



**UNIVERSIDAD ECOTEC  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
CARRERA DE AGRONOMIA**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Comparación de métodos de control biológico y químico de  
*Spodoptera frugiperda* en plantaciones de maíz en la provincia Los  
Ríos, 2024**

**AUTOR**

**DYLAN ASED FARAH CASTILLO**

**SAMBORONDÓN – ECUADOR**

**AÑO 2024**



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC**  
**FACULTAD DE INGENIERIAS, ARQUITECTURA Y CIENCIAS DE LA**  
**NATURALEZA**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJO INVESTIGACIÓN**

**Comparación de métodos de control biológico y químico de**  
***Spodoptera frugiperda* en plantaciones de maíz en la provincia Los**  
**Ríos, 2024.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR**

**DYLAN ASED FARAH CASTILLO**

**TUTOR**

**CÉSAR ALCÁCER SANTOS, PH.D.**

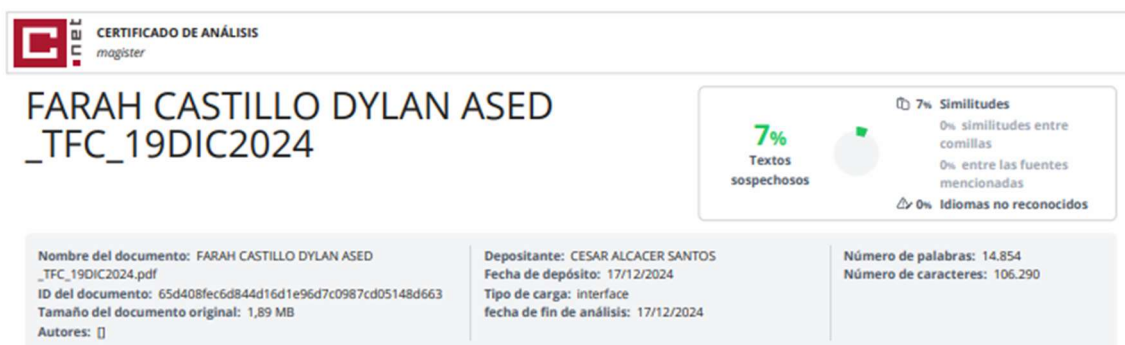
**Samborondón – Ecuador**

**2024**

**ANEXO No. 10**

**PROCESO DE TITULACIÓN  
CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS  
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación TITULADO: **Comparación de métodos de control biológico y químico de Spodoptera frugiperda en plantaciones de maíz en la provincia Los Ríos, 2024** elaborado por **DYLAN ASED FARAH CASTILLO** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del **7%**, mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta captura de pantalla de dicho resultado.



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

**FARAH CASTILLO DYLAN ASED**  
**\_TFC\_19DIC2024**

**7%**  
Textos sospechosos

**7% Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: FARAH CASTILLO DYLAN ASED \_TFC\_19DIC2024.pdf  
ID del documento: 65d408fec6d844d16d1e96d7c0987cd05148d663  
Tamaño del documento original: 1,89 MB  
Autores: []

Depositante: CESAR ALCACER SANTOS  
Fecha de depósito: 17/12/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 17/12/2024

Número de palabras: 14.854  
Número de caracteres: 106.290

**ATENTAMENTE,**



Firmado electrónicamente por:  
**CESAR ALCACER SANTOS**

César Alcácer Santos, Ph.D.

18 de diciembre de 2024

**ANEXO No. 12**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CON INCORPORACIÓN DE LAS OBSERVACIONES DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL**

Samborondón, 18 de diciembre de 2024

Magíster

**Érika Ascencio Jordán**

**Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza**

Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: **Comparación de métodos de control biológico y químico de Spodoptera frugiperda en plantaciones de maíz en la provincia Los Ríos, 2024**; fue revisado y se deja constancia que el estudiante acogió e incorporó todas las observaciones realizadas por los miembros del tribunal de sustentación por lo que se autoriza a: **FARAH CASTILLO DYLAN ASED**, para que proceda a la presentación del trabajo de titulación para la revisión de los miembros del tribunal de sustentación y posterior sustentación.

**ATENTAMENTE,**



Firmado electrónicamente por:  
**CESAR ALCACER  
SANTOS**

**PhD. César Alcácer Santos**

**Tutor**

## **Dedicatoria**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Magister Marianela Barona, por su invaluable orientación y apoyo a lo largo de todo este proceso. Su dedicación, conocimientos y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco profundamente al Ing. César Suárez, cuyo enfoque profesional y su disposición para compartir su experiencia han enriquecido mi aprendizaje y me han guiado en momentos clave de este proyecto.

A mi estimado Ing. Alex Delgado, por su apoyo técnico y por brindarme siempre su tiempo y su expertise, lo que me permitió avanzar con seguridad en la investigación.

Finalmente, no puedo dejar de agradecer a mi tutor de tesis, el Ing. César Alcacer, por su paciencia, su orientación constante y por ser un pilar durante todo este proceso. Su dirección ha sido crucial para que este trabajo llegue a buen puerto.

A todos ustedes, gracias por su confianza, colaboración y por ser parte fundamental de este logro.

## **Agradecimiento**

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante me han dado las herramientas necesarias para alcanzar mis sueños. A mi familia, que siempre ha sido mi refugio, mi fuerza y mi inspiración, por su confianza y por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por estar siempre a mi lado, por ser mi mayor fuente de motivación y por enseñarme que todo esfuerzo vale la pena cuando se hace con amor y perseverancia. Esta tesis es tanto mía como suya.

## Resumen

Este estudio se enfoca en la evaluación comparativa de métodos de control biológico y químico para gestionar la plaga *Spodoptera frugiperda*, conocida como gusano cogollero, en cultivos de maíz en el cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos, Ecuador. El objetivo principal es analizar la eficacia, el impacto ambiental y la rentabilidad de ambos enfoques, con el fin de ofrecer recomendaciones para una gestión integrada de plagas. La metodología se basa en un diseño experimental de bloques completamente al azar que incluye parcelas donde se implementarán tratamientos de control biológico con el hongo *Beauveria bassiana* 1 kg/ha y control químico con el insecticida lufenuron 1 L/ha y un control, aplicados al cogollo de la planta de maíz con una bomba de espalda. Se evaluaron variables como la incidencia de la plaga, la severidad de la infestación y el rendimiento del cultivo. Los resultados muestran que el control químico presenta mayor eficacia en la disminución de la población de *S. frugiperda*; Sin embargo, también suscita inquietudes sobre la sostenibilidad y el impacto ambiental. En contraste, el control biológico, aunque muestra menor efectividad en ciertos contextos, podría ser una alternativa viable a largo plazo, al fomentar la biodiversidad y disminuir la dependencia de insecticidas sintéticos. Este estudio subraya la necesidad de optimizar la implementación de métodos biológicos y considerar los costos totales, incluidos los de mano de obra, para realizar una evaluación de la viabilidad económica de cada estrategia.

Palabras claves: Maíz, *Spodoptera*, insecticida, *Beauveria*, ecológico.

## Abstract

This study focuses on the comparative evaluation of biological and chemical control methods for managing the pest *Spodoptera frugiperda*, known as fall armyworm, in maize crops in the Puebloviejo canton, Los Ríos province, Ecuador. The main objective is to analyze the efficacy, environmental impact, and profitability of both approaches in order to provide recommendations for integrated pest management. The methodology is based on a completely randomized block experimental design that includes plots where biological control treatments with the fungus *Beauveria bassiana* (1 kg/ha) and chemical control with the insecticide lufenuron (1 L/ha) will be applied to the maize plant's whorl using a backpack sprayer. Variables such as pest incidence, infestation severity, and crop yield were assessed. The results show that chemical control is more effective in reducing the population of *S. frugiperda*; however, it also raises concerns about sustainability and environmental impact. In contrast, biological control, while less effective in certain contexts, could be a viable long-term alternative by promoting biodiversity and reducing dependence on synthetic insecticides. This study emphasizes the need to optimize the implementation of biological methods and consider total costs, including labor, to assess the economic feasibility of each strategy.

Keywords: Maize, *Spodoptera*, insecticide, *Beauveria*. ecology



## Tabla de contenido

Resumen.....	5
Abstract .....	6
<b>Tabla de contenido .....</b>	<b>7</b>
Índice de Tablas.....	11
1. Introducción .....	1
1.1 Contexto general del estudio .....	1
<b>1.2. Identificación del problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Importancia local .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Planteamiento y formulación del problema .....</b>	<b>3</b>
1.4.1. <i>Planteamiento del problema</i> .....	3
1.4.2. <i>Formulación del problema</i> .....	4
<b>1.5. Limitaciones del estudio .....</b>	<b>4</b>
1.5.1 Eficiencia variable de los métodos .....	4
1.5.2 Disponibilidad de insumos .....	5
1.5.3 Condiciones climáticas y ambientales.....	5
1.5.4 Costos económicos .....	5
1.5.5 Diseño experimental.....	6
1.5.6 Adopción por los agricultores.....	6
<b>1.6. Justificación de la investigación.....</b>	<b>6</b>
<b>1.7. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.7.1 ObjetivoGeneral .....</b>	<b>7</b>

