pequeño de todos*. Obtenido de Mexico desconocido.
- Mexico desconocido. (s.f.). *Chile piquín, el más pequeño de todos*. Recuperado el 18 de Mayo de 2022, de Mexico Desconocido: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/chile-piquin-el-mas-pequeno-de-todos.html#:~:text=Los%20chiltepines%20o%20piquines%20provienen,y%20con%20terminaciones%20en%20punta.>
- Nee, M. (1986). *flora de veracruz*. Xalapa, Veracruz: Instituto Nacional de Investigaciones.
- Nuño-Moreno, R. (2007.). Manual de producción de jitomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California. . México.
- Pedraza Robles, L. C., & Gomez Gomez , A. A. (2008). ANÁLISIS EXPLORATARIO DEL MERCADO Y LA COMERCIALIZACIÓN DE CHILE PIQUÍN (C. annuum, var. aviculare Dierb.) EN MÉXICO. *TECSISTECATL*.
- Reyes Vasquez, N. d. (13 de MAYO de 2019). *Chile piquín: fitocompuestos y su calidad*. Recuperado el 12 de MAYO de 2022, de CIATEJ:

<https://www.ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Chile-piquin--fitocompuestos-y-su-calidad-/111>

- Reyna Alvizo, J. J. (2005). Producción de planta de Chile piquin (*C. annum* L var. *aviculare* Dierb.). (*Tesis de licenciatura*). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA, Buenavista, Saltillo Coahuila, México.
- Sánchez-Peña, P. K., Oyama, J., Núñez-Farfán, J., Fornoni, S., & Hernández-Verdugo, J. y.-T. (2006). *Sources of resistance of whitefly (Bemisia spp.) in wild populations of Solanum lycopersicum var. cerasiforme (Dunal) Spooner, G.; Anderson,.*
- Solis, M. (29 de Agosto de 2020). *panoramacultural*. Obtenido de panoramacultural: <https://panoramacultural.com.co/gastronomia/7552/historia-y-origen-del-chile>
- Tuttle, D. M., & Baker, E. W. (1974.). Spider mites from northwestern and north central México (Acarina: Tetranychidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*.
- Andrews, K. L. (1988). Latin American research on *Spodoptera frugiperda*. *Florida Entomologist*, 71(4), 630–653.
- Andrews, K. L. (1989). Management of the fall armyworm in Central America. [Editorial o revista].
- King, A. B. S., & Saunders, J. L. (1984). The invertebrate pests of annual food crops in Central America: A guide to their recognition and control. Overseas Development Administration.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero del maíz). Gobierno de España
- Montezano, D. G., Sosa-Gómez, D. R., Specht, A., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. V., Peterson, J. A., & Hunt, T. E. (2018). Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2), 286–300. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Early, R., González-Moreno, P., Murphy, S. T., & Day, R. (2018). Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. *NeoBiota*, 40, 25–50. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>
- Cruz, I., Figueiredo, M. L. C., Silva, R. B., Silva, I. F., Paula, C. S., Foster, J. E., & Pereira, A. G. (2019). Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against *Spodoptera frugiperda* (Smith)

- (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *International Journal of Pest Management*, 65(1), 2–8. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1449074>
- Cruz, I., Figueiredo, M. L. C., Silva, R. B., Silva, I. F., Paula, C. S., Foster, J. E., & Pereira, A. G. (2019). Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *International Journal of Pest Management*, 65(1), 2–8. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1449074>
- Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43, 243–270. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.243>
- FAO. (2018). Integrated pest management (IPM). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/en/>
- Bravo, A., Likitvivatanavong, S., Gill, S. S., & Soberón, M. (2011). *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(7), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006>
- Tabashnik, B. E., Brévault, T., & Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: Lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, 31(6), 510–521. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>
- Vilas-Boas, G. T., de Sousa, M. E., & Araújo, A. P. (2020). Compatibility and integration of biological control agents and insecticides in integrated pest management programs. *Journal of Applied Entomology*, 144(5), 345–356. <https://doi.org/10.1111/jen.12742>
- IRAC. (2022). IRAC mode of action classification scheme. Insecticide Resistance Action Committee. <https://irac-online.org>
- Sparks, T. C. (2013). Insecticide discovery: An evaluation and analysis. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 107(1), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.05.012>

- Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Yu, S. J. (1991). Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 39(1), 84–91. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(91\)90107-X](https://doi.org/10.1016/0048-3575(91)90107-X)
- Beserra, E. B., Parra, J. R. P., & Dias, C. T. S. (2002). Biologia e parasitismo de *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) em ovos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 31(2), 253–258.
- Molina-Ochoa, J., Carpenter, J. E., Heinrichs, E. A., & Foster, J. E. (2003). Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: An inventory. *Florida Entomologist*, 86(3), 254–289. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2003\)086\[0254:PAPOSF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2003)086[0254:PAPOSF]2.0.CO;2)
- Faria, M., & Wraight, S. P. (2007). Mycoinsecticides and mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, 43(3), 237–256. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001>
- Moscardi, F. (1999). Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 44, 257–289. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.257>
- Hruska, A. J., & Gould, F. (1997). Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and *Diatraea lineolata* population dynamics in Nicaragua: Influence of planting date and crop phenology. *Journal of Economic Entomology*, 90(2), 611–622.
- Pitre, H. N., & Hogg, D. B. (1983). Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 18(2), 182–187.
- FAO. (2018). Sustainable agriculture and rural development. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/sustainability/en/>

- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>
- Lasota, J. A., & Dybas, R. A. (1991). Avermectins, a novel class of compounds: Implications for use in arthropod pest control. *Annual Review of Entomology*, 36, 91–117. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.000515>
- IRAC. (2021). IRAC mode of action classification scheme (Version 10.2). Insecticide Resistance Action Committee. <https://irac-online.org>
- Choudhary, A., Sharma, D., & Kumari, B. (2012). Dissipation kinetics and risk assessment of emamectin benzoate residues in okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 103–109.
- EFSA. (2012). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance emamectin. *EFSA Journal*, 10(11), 2955. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2955>
- Kwon, H., Kim, C., & Lee, S. (2010). Environmental fate of emamectin benzoate in rice paddy ecosystems under flooded conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4279–4285.
- Sparks, T. C., Dripps, J. E., Watson, G. B., & Paroonagian, D. (2013). Resistance and cross-resistance to the spinosyns—A review and analysis. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 102, 1–10.
- Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Vilas-Boas, G. T., Peruca, A. P. S., & Arantes, O. M. N. (2020). Biology and taxonomy of *Bacillus thuringiensis*. In A. Fiuza, R. Polanczyk, & N. Crickmore (Eds.), *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus* (pp. 1–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05738-7_1

- Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., ... Dean, D. H. (1998). *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(3), 775–806. <https://doi.org/10.1128/MMBR.62.3.775-806.1998>
- Frankenhuyzen, K. (2009). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 101(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.02.009>
- Vilas-Boas, G. T., De Sousa, M. E., & Araújo, A. C. (2020). *Bacillus thuringiensis*: Formulation and application strategies for pest control. In A. Fiuza, R. Polanczyk, & N. Crickmore (Eds.), *Bacillus thuringiensis* and *Lysinibacillus sphaericus*. Springer.
- Tabashnik, B. E., Brévault, T., & Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: Lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, 31(6), 510–521. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>
- Elzawawy, N., & El-Dewy, M. (2023). Comparative toxicity of emamectin benzoate and *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Plant Protection Research*, 63.
- Zhang, X., Liu, Y., Wang, Y., Li, X., & Wu, K. (2023). Baseline susceptibility of invasive populations of *Spodoptera frugiperda* to Bt toxins and emamectin benzoate.
- Abd El-Aziz, S. E. (2023). Effects of combined bioinsecticides and emamectin benzoate on larval development and biological parameters of *Spodoptera frugiperda*. *Management Science*, 790,
- Bassi, D, et al. (2022). Monitoring susceptibility and resistance evolution of *Spodoptera frugiperda* to emamectin benzoate