<b>1.7.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>7</b>
2. Marco teórico.....	8
<b>2.1. Bases teóricas.....</b>	<b>8</b>
2.1.1. <i>Ecología, biología y estado como plaga de Spodoptera frugiperda</i> .....	8
2.1.2. <i>Taxonomía</i> .....	9
2.1.3. <i>Efecto del clima en Spodoptera frugiperda</i> .....	10
2.1.4. <i>Plantas hospederas de Spodoptera frugiperda</i> .....	10
2.1.5. <i>Estatus de plaga de Spodoptera frugiperda</i> .....	10
2.1.6. <i>Daño de Spodoptera frugiperda en el maíz</i> .....	11
2.1.7. <i>El cultivo de maíz en el Ecuador</i> .....	13
2.1.7.1 <i>Taxonomía del maíz</i> .....	13
2.1.7.2. <i>Descripción botánica</i> .....	14
2.1.8. <i>Requerimientos edafo-climáticos</i> .....	15
2.1.9. <i>Causas de la aparición de las plagas</i> .....	15
2.1.10. <i>Manejo Integrado de Plagas (MIP)</i> .....	17
2.1.11. <i>Bioinsecticidas</i> .....	18
<b>2.2. Bases teóricas de contextual.....</b>	<b>20</b>
2.2.1. <i>Bioinsecticidas entomopatógenos</i> .....	20
2.2.2. <i>Beauveria bassiana</i> .....	20
2.1.3. <i>Metarhizium anisopliae</i> .....	21
2.2.3. <i>Bacillus thuringiensis</i> .....	21

<b>2.3. Bases teóricas situacional.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Métodos de utilización de los hongos patógenos .....	22
2.3.2. <i>Mecanismo de funcionamiento de los hongos patógenos para los insectos ....</i>	<i>22</i>
2.3.3. <i>Modo de acción de Bacillus thuringiensis.....</i>	<i>23</i>
2.3.4. <i>Maneras de administrar Bacillus thuringiensis para el control de plagas .....</i>	<i>24</i>
<b>2.3.5. Alphanag .....</b>	<b>24</b>
2.4 Estado del arte .....	25
3. Materiales y métodos .....	27
<b>3.1 Delimitación de la investigación.....</b>	<b>27</b>
3.1.1 Espacio .....	27
3.1.3 Tiempo:.....	29
3.1.4 Población.....	30
<b>3.2 Enfoque de la investigación.....</b>	<b>30</b>
3.2.3 Tipo de investigación.....	30
3.2.4 Diseño de investigación .....	30
<b>3.3 Metodología .....</b>	<b>31</b>
3.3.3 Variables.....	31
3.3.4 Hipótesis.....	31
3.3.5 Diseño experimental .....	31
3.3.6 Recursos .....	32
3.3.7 Métodos y Técnicas.....	33

3.3.7.1 Método inductivo: .....	33
3.3.8 Análisis estadístico .....	34
<b>3.4 Cronograma de actividades.....</b>	<b>36</b>
4. Resultados.....	36
<b>4.1. Determinar la reducción de la población de <i>S. frugiperda</i> mediante métodos biológicos y químicos.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Estudiar el efecto de los agentes de control biológico y químico sobre <i>S. frugiperda</i>.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Realizar un análisis de costos para determinar la rentabilidad de los métodos biológicos y químico.....</b>	<b>38</b>
5. Discusión .....	38
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>41</b>
7. Bibliografía .....	42
Anexos.....	54

## Índice de Tablas

Tabla 1. Flujo de actividades .....	34
Tabla 2. Análisis estadístico del experimento .....	35
Tabla 3. Tabla de actividades .....	36
Tabla 4. Análisis de la varianza de la mortalidad de larvas de <i>S. frugiperda</i> .....	37
Tabla 5. Análisis de Tukey de la mortalidad de larvas de <i>S. frugiperda</i> .....	37
Tabla 6. Análisis de varianza de la mortalidad de <i>S. frugiperda</i> en maíz.....	38
En el Tabla 7. Se muestra el Tabla la prueba de rango múltiple para la eficacia de los agentes de control sobre <i>S. frugiperda</i> .....	38
Tabla 8. Costos de ampliación de los tratamientos.....	38

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Fuente: el autor)	28
--	----

## 1. Introducción

### 1.1 Contexto general del estudio

El gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*, es una plaga polífaga que representa una amenaza significativa para la producción de maíz en diversas regiones de América, incluido Ecuador. Esta plaga se alimenta de una amplia variedad de plantas, lo que la convierte en una amenaza para la agricultura (Andrews, 1980; León et al., 1987).

La lucha contra el gusano cogollero es una batalla constante para los agricultores. Este insecto, con su voraz apetito, puede devastar rápidamente los campos de maíz, dejando a los agricultores con pérdidas significativas. A pesar de los esfuerzos para controlar esta plaga, su capacidad para adaptarse y sobrevivir en diferentes condiciones hace que sea un desafío constante. Los agricultores están buscando nuevas estrategias y tecnologías para proteger sus cultivos y garantizar una producción de maíz sostenible y rentable (Andrews, 1980; Clavijo & Greiner, 2000; Pogue, 2011).

En Ecuador, el maíz duro seco juega un papel crucial en la agricultura transitoria, especialmente en la Región Costa. La provincia de Los Ríos se destaca como la principal productora de maíz a nivel nacional. (INEC, 2022). Sin embargo, la producción de maíz se ve amenazada por varios factores, incluyendo las condiciones climáticas, el manejo inadecuado y la presencia de plagas como el gusano cogollero (Baudron et al., 2019).

Esta investigación se centra en la provincia de Los Ríos con el objetivo de evaluar la eficacia de diferentes métodos de control del gusano cogollero en el cultivo de maíz. El estudio se basará en un ensayo experimental que se llevará a cabo en parcelas de maíz de la provincia.

### 1.2. Identificación del problema

El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera Noctuidae) conocido también como “*Spodoptera*” es considerada la plaga más importante del maíz en muchas regiones de América (Andrews, 1980; León et al., 1987).

En Colombia, es además plaga importante de otros cultivos como arroz, pastos, sorgo, caña de azúcar y algodón. Por ser plaga polífaga, se encuentra en malezas gramíneas y de hoja ancha. La gran cantidad de huéspedes alternos hace que su dispersión sea amplia, asegurando su permanencia y la abundancia en sus poblaciones (Smith).

*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) es conocida comúnmente como "cogollero del maíz" (derivado de su forma de daño más conocida) u "oruga militar tardía" ya que, si el alimento se hace escaso, las larvas se trasladan a otros cultivos desplazándose en masa (como un "regimiento").

Es el lepidóptero plaga del maíz (*Zea mays* L.) más importante en el norte de Argentina y en diferentes países de la región Neotropical. Ataca este cultivo con niveles de densidad variables, pero siempre poniendo en riesgo la productividad del mismo.

Cuando afecta las plantas jóvenes, los daños pueden ser totales, mientras que, si afecta las plantas en estados fenológicos avanzados, pueden reponerse de la defoliación llegando a una producción normal. *S. frugiperda* es un insecto polífago que ocasiona numerosas pérdidas en diversos cultivos; esta característica, junto a su poder de aclimatación a diferentes condiciones permite que su distribución geográfica sea amplia (Andrews, 1980; Clavijo & Greiner, 2000; Pogue, 2011).

### **1.3. Importancia local**

Según Llanos et al., (2020) en el Ecuador, el cultivo de maíz duro seco es uno de los principales productos agrícolas transitorios cultivados, especialmente en la Región Costa. La provincia de los Ríos es considerada la zona con mayor producción de maíz a nivel nacional aportando el 39,42 % de la producción total del grano (INEC, 2022), sin embargo, esta producción de maíz puede ser afectada debido a varios factores entre los que se destacan: factores climáticos y condiciones de suelo (ej. stress hídrico, suelos salinos), factores de manejo (ej. densidad de siembra, competencia de malezas) y factores bióticos (ej. insectos-plagas y enfermedades) (Baudron et al., 2019).

Los principales problemas del cultivo de maíz en el Ecuador están asociados con su baja producción y los bajos niveles de nutrientes del suelo, la erosión, el escaso uso de fertilizantes y la inadecuada utilización de pesticidas. Los estudios de las poblaciones de larva en el sector de acuerdo al desarrollo del cultivo son muy severos ya que el aumento del ataque es alto por el ataque las larvas gusano cogollero y que las cosechas bajan un 100 % de la producción (Berger, 1962).

La protección de los cultivos contra el ataque de plagas y enfermedades es una preocupación constante del agricultor, en cultivos hortícola florales y frutales y de forma especial para aquellos cultivos que dan cosechas de valor. El principal problema que tienen los productores en el campo con el cultivo de maíz es el gusano cogollero, ya que esta larva acaba con el follaje tierno, logrando con esto que no tenga un desarrollo completo y afectando en la productividad. El ciclo de cogollero. comienza en estado adulto, huevo cuatro días; ninfa cuatro días. pupa cuatro días; total 12 días (Chango, 2012).

#### **1.4. Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.4.1. *Planteamiento del problema***

El maíz es uno de los principales cultivos que se siembra en Ecuador llegando a una superficie cosechada de 322.590 ha, con una producción de 1.425.848 t y un rendimiento de 3,23 t/ha. Sin embargo, en el litoral ecuatoriano, el cultivo alcanza una superficie superior a 308 mil hectáreas, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2015).

A pesar de los esfuerzos realizados por las autoridades para evitar las importaciones de la gramínea, la producción no ha sido suficiente para abastecer el mercado local, debido a los bajos rendimientos por la falta de control que se realizan en las plantaciones (Candell, 2018).



Según Llanos et al. (2020) la provincia de Los Ríos es el mayor productor de maíz según el ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), esto representa el 50,82 % de acuerdo al reporte entregado.

Pero existe incomodidad en los pequeños agricultores, ya que la siembra de maíz no es rentable y no saben cómo diversificarla. La provincia de Los Ríos es la que más produce maíz, banano, arroz, pero la baja economía y el desinterés del gobierno provoca que sus ingresos cada día sean menores (Zagoya, 2014)

A pesar de los avances en la investigación, persisten interrogantes importantes sobre la efectividad comparativa y la viabilidad a largo plazo de los métodos de control biológico y químico de *Spodoptera frugiperda* en campos de maíz de la provincia de Los Ríos.

Elegir entre estos métodos es importante para los agricultores, pero la falta de evidencia científica relacionada con las condiciones locales limita la toma de decisiones informadas, dichas decisiones tomadas por los agricultores con respecto a las prácticas de manejo de plagas no solo afectan sus ingresos sino también la disponibilidad y accesibilidad de los alimentos en el área.

Por otro lado, en el contexto global de creciente conciencia ecológica, es extremadamente importante evaluar no sólo la efectividad sino también el impacto a largo plazo de estos métodos en los ecosistemas locales.

#### **1.4.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la efectividad de los métodos biológicos y químicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) en el cultivo de maíz en la localidad de Ventanas, provincia de Los Ríos durante el año 2024?

### **1.5. Limitaciones del estudio**

#### **1.5.1 Eficiencia variable de los métodos**

La eficacia del control biológico, como el uso de *Beauveria bassiana*, puede verse afectada por condiciones ambientales desfavorables, como altas temperaturas o baja

humedad, las cuales limitan la viabilidad y acción del hongo (Ling et al., 2024) Por otro lado, el control químico enfrenta desafíos debido a la resistencia de *Spodoptera frugiperda* a ciertos insecticidas, un problema ampliamente documentado en estudios recientes (Tyagi, et al., 2024; Wang et al., 2024).

### **1.5.2 Disponibilidad de insumos**

La obtención de productos biológicos de calidad uniforme puede ser un reto en zonas rurales de Ecuador. Adicionalmente, los insecticidas específicos recomendados para el manejo de esta plaga no siempre están disponibles en el mercado local, lo que afecta la consistencia de las aplicaciones (Angon et al., 2023; Amrani, et al., 2024).

### **1.5.3 Condiciones climáticas y ambientales**

Las condiciones climáticas variables, como lluvias frecuentes o humedad excesiva, pueden disminuir la eficacia de ambos métodos, especialmente de los biológicos, al dificultar la adherencia de los agentes de control en las hojas del maíz (Abdul et al., 2021). Además, los insecticidas químicos pueden tener un impacto negativo en organismos no objetivo, incluidos polinizadores y depredadores naturales, afectando la biodiversidad del agroecosistema (Bohatá, et al., 2024).

### **1.5.4 Costos económicos**

El costo inicial del control biológico es generalmente más alto que el químico, ya que requiere insumos más especializados y mano de obra capacitada (Lee, et al., 2024). Aunque el control químico puede ser más accesible en términos de costos iniciales, su efectividad a largo plazo se ve limitada por la necesidad de múltiples aplicaciones, lo que incrementa los costos totales del manejo (Frank, 2024).

### **1.5.5 Diseño experimental**

Los estudios realizados en parcelas pequeñas pueden no capturar completamente las dinámicas ecológicas que ocurren en plantaciones de mayor escala. Además, la variabilidad en las poblaciones iniciales de la plaga y las características del suelo podrían introducir sesgos en los resultados (Quesada-Moraga et al., 2024).

### **1.5.6 Adopción por los agricultores**

Los agricultores pueden mostrar resistencia al uso de métodos biológicos debido a una percepción histórica de menor eficacia en comparación con los químicos. Esto, sumado a una limitada capacitación en la aplicación de bioplaguicidas, reduce la aceptación de estas tecnologías (Colmenarez & Vasquez, 2024; Pressecq, et al., 2024).

## **1.6. Justificación de la investigación**

La provincia de Los Ríos es una importante región agrícola en Ecuador, con una producción significativa de maíz. Sin embargo, la producción de maíz en la provincia se enfrenta a una serie de desafíos, entre los que se incluyen las plagas. La *S. frugiperda*, también conocida como gusano cogollero, es una plaga importante del maíz que puede causar daños significativos a los cultivos.

El control de las plagas es esencial para proteger los cultivos y garantizar la seguridad alimentaria. Los métodos de control de plagas convencionales, como el uso de insecticidas químicos, pueden ser efectivos, pero también pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana.

Los métodos de control biológico utilizan organismos vivos para controlar las plagas, lo que puede reducir el impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana.

El objetivo de este proyecto es comparar la efectividad, el costo y el impacto ambiental de los métodos de control biológico y químico de *S. frugiperda* en plantaciones de maíz en la provincia de Los Ríos.

Este estudio es fundamental para brindar información importante a agricultores, investigadores y formuladores de políticas en la provincia de Los Ríos. Los resultados del estudio ayudarán a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre los métodos de control de plagas que utilizan. Además, el estudio puede contribuir al desarrollo de métodos agrícolas sostenibles y respetuosos con el medio ambiente que contribuyan a la seguridad alimentaria y la protección de los ecosistemas locales.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo General**

Comparar el efecto de los métodos de control biológico y químico para gestionar la población de *S. frugiperda* en plantaciones de maíz, con el fin de proporcionar recomendaciones para optimizar la gestión integrada de plagas en cultivos de maíz.

### **1.7.2 Objetivos específicos**

- Determinar la reducción de la población de *S. frugiperda* mediante métodos biológicos y químicos.
- Estudiar el efecto de los agentes de control biológico y químico sobre *S. frugiperda*.
- Realizar un análisis de costos para determinar la rentabilidad de los métodos biológicos y químico.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Bases teóricas**

#### **2.1.1. Ecología, biología y estado como plaga de *Spodoptera frugiperda***

El ciclo completo del gusano cogollero varía su duración entre 30 y 70 días, siendo afectado por la temperatura, acortándose en climas más cálidos y alargándose en temperaturas más bajas. Se divide en cuatro fases: huevo (2-5 días), larva (17-32 días en 6 a 9 estadios), pupa (6 – 13 días) y adulto (6 – 20 días) (Tay et al., 2023). La vida del gusano cogollero, conocido como *S. frugiperda*, abarca desde el huevo hasta la etapa adulta de la polilla. Las hembras depositan grupos de huevos, alcanzando hasta 1500 durante su vida fértil, protegiéndolos con secreciones bucales (Padilla, 2011; Oliveira et al., 2024).

Los huevos, de 0,4 mm de diámetro y 0,3 mm de altura, tienen un color blanco perla y se agrupan estratégicamente para su protección. Las larvas atraviesan seis estadios, cambiando gradualmente su apariencia y color según su alimentación y factores climáticos Al

llegar a la fase de pupa, la larva se entierra entre 3 y 5 centímetros bajo tierra, creando una cámara pupal de color rojizo café, con medidas de 14 a 18 mm (Jin et al., 2021)

En la fase adulta, la polilla mide aproximadamente 30 a 35 mm, de tono cenizo. Los machos tienen alas anteriores con una mancha elíptica blanquecina y una franja diagonal clara, mientras que las hembras presentan una mancha elíptica al margen costal definida por una línea clara (Montezano et al., 2019).

Este ciclo, desde el huevo hasta la etapa adulta, puede completarse en alrededor de 30 días en condiciones climáticas favorables (Buntin, 1986; Chen et al., 2023). En áreas endémicas, se observa un ciclo continuo, a diferencia de zonas más frías donde las poblaciones pueden extinguirse localmente o migrar en busca de condiciones adecuadas (Hernandez-Mendoza et al., 2008; Hogg et al., 1982). Zhang et al., 2023).

La sorprendente habilidad de vuelo de estas polillas es notable. Pueden recorrer hasta 100 km en una noche, aprovechando corrientes de aire, y en condiciones óptimas, alcanzar 1600 km en 30 horas (Lü et al., 2023; Early et al., 2018; Midega et al., 2018). Esto contribuye a su amplia distribución geográfica, ya sea por migración natural o transporte involuntario por humanos de cultivos infestados (Devi et al., 2024; Rose et al., 1975).

### **2.1.2. Taxonomía**

#### **Clasificación Taxonómica**

**Phylum:** *Arthropoda*

**Clase:** *Insecta*

**Orden:** *Lepidoptera*

**Familia:** *Noctuidae*

**Género:** *Spodoptera*

**Especie:** *Spodoptera frugiperda*

### **2.1.3. Efecto del clima en *Spodoptera frugiperda*.**

El ciclo de desarrollo larval de *S. frugiperda* tiene una duración aproximada de 14 días durante el verano y 30 días en condiciones de clima fresco (dos Santos et al., 2024; Murúa et al., 2006) Para cada etapa larval, existe un período activo de alimentación y un período inactivo que ocurre justo antes de cada muda (Trujillo, 2020).

Aunque la temperatura puede afectar la duración de ambos períodos de la etapa larval, temperaturas más bajas resultan en una extensión más larga del período inactivo que del período activo. Durante el período activo, la oferta de alimentos es más crucial.

### **2.1.4. Plantas hospederas de *Spodoptera frugiperda***

El rango de plantas hospederas de esta plaga polífaga incluye numerosos cultivos importantes, pero se centra principalmente en aquellas que pertenecen a la familia *Poaceae*, como el maíz (*Zea mays* L.), el sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), la grama bermuda (*Cynodon dactylon*), el trigo (*Triticum aestivum*), el arroz (*Oryza sativa*) y la grama Johnson (*Sorghum halepense*) Otros grupos de plantas afectadas incluyen la familia *Malvaceae* (algodón, *Gossypium hirsutum*), la familia *Fabaceae* (soja, *Glycine max*), el cacahuate (*Arachis hypogaea*) y la alfalfa (*Medicago sativa*). En la familia *Solanaceae*, se ataca al tabaco (*Nicotiana tabacum*) y en la familia *Amaranthaceae*, al remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) (Andrews, 1980; Martin et al., 1980).

### **2.1.5. Estatus de plaga de *Spodoptera frugiperda***

*S. frugiperda* ha sido catalogada como la plaga de insectos más destructiva y económicamente importante en el maíz en Brasil (Sena Jr et al., 2003). Las larvas de *S. frugiperda* también se informa que causan más daño al maíz que las de otros noctúidos en África (Goergen et al., 2016).

El estatus de plaga de *S. frugiperda* depende de las etapas específicas de desarrollo de las larvas y las plantas huéspedes (Barros et al., 2010). Los brotes esporádicos de *S.*

*frugiperda* en los cultivos de maíz pueden fácilmente alcanzar el umbral económico de daño antes de que se evidencien signos visibles de infestación (Linduska & Harrison, 1986), pudiendo causar reducciones de rendimiento entre el 20% y el 87% durante estos brotes (Andrews, 1980).

*Spodoptera frugiperda* es una plaga altamente exitosa debido a características como su alta tasa reproductiva, un período generacional relativamente corto de aproximadamente 30 días bajo condiciones de temperatura favorables, alta capacidad de dispersión (Dingle, 1972), amplio rango de plantas huéspedes y multivoltinismo.

### **2.1.6. Daño de *Spodoptera frugiperda* en el maíz**

El daño más significativo causado por *Spodoptera frugiperda* en el maíz es provocado por los últimos tres estadios larvarios (L4 - L6), debido a su alta tasa de consumo (98%) (Luginbill, 1928). Estas etapas larvarias tienen preferencia por alimentarse de las estructuras reproductivas de la planta huésped (Hardke et al., 2015). La alimentación durante la etapa tardía del pseudotallo del maíz puede prevenir que la espiga se desarrolle o que lo haga de manera adecuada (Hanway, 1969). La alimentación larvaria y el daño disminuyen la polinización, lo que provoca una disminución en el número de granos formados por espiga (Gross Jr et al., 1982). Las larvas también se alimentan de los granos al excavar túneles a través de la mazorca (Vickery, 1929).

El cultivo agrícola, por su propia naturaleza, tiende a ser perjudicial para el ecosistema y, en parte, debido al uso excesivo de agroquímicos (incluyendo antibióticos) dirigidos contra plagas y enfermedades, se han producido cambios biológicos significativos. Esto se atribuye a la toxicidad y al amplio espectro de estos productos, lo que ha contribuido a una disminución de la diversidad biológica y, por consiguiente, a un control deficiente de las poblaciones macro y microbianas. Además, el creciente interés en la salud humana, que ha llevado a restricciones más estrictas sobre el uso de pesticidas químicos, ha generado la necesidad de implementar estrategias más saludables integradas en sistemas de producción



orgánica y en el Manejo Integrado de Plagas (MIP), donde el empleo de control biológico, incluyendo bioplaguicidas microbianos, se convierte en una solución viable (Elósegui, 2006).

Desde el momento de la siembra, el maíz enfrenta numerosos ataques de plagas, y factores como las condiciones climáticas, el manejo del suelo, la rotación de cultivos y el control de malezas son determinantes en la aparición de estas plagas y enfermedades en el cultivo (Deras, 2014). Brechelt (2004) plantea la necesidad de distinguir entre ecosistemas naturales y artificiales (como cultivos agrícolas o plantaciones forestales) para comprender las causas detrás de la aparición de plagas. Algunos de estos factores se detallan a continuación:

La transformación de áreas de vegetación natural en grandes extensiones de monocultivos ha creado un entorno de abundancia concentrada de alimento para ciertas plagas. A diferencia de la naturaleza, donde los recursos son más escasos y dispersos, esta alta disponibilidad de alimento en un solo tipo de cultivo permite a las plagas alcanzar niveles epidémicos. La eliminación de la vegetación silvestre que solía ser refugio o fuente de alimento para los enemigos naturales de las plagas ha llevado a una disminución de estos depredadores y, por ende, un aumento en la densidad de las plagas.

La introducción de cultivos exóticos en regiones nuevas puede exponerlos a organismos que antes no tenían contacto con ellos, lo que puede convertir a estos cultivos en presa de plagas que previamente eran inofensivas.

La entrada accidental de organismos en nuevas regiones o países, seguida por un rápido aumento en su población, puede generar problemas de plagas antes inexistentes.

La regulación del uso de plaguicidas sintéticos se ha intensificado debido a sus efectos dañinos, estableciendo límites en los residuos permitidos en los alimentos para su comercialización y consumo (Isman, 2006). Estas regulaciones han aumentado la demanda de productos para el control de plagas en la agricultura, con menor impacto en el medio ambiente y la salud humana (Pérez, 2012).

### **2.1.7. El cultivo de maíz en el Ecuador**

En ciertas regiones de Ecuador, el maíz se cultiva hasta dos veces al año. En la provincia de los Ríos, se concentra el 42,3 % de la producción nacional, equivalente a 1.304.886 mil toneladas métricas, cultivadas en una extensión de 365.725 hectáreas (INEC, 2022)

Según la productividad del maíz en Ecuador, el uso de semillas ha demostrado un aumento en la productividad al emplear híbridos modificados, certificados, nacionales e internacionales, en comparación con las semillas híbridas ordinarias (Bonilla Bolaños & Singaña Tapia, 2019). Uno de los inconvenientes enfrentados por los agricultores de menor escala radica en la carencia de información pertinente. Esto incluye datos sobre las peculiaridades del cultivo según su fase fenológica, su adaptabilidad a la región, niveles de rendimiento, resistencia frente a plagas y enfermedades, exigencias climáticas específicas, y hasta los requerimientos nutricionales (Guaman, 2020).

#### **2.1.7.1 Taxonomía del maíz**

**Reino:** Vegetal

**Subreino:** Embriobionta

**División:** Angiospermae

**Clase:** Monocotyledoneae

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** *Zea*

**Especie:** *mays*

**Nombre científico:** *Zea mays* L.

### **2.1.7.2. Descripción botánica**

El maíz es una planta anual de gran altura con un ciclo biológico determinado. Sus hojas, dispuestas en forma alterna a lo largo del tallo sólido, son largas y estrechas, con un ancho que representa aproximadamente una décima parte de su longitud. Una de las características notables de esta planta es su separación de sexos en estructuras florales distintas (Salvador, 2001).

La planta de maíz produce inflorescencias masculinas (espigas) en la parte superior del tallo e inflorescencias femeninas (mazorcas) en los primordios de las ramas laterales que emergen de las axilas foliares. Las inflorescencias masculinas, o estaminadas, se presentan en una panícula dispersa y contienen pares de espiguillas separadas, cada una con una flor fértil y otra estéril. Por otro lado, las inflorescencias femeninas, o pistiladas, forman una espiga con pares de espiguillas sobre un raquis altamente compacto. Cada espiguilla femenina alberga dos flósculos fértiles, uno de los cuales madurará para convertirse en el fruto del maíz después de ser fecundado por el polen, a menudo con la ayuda del viento (Salvador, 2001).

El fruto del maíz, botánicamente conocido como cariósipide, es un fruto seco que contiene una única semilla fusionada dentro de sus tejidos. Esta semilla consta de dos partes principales: un germen, que dará lugar a una nueva planta, y un endospermo que proporcionará nutrientes a la plántula hasta que pueda generar suficientes hojas para obtener su propia energía. El germen incluye un vástago en miniatura con aproximadamente cinco hojas embrionarias, una radícula para desarrollar el sistema de raíces y una hoja seminal adicional (escutelo). Por otro lado, el endospermo ocupa la mayor parte del volumen del fruto, representando aproximadamente el 86% de su peso seco, y está compuesto principalmente de almidón, junto con un 10% de proteínas, siendo esta reserva de almidón la base de los usos nutricionales del fruto de maíz (Salvador, 2001).

### **2.1.8. Requerimientos edafo-climáticos**

Cruz (2013) sostiene que los suelos franco-arcillosos con buen drenaje son idóneos para el cultivo de maíz, si bien su productividad puede verse afectada por factores físicos, químicos y ambientales.

En términos generales, el maíz prospera en suelos con un pH que oscile entre 5,5 y 7,8. Por fuera de estos rangos, la disponibilidad de ciertos elementos tiende a aumentar o disminuir, generando toxicidad o deficiencia. Un pH inferior a 5,5 suele causar problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de escasez de fósforo y magnesio. Por otro lado, cuando el pH supera los 8 (o 7 en suelos calcáreos), se tiende a experimentar deficiencia de hierro, manganeso y zinc. Los signos de un pH inadecuado en el campo generalmente se asemejan a problemas de micronutrientes (Deras, 2014).

En líneas generales, el maíz necesita al menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida a lo largo del ciclo del cultivo (Deras, 2014).

El cultivo de maíz requiere una temperatura óptima que oscile entre 25 °C y 30 °C, con una exposición considerable a la luz solar. Para la germinación de la semilla, la temperatura idónea debe situarse entre los 15 y 20 °C (Zambrano & Villavicencio, 2009).

### **2.1.9. Causas de la aparición de las plagas**

Desde el momento en que se siembra el maíz, se expone a numerosas plagas. Entre los factores que influyen en la aparición de estas plagas y enfermedades en el cultivo se encuentran las condiciones climáticas, las labores de preparación del terreno, la rotación de cultivos y el control de malas hierbas, entre otros (Deras, 2020).

Los ecosistemas naturales y los artificiales (como cultivos agrícolas, plantaciones forestales o fincas ganaderas) para comprender las causas de la proliferación de plagas. Algunos de estos factores que pueden propiciar la aparición de plagas son: La transformación de áreas de vegetación natural en extensas áreas de cultivo homogéneas, lo que favorece la

abundancia excesiva y concentrada de alimento, permitiendo que herbívoros o patógenos alcancen niveles epidémicos. La eliminación de la vegetación silvestre que servía como refugio o fuente de alimento para enemigos naturales de las plagas, lo que reduce su densidad y, por ende, aumenta la de la plaga.

La introducción de cultivos exóticos en nuevas regiones, que pueden ser atacados por organismos no antes relacionados con ellos, generando la transformación de un organismo inofensivo en plaga (Zelaya-Molina et al., 2022).

La llegada accidental de organismos a una nueva región o país, y su rápido incremento de densidad, creando problemas de plagas inexistentes previamente. El uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos ha llevado a regulaciones más estrictas y a la necesidad de productos que controlen las plagas agrícolas minimizando el impacto ambiental y en la salud humana (Pardo-Locarno et al., 2012).

#### **2.1.10. El control de *Spodoptera frugiperda***

Es importante monitorear la presencia y densidad de la población de la plaga para facilitar el momento óptimo de prácticas de manejo, como la aplicación de insecticidas. El monitoreo de *S. frugiperda* se puede realizar mediante trampas de feromonas que indican la presencia o ausencia de la plaga, así como los patrones de vuelo de las polillas a lo largo del tiempo (Starratt & McLeod, 1982). Esta plaga es difícil de controlar debido a su amplio rango de hospedadores, distribución geográfica extensa, desarrollo de resistencia a los insecticidas, así como su capacidad de movimiento rápido y a larga distancia, lo que puede funcionar como un mecanismo de escape frente a los enemigos naturales (Knipling, 1980; Casmuz et al., 2010).

En el área de los Estados Unidos, se puede aplicar un manejo a nivel regional controlando las diferentes cepas de *S. frugiperda* en los sitios de hibernación utilizando información sobre la distribución de estas cepas entre las plantas hospedantes. El control de

la plaga en los sitios de hibernación puede retrasar o reducir la migración hacia el norte de las polillas (Meagher & Nagoshi, 2004).

#### **2.1.10. Manejo Integrado de Plagas (MIP)**

Se trata de un enfoque de gestión de plagas que considera el conocimiento detallado de los hábitos, ciclo vital, requerimientos y aversiones de la plaga. Prioriza el uso inicial de métodos menos nocivos, monitorea continuamente la actividad de la plaga y adapta las estrategias con el tiempo. Además, incluye la tolerancia hacia plagas que no representan un riesgo significativo y establece un umbral claro para determinar cuándo es necesario tomar medidas.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) busca utilizar de manera más eficiente las estrategias disponibles para controlar las poblaciones de plagas, tomando acciones preventivas que eviten problemas y reduzcan los niveles de daño, empleando el control químico solo en situaciones extremadamente necesarias. En lugar de intentar erradicar las plagas, el MIP se enfoca en prevenir su desarrollo o reducir el número de poblaciones de plagas a niveles por debajo de lo que sería económicamente perjudicial (FAO, 2008). La FAO (2008) enumera los siguientes principios fundamentales del MIP:

Exclusión: Prioriza la prevención de la entrada de plagas en los campos de cultivo

Supresión: Intenta reducir las poblaciones de plagas por debajo de niveles que puedan causar daños económicos.

Erradicación: Busca la completa eliminación de una plaga específica.

Plantas resistentes: Se centra en el desarrollo de variedades vegetales sanas y vigorosas que sean resistentes a ciertas plagas.

### **2.1.11. Bioinsecticidas**

Un bioinsecticida abarca organismos vivos como hongos, bacterias o virus que tienen la capacidad de eliminar insectos. También puede ser una sustancia química natural presente en una planta específica, con la capacidad de repeler o eliminar a los insectos (Fernández, 2009).

### **2.3.14. Uso de bioinsecticidas para el control del cogollero**

Estos productos se elaboran utilizando elementos básicos derivados de hojas, raíces, tubérculos, semillas y frutos, como hojas de tabaco, albahaca, paraíso, neem, sábila, papaya, ciprés, flor de muerto, orégano, tubérculos, raíces y frutos de ajo, cebolla, chile picante, semillas de anona, mamey e higuera, y cortezas de eucalipto (Trejo, 2013). La función primordial de los insecticidas orgánicos radica en reducir los efectos nocivos causados por diversos tipos de insectos que atacan cultivos, ya sean hortalizas, granos básicos o cultivos no tradicionales (Santana, 2014).

### **2.3.15. Neem para manejo del cogollero**

El árbol de neem (*Azadirachta indica*), originario del sudeste asiático, utiliza sus hojas y semillas para el control del cogollero al actuar como un inhibidor de su desarrollo. Todas las partes de este árbol contienen químicos naturales que funcionan como insecticida, siendo las semillas las que tienen la mayor concentración de extracto utilizado para elaborar este compuesto. La sustancia clave en el efecto insecticida se conoce como *azadirachtin*, la cual detiene la alimentación del insecto y evita su reproducción o desarrollo metamórfico completo (Negrete & Morales, 2003).

Los componentes del neem generan repelencia y efectos anti-alimentación en los insectos, además de provocar desórdenes hormonales en sus etapas inmaduras. También pueden reducir la fertilidad y causar esterilidad parcial o total en los huevos. Se han identificado 25 ingredientes diferentes del neem, siendo *nimbin* y *salannin* los más relevantes, y estos no tienen efectos adversos en los seres humanos. De hecho, en la India, de donde es

originario, se ha utilizado durante milenios con propósitos medicinales. No obstante, algunas especies de insectos beneficiosos podrían verse afectadas por su uso (Valarezo, 2005).

Se ha observado que el extracto de hoja de neem al 20 %, aplicado en cuatro ocasiones, mostró efectos similares al control químico en el porcentaje de daño a las plantas de maíz durante los primeros 54 días después de la siembra (Montes et al., 2008).

### **2.3.16. Insecticida botánico a base de tabaco**

Las propiedades insecticidas de la nicotina se conocen desde el siglo XVIII, y se cree que en la antigua cultura americana se utilizaba para ahuyentar mosquitos. Se ha demostrado su efectividad para afectar el sistema nervioso de insectos que atacan cultivos como el maíz y árboles como el eucalipto (Bandoly et al., 2015)

Las hojas secas del tabaco se utilizan para controlar el gusano cogollero del maíz debido a las sustancias o toxinas que contienen, como la nicotina, que interfieren en la respiración del gusano y provocan su muerte. Este insecticida a base de tabaco actúa al ser ingerido por el gusano o al estar en contacto durante su aplicación en las hojas de maíz (Negrete et al, 2003).

La nicotina se encuentra en la planta de tabaco en forma de maleatos y citratos, no en estado libre. Es un insecticida de contacto no duradero, su acción imita la acetilcolina al unirse con su receptor en la unión neuromuscular. Esta interacción provoca contracciones musculares, convulsiones y finalmente la muerte del insecto (Maggi et al., 2005).

Los derivados de la nicotina se emplean para controlar insectos plaga. La cantidad de nicotina en un cigarrillo, apenas estimulante para un ser humano, resulta letal para los insectos. Aunque podría parecer que esta sustancia perjudicial del tabaco puede ser útil para la sociedad, su uso plantea desafíos complejos (Bandoly et al., 2015).



## **2.2. Bases teóricas de contextual**

### **2.2.1. Bioinsecticidas entomopatógenos**

El término bioinsecticida se refiere a cualquier compuesto derivado de fuentes vegetales, animales o minerales que, una vez formulado, se usa eficazmente contra las plagas de insectos. Estos agentes pueden provocar la muerte de los insectos o actuar como imitadores de las hormonas de los insectos, inhibiendo o estimulando distintos procesos biológicos como la repelencia, la acción antialimentaria o la esterilidad (Nava-Pérez et al., 2012).

En los últimos años, se ha experimentado un progreso considerable en el desarrollo de bioinsecticidas entomopatógenos para el control de plagas de insectos. Su aplicación en la agricultura como insecticidas biológicos ha aumentado significativamente, ya que representan una alternativa rentable en los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Estos agentes de control biológico ofrecen numerosas ventajas, como la seguridad para la salud humana y la fauna útil, la reducción de residuos de insecticidas en los alimentos y el fomento de la biodiversidad en el entorno (Pizarro et al., 2013).

### **2.2.2. *Beauveria bassiana***

*B. bassiana* se ha convertido en el agente principal de control biológico debido a su amplia distribución, manejo sencillo y su habilidad para penetrar a los hospedantes, así como por su potencial insecticida sobre múltiples especies. Este hongo entomopatógeno, clasificado dentro de la clase *Deuteromycetes*, tiene la capacidad de infectar a más de 200 especies de insectos plaga. Su estructura reproductora, conocida como conidio, es clave en su desarrollo, lo que lo posiciona en la categoría de hongos superiores (conocidos como hongos imperfectos) y suele parasitar una amplia variedad de insectos (Castillo et al., 2014).

Como bioplaguicida o endófito, *B. bassiana* representa una opción segura para el control ambiental de plagas de insectos, siendo además aprobado para su uso en programas de producción orgánica (Gaviria et al., 2020).

Las larvas afectadas presentan una tonalidad blanca o grisácea. Tienen una amplia gama de huéspedes que abarca desde moscas blancas y pulgones (Hemípteros) hasta saltamontes (Ortópteros), escarabajos (Coleópteros) y mariposas (Lepidópteros) (Fernández et al, 2019).

### **2.1.3. *Metarhizium anisopliae***

Fue uno de los primeros microorganismos empleados en el control biológico de insectos. Este hongo se considera cosmopolita debido a su presencia en diversos lugares del mundo, gracias a su notable capacidad para adaptarse a distintas condiciones ambientales. Actúa como un parásito autónomo, pudiendo desarrollarse como parásito de insectos o como saprófito. Pertenece a la subdivisión *Deuteromycotina* y a la clase *Hyphomycetes*, y se reproduce asexualmente mediante conidióforos que emergen de hifas ramificadas. (de Bekker et al., 2013).

Su amplio rango de insectos hospederos abarca 204 especies pertenecientes a 7 órdenes distintos (ortópteros, hemípteros, dípteros, lepidópteros, dermápteros, himenópteros y coleópteros) (de Bekker et al., 2013).

Este hongo tiene la capacidad de adherirse a la cutícula de los insectos y penetrar en su interior a través de partes blandas o por ingestión. Su micelio suele presentar un color verde oliva, y el conidióforo, que surge del micelio, se caracteriza por su ramificación irregular con dos o tres ramas en cada septo. Las conidias, de aspecto algodonoso a compacto, muestran una ligera pigmentación que va desde el amarillo hasta la verde oliva, y adoptan formas ovoides o cilíndricas. Se producen en largas cadenas sucesivas de manera basipétala (de Bekker et al., 2013).

### **2.2.3. *Bacillus thuringiensis***

Dentro del conjunto de bacterias, las pertenecientes al género *Bacillus* son las más comúnmente empleadas en el control de plagas de insectos. *B. thuringiensis* es una bacteria

aerobia facultativa, esporulante y ubicua en su distribución, encontrándose en diversas zonas del mundo y en una amplia gama de entornos, tales como suelos, aguas, hojas de plantas, restos de insectos, telarañas y granos almacenados, entre otros (Grijalba et al., 2018).

La mayoría de las cepas de Bt producen cristales proteicos durante la etapa de esporulación, los cuales muestran una actividad específica contra larvas de lepidópteros, dípteros, coleópteros, hemípteros, himenópteros y malófagos (Grijalba et al., 2018).

Su efectividad como insecticida es específica para un conjunto limitado de especies huéspedes, usualmente cercanas taxonómicamente, pudiendo causar la muerte en un lapso de 48 horas. Las ventajas de utilizar estas bacterias radican en su capacidad para no dañar los cultivos, su no contaminación si se emplean de manera adecuada, y su actividad que no se ve afectada por altas temperaturas (Grijalba et al., 2018).

## **2.3. Bases teóricas situacional**

### **2.3.1 Métodos de utilización de los hongos patógenos**

Los hongos que afectan a los insectos pueden usarse mediante inoculación selectiva o introducciones focalizadas del agente para iniciar enfermedades y establecer la presencia del hongo en la población de insectos. Esto permite un control a largo plazo. También, pueden aplicarse de manera masiva como insecticidas microbianos, desencadenando una epidemia en la población que lleva a una reducción rápida de los insectos. La efectividad de estos hongos depende de su fuerza y persistencia, así como de factores como el estado del insecto al que se aplica o la presencia de otros estresores en ese momento. Sin embargo, el éxito de estos insecticidas microbianos está principalmente determinado por cómo reaccionan ante diferentes condiciones ambientales (Napoleão et al., 2013).

### **2.3.2. Mecanismo de funcionamiento de los hongos patógenos para los insectos**

Hasta ahora se han identificado más de 750 especies de hongos patógenos para los insectos, y continúa el aislamiento de nuevas cepas. Los más utilizados a nivel global son

*Metarhizium anisopliae* (33,9 %), *Beauveria bassiana* (33,9 %), *Isaria fumosorosea* (5,8 %) y *Beauveria brongniartii* (4,1 %) (Téllez-Jurado et al., 2009).

El proceso de desarrollo de la enfermedad en el insecto se divide en tres etapas: (1) adhesión y germinación de la espora en la cutícula del insecto, (2) penetración en el cuerpo del insecto y (3) crecimiento del hongo dentro de él (Téllez-Jurado et al., 2009)

Los hongos patógenos para los insectos no requieren ser consumidos por el insecto para ejercer su efecto; pueden infectar por contacto, adherencia de esporas en partes como la boca, membranas entre segmentos corporales o a través de los espiráculos (Pucheta et al., 2006).

Estos hongos patógenos infectan a los insectos huéspedes al ser atrapados por contacto en la parte exterior del cuerpo del insecto. Luego, encuentran un espacio adecuado para iniciar la relación patógeno-huésped, desarrollando túbulos germinativos y apresorios que facilitan su crecimiento dentro del insecto (Pucheta et al., 2006).

### **2.3.3. Modo de acción de *Bacillus thuringiensis***

El patrón común en el proceso infeccioso de las bacterias entomopatógenas, una vez que son ingeridas por las larvas de insectos, implica su colonización inicial del intestino. La bacteria tiende a replicarse en áreas específicas del intestino, generalmente en el intestino medio, donde produce toxinas y otros elementos de virulencia, como enzimas hidrolíticas. Estos elementos permiten la degradación de la membrana peritrófica y el acceso al hemocele de la larva (González-González et al., 2015).

Una vez en el hemocele, la bacteria encuentra un entorno nutricionalmente rico que promueve su replicación y la producción de más factores de virulencia. Esto le permite sobrevivir y enfrentar la respuesta inmune del insecto. La replicación bacteriana alcanza niveles tan altos que la larva finalmente muere debido a la septicemia resultante (Salazar-Magallon et al., 2015).

Los síntomas que se presentan cuando las larvas de insectos susceptibles ingieren cristales y esporas de Bt incluyen la interrupción de la ingesta, parálisis intestinal, diarrea, parálisis total y, finalmente, la muerte (Juárez-Hernández et al., 2015).

#### **2.3.4. Maneras de administrar *Bacillus thuringiensis* para el control de plagas**

Los bioinsecticidas, tanto los primeros desarrollados como muchos de los actuales, incorporan una mezcla de cristales y esporas de *B. thuringiensis* como su componente activo principal. A pesar de sus limitaciones, como su especificidad restringida a ciertos órdenes de insectos, baja potencia y corta toxicidad residual, estos productos han mantenido su popularidad y se han convertido en los agentes de control biológico más ampliamente aceptados (Sauka et al., 2021).

*B. thuringiensis* se destaca como la bacteria entomopatógena más utilizada en forma de biopesticida, ya sea por sí sola o combinada con pesticidas químicos. Se emplea extensamente en la protección de especies vegetales, en la agricultura comercial y en el control de dípteros vectores de enfermedades humanas como la malaria, el dengue hemorrágico, la fiebre amarilla y la filariasis. Esta versatilidad y amplio espectro de aplicaciones han contribuido significativamente a su uso generalizado en múltiples campos. (Mateus et al., 2021).

#### **2.3.5. Alphas**

Contienen ingredientes activos diseñados para atacar y controlar insectos perjudiciales para los cultivos. Estos ingredientes pueden incluir piretroides, organofosforados, neonicotinoides u otros compuestos químicos. Cada uno de estos tiene mecanismos de acción específicos contra diferentes tipos de plagas.

##### **Ingrediente activo y formulación**

- Ingrediente activo: lufenuron (100 g/L)

- Formulación: Concentrado emulsionable (EC)

### **Efectos del Alphanat en las diferentes etapas de desarrollo de las Spodoptera**

- **Etapa larval:** Los insecticidas suelen estar dirigidos a las larvas, ya que es en esta etapa cuando las plagas causan más daño a los cultivos. Pueden interferir con el sistema nervioso, el desarrollo o la alimentación de las larvas, causando su muerte.
- **Pupa:** Dependiendo de la formulación, algunos insecticidas también pueden tener efectos en las pupas, aunque esta etapa suele ser menos susceptible que la larval.
- **Adulto:** Algunos insecticidas también pueden afectar a los adultos, limitando su capacidad para poner huevos o reduciendo la viabilidad de los mismos.

#### **2.4 Estado del arte**

El gusano cogollero (*S. frugiperda*), una plaga recurrente en los cultivos de maíz demanda un control riguroso, especialmente cuando sus poblaciones alcanzan niveles elevados. En Ecuador, puede afectar significativamente el follaje del maíz, con informes que indican pérdidas superiores al 25 % (Cruz, 2013; Ávila-Rodríguez et al., 2023).

Esta plaga es reconocida como una de las más devastadoras para el maíz en las regiones tropicales y subtropicales de América. Las estimaciones de pérdidas económicas oscilan entre el 13 % y el 60 %, siendo particularmente graves en áreas temporales en estas zonas (Padilla, 2011; Barrios et al., 2019).

*S. frugiperda* es originaria de las regiones tropicales y subtropicales de las Américas. Si bien tiene su hábitat invernal restringido al sur de Florida y Texas en América del Norte, su presencia es prominente en la región tropical de América del Sur. Esta plaga ha evolucionado para adaptar su ciclo de vida a climas cálidos, lo que le permite reproducirse múltiples veces en una temporada de cultivo sin entrar en diapausa (Flanders et al., 2017; Kumela et al., 2019) resultando en daños significativos y pérdidas económicas considerables (Prasanna et al., 2018).

Los impactos más severos del gusano cogollero se manifiestan en las etapas iniciales de crecimiento de la planta y durante periodos de sequía. En ambientes cálidos y secos, las larvas maduras se dirigen hacia los tallos tiernos, causando daños desde la base de la planta. Además, su presencia se torna especialmente perjudicial durante la sequía, evidenciando su preferencia por las partes más sensibles de las hojas (Ángulo, 2000; Deras, 2020).

En cuanto a las estrategias de control, Ecuador ha explorado métodos culturales como el aprovechamiento de las lluvias constantes después de la siembra, periodo crítico para la puesta de huevos y eclosión de larvas. Estas lluvias actúan como un mecanismo natural al inducir altas tasas de mortalidad en las larvas más jóvenes, muchas de las cuales perecen al quedar atrapadas y ahogadas en el cogollo. Las sobrevivientes se enfrentan a la acción de parasitoides, depredadores y organismos entomopatógenos (Arredondo, 2016; García & Bautista, 2011; Lezama et al., 2005; Padilla, 2020; Valdés et al., 2024). A nivel global, el manejo ecológico de plagas y enfermedades ha cobrado importancia. Esta estrategia basada en la diversidad biológica y la calidad del suelo busca mantener el equilibrio biológico y ecológico, reduciendo los niveles poblacionales de plagas por debajo del umbral económico sin eliminar por completo a la plaga. El uso de insecticidas botánicos ha emergido como una alternativa prometedora, siendo más biodegradables y menos dañinos para el ambiente que sus equivalentes sintéticos (García et al., 1999; Nava-Pérez et al., 2012)

Los estudios internacionales, como la evaluación de *Bacillus thuringiensis* (Bt) en el control del gusano cogollero y la caracterización de cepas mexicanas de Bt, resaltan la efectividad de este agente como estrategia prometedora para el manejo del gusano cogollero en el maíz, tanto a nivel local como global (Ramos-Gourcy et al., 2022; Vázquez-Ramírez et al., 2015).

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Delimitación de la investigación**

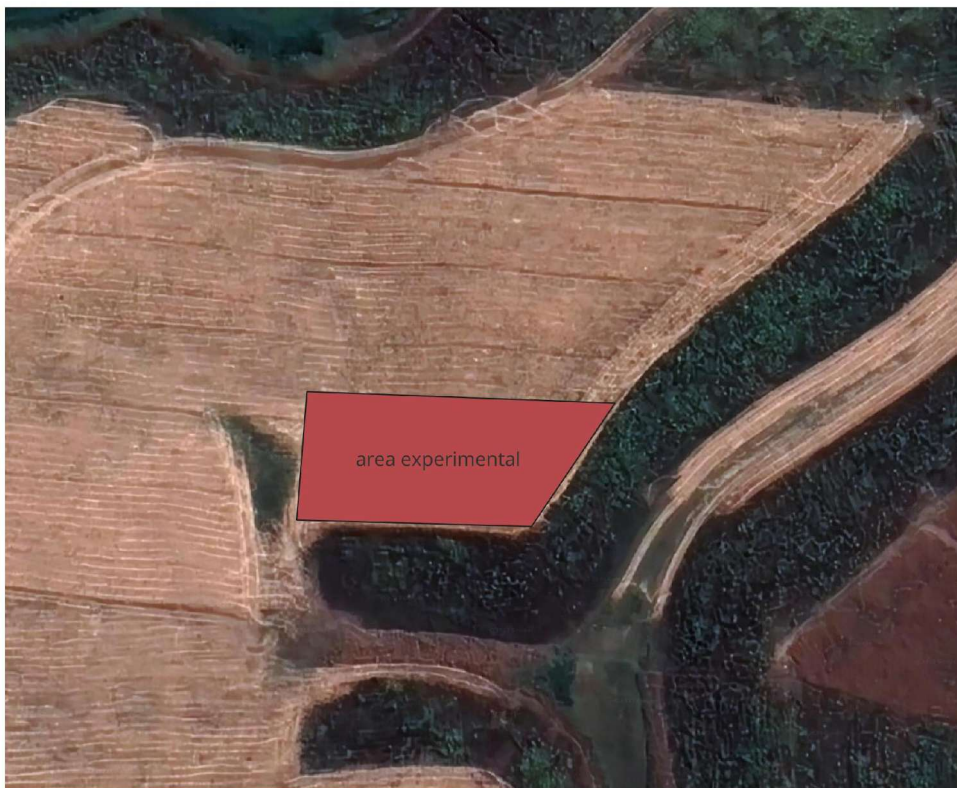
El presente trabajo de investigación fue realizado en la zona rural del cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos. El área de estudio se caracterizó por su clima tropical húmedo y su vegetación exuberante.

##### **3.1.1 Espacio**

En el estudio, se evaluará la eficacia de los métodos de control biológico y químico de *Spodoptera frugiperda*, una plaga importante del cultivo de maíz en la provincia de Los Ríos. El estudio se realizará en la época lluviosa de 2024 y se espera que los resultados permitan identificar el método de control más eficaz y rentable para este cultivo.



El sitio experimental se encuentra situado en  $-1,47597177$  S,  $-79,5191737$  W de longitud oeste, a la altitud de 14 msnm. (Sistema de Posicionamiento global GPS).



Comparación de métodos de control biológico y químico de *Spodoptera frugiperda* en plantaciones de maíz en la provincia de Los Ríos, 2024

Farah Castillo Dylan Ased

Quinta Los Guayacanes, Canton Puebloviejo

( $-1.4759717$ ,  $-79.5191737$ )

**Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Fuente: el autor)**

### 3.1.2 Características del lugar

**3.1.2.1 Clima:** El cantón Pueblo viejo se encuentra ubicado en la región tropical húmeda del Ecuador. El clima es cálido y húmedo, con una temperatura promedio anual de 25 °C. La precipitación anual es de aproximadamente 2.500 mm (INAMHI, 2023).

**3.1.2.2 Suelo:** El suelo del cantón Pueblo viejo es de tipo franco arcilloso, con un buen drenaje. Este tipo de suelo es ideal para el cultivo de banano, cacao, maíz, arroz, yuca, papaya, y otros productos agrícolas (MAG, 2023).

**3.1.2.3 Humedad:** La humedad relativa promedio durante los meses de enero a abril es del 80%. Los meses más húmedos son marzo y abril, con una humedad relativa promedio del 85%. Los meses más secos son enero y febrero, con una humedad relativa promedio del 75% (INEC, 2023).

**3.1.2.4 Temperatura:** La temperatura máxima promedio en el cantón Pueblo viejo en los meses de enero a abril es de 30 °C. La temperatura mínima promedio es de 20 °C (INEC, 2023).

**3.1.2.5 Precipitaciones:** La precipitación promedio durante los meses de enero a abril es de 700 mm. Los meses más lluviosos son marzo y abril, con una precipitación promedio de 1000 mm. Los meses más secos son enero y febrero, con una precipitación promedio de 500 mm (INEC, 2023).

### 3.1.3 Tiempo:

La duración del proyecto es de 5 meses, desde el mes de enero hasta el mes de mayo.

- Implementación del diseño experimental
- Evaluación de la severidad de la infestación de *Spodoptera frugiperda*

### **3.1.4 Población**

La población objeto de estudio para la investigación sobre métodos de control de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz estará compuesta por agricultores y parcelas de maíz. La muestra de agricultores será representativa y contempla variables como la diversidad de prácticas agronómicas, el tamaño de las parcelas y la ubicación geográfica.

La inclusión de diferentes sistemas de cultivo permitirá una comparación robusta y completa de los métodos de control, generando conclusiones relevantes y aplicables a diversos escenarios agrícolas. Se estima que el trabajo de titulación podría beneficiar a más de 10.000 productores de maíz en la provincia de Los Ríos.

## **3.2 Enfoque de la investigación**

### **3.2.3 Tipo de investigación**

La investigación propuesta es de tipo cuantitativo-cualitativo, de campo y experimental. Se recopilaron datos cuantitativos para evaluar la eficacia de los métodos de control en términos de porcentaje de plantas afectadas por la plaga, rendimiento del cultivo y costo del tratamiento. También se recopilaron datos cualitativos para comprender las percepciones de los productores de maíz sobre los métodos de control.

La investigación se realizó en las plantaciones de maíz de la provincia de Los Ríos, donde se manipularon dos tratamientos: el método de control (biológico o químico) y el testigo absoluto. El nivel de conocimiento es explicativo, ya que el objetivo es explicar la eficacia de los métodos de control.

### **3.2.4 Diseño de investigación**

El diseño de investigación que se utilizará será de Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Este diseño experimental permite controlar las variables que pueden afectar los resultados de la investigación, como el efecto del suelo y el clima.

El diseño experimental de DBCA se compone de tres tratamientos:

- **Tratamiento 1:** control biológico con el hongo entomopatógeno 1 kg/ha de *Beauveria bassiana*.
- **Tratamiento 2:** control químico con el insecticida Alphacor 1L/ha
- **Tratamiento 3:** Testigo absoluto

### 3.3 Metodología

#### 3.3.3 Variables

Las variables que se estudiarán en esta investigación son las variables independientes y dependientes.

##### 3.3.3.1 Variables dependientes

- Incidencia de *Spodoptera frugiperda*
- Severidad de la infestación de *Spodoptera frugiperda*
- Rendimiento del cultivo de maíz

##### 3.3.3.2 Variables independientes

- **Control biológico:** Uso de organismos vivos para controlar una plaga. En este caso, se utilizará el hongo entomopatógeno "*Beauveria bassiana*".
- **Control químico:** Uso de productos químicos para controlar una plaga. En este caso, se utilizará el insecticida Alphasg.

#### 3.3.4 Hipótesis

La hipótesis de la investigación es que el control biológico con *B. bassiana* es más efectivo que el control químico para controlar *S. frugiperda* en plantaciones de maíz.

#### 3.3.5 Diseño experimental

El diseño de un experimento con parcelas de 5 m x 5 m (25 m<sup>2</sup>), con 4 repeticiones, cada surco (hilera) con 30 plantas, con un distanciamiento de siembra de 20 cm entre plantas

y 75 cm entre hileras, dando una sumatoria de 120 plantas por tratamiento y tendrá un total de 360 plantas en todo el ensayo.

Los tratamientos estarán distribuidos en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

Para analizar los datos, se utilizará un análisis de varianza (ANOVA). El ANOVA es una prueba estadística que se utiliza para comparar las medias de dos o más grupos.

En este estudio, se utilizará la prueba de Tukey para comparar las medias de los tratamientos al nivel de significación de  $p < 0.05$ .

### 3.3.6 Recursos

La investigación propuesta requerirá los siguientes recursos:

- **Material genético:** Para el experimento se utilizarán semillas de maíz de la variedad híbrido emblema.
- **Materiales de campo:** Libro de campo, cinta métrica, piola, estacas, bomba de mochila, *Beauveria bassiana*, insecticida Alphasag.
- **Materiales de oficina:** Hojas de papel, bolígrafos, lápices, borrador, sacapuntas, escritorio.
- **Equipos:** Computadora, impresora, cámara fotográfica, celular, etc.

Recursos utilizados			
Materiales	Descripción		Valor total
Arriendo	1	ha	\$ 400,00

Semilla	25	kg	4,5	\$ 112,50
Preparación Terreno	2	Unidad	20	\$ 40,00
Siembra	1	Unidad	30	\$ 30,00
Fertilización	3	Unidad	120	\$ 360,00
Fungicidas aplicación	4	Frasco	30	\$ 120,00
Manejo de Malezas	3	Unidad	60	\$ 180,00
Cosecha	1	Unidad	150	\$ 150,00
Aplicación de los tratamientos	2	Unidad	50	\$ 100,00
Trampas	10	Unidad	11	\$ 110,00
feromonas	5	Cajas	20	\$ 100,00
Bomba	1	Unidad	30	\$ 30,00
Insecticida	3	Litro	8,5	\$ 25,50
Hongo benéfico	1	Kg	25	\$ 25,00
Tabla de campo	1	Unidad	5	\$ 5,00
Libro de campo	1	Unidad	10	\$ 10,00
Esfero	2	Unidad	0,5	\$ 1,00
Hojas	100	Unidad	0,05	\$ 5,00
Jornales	10	Unidad	20	\$ 200,00
Total				\$ 2000,50

(Farah, 2024).

### 3.3.7 Métodos y Técnicas

En este proyecto, el método inductivo se utilizará para recopilar información sobre los métodos de control de *Spodoptera frugiperda* en la provincia de Los Ríos. El método deductivo se utilizará para organizar los datos de la investigación y el método experimental se utilizará para evaluar la eficacia de los diferentes métodos de control.

#### 3.3.7.1 Método inductivo:

Recopilación de artículos que estudien los efectos de los métodos de control biológico y químico de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz en la provincia de Los Ríos. También se buscará artículos que estudien la eficacia de diferentes métodos de control en diferentes tipos de maíz o en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

#### 3.3.7.2 Método deductivo:

Se organizará los datos de acuerdo con las siguientes categorías:

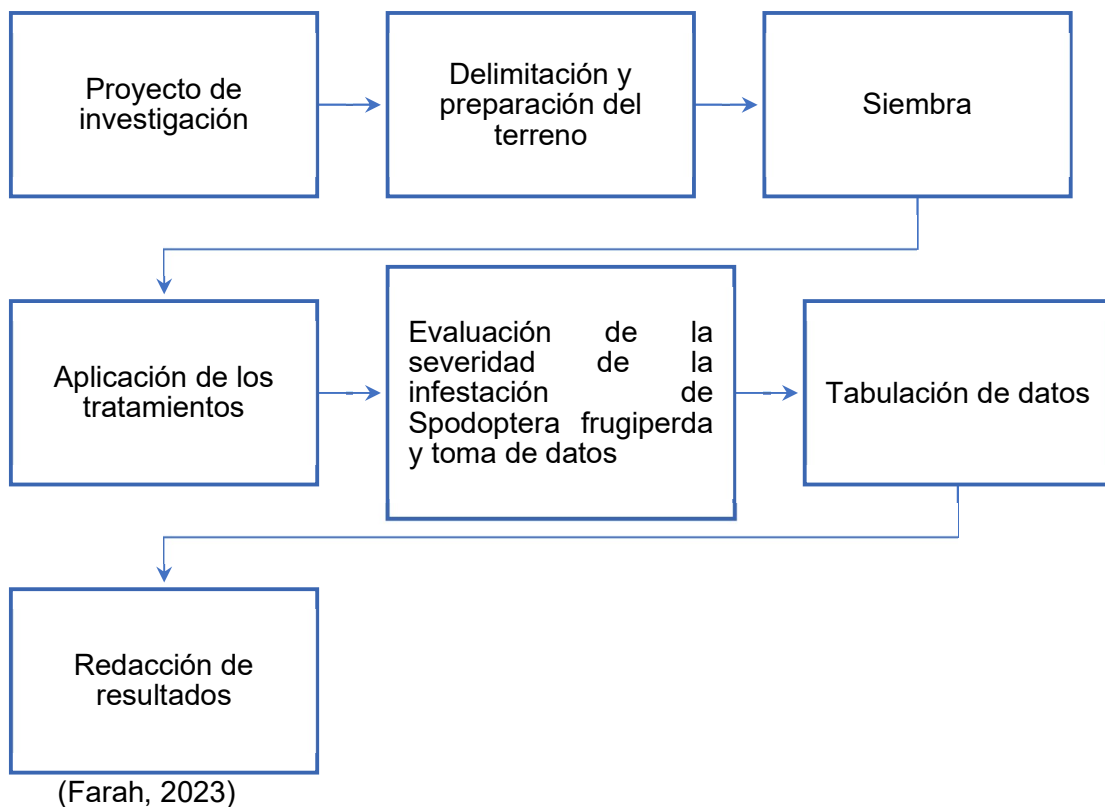
- Características de las parcelas de cultivo: tipo de maíz, distancia de siembra, etapa de desarrollo del cultivo, etc.
- Métodos de control aplicados: biológico, químico o testigo absoluto

### 3.3.7.3 Método experimental:

Se va a realizar un ensayo de campo para comparar el rendimiento del maíz en parcelas que se han tratado con diferentes métodos de control.

#### 3.3.7.1 Diagrama de flujo de las actividades experimentales

Tabla 1. Flujo de actividades



### 3.3.8 Análisis estadístico

Los datos se procesaron utilizando el análisis de varianza y las medidas se compararon por la prueba de Tukey para establecer las diferencias estadísticas entre las medidas de cada tratamiento en el estudio.

Tabla 2. Anova estadístico del experimento

<b>Fuente de variación</b>		<b>Grados de libertad</b>
Repeticiones	$(r-1)$	4
Tratamientos	$(t-1)$	2
Error experimental	$(r-1)(t-1)$	8
Total	$(t \times r) - 1$	14

(Farah, 2024)



### 3.4 Cronograma de actividades

Tabla 3. Tabla de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES		2024																				
		Meses																				
Objetivo general	Comparar los métodos de control biológico y químico para gestionar la población de <i>Spodoptera frugiperda</i> en plantaciones de maíz, evaluando su eficacia, impacto ambiental y sostenibilidad, con el fin de proporcionar recomendaciones para optimizar la gestión integrada de plagas en cultivos de maíz.																					
Objetivos específicos	Actividades	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo																
Evaluar la reducción de la población de <i>Spodoptera frugiperda</i> mediante métodos biológicos y químicos.	Adquisición de los materiales y equipos necesarios																					
	Selección de las parcelas de estudio																					
	Preparar suelo																					
	Implementación del diseño experimental																					
	Evaluación de la severidad de la infestación de <i>Spodoptera frugiperda</i>																					
Estudiar la posible resistencia de la plaga a los agentes de control biológico y químico.	Liberación del controlador biológico																					
	Aplicación del insecticida																					
	Evaluación de la severidad de la infestación de <i>Spodoptera frugiperda</i> (presencia o ausencia )																					
Realizar un análisis de costos para determinar la rentabilidad de los métodos biológicos y químico	Medición del rendimiento del cultivo de maíz																					
	Análisis estadístico de los datos																					
	Redacción del informe final de la investigación																					

(Farah, 2024)

### 4. Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación sobre el control de *Spodoptera frugiperda* son en base a los siguientes objetivos:

**4.1. Determinar la reducción de la población de *S. frugiperda* mediante métodos biológicos y químicos.**

Se determinó la mortalidad de larvas en los tratamientos estudiados, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de la varianza de la mortalidad de larvas de *S. frugiperda*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	92,27	6	15,38	21,46	0,0002
Tratamiento	87,6	2	43,8	61,12	<0,0001
repeticones	4,67	4	1,17	1,63	0,2581
Error	5,73	8	0,72		
Total	98	14			

En la Tabla 4, se muestran diferencias significativas entre los tratamientos estudiados

En la Tabla 5. Se muestra la prueba de rango múltiple de Tukey de la variable mortalidad

Tabla 5. Análisis de Tukey de la mortalidad de larvas de *S. frugiperda*

Tratamiento	Medias
Control	0 a
<i>Beauveria</i>	0,60 a
lufenuron	5,40 b

En el Tabla 5, se observa que el mejor tratamiento en reducir al 100 % es el insecticida lufenuron, mientras que *Beauveria* y el testigo fueron iguales entre sí

**4.2 Estudiar el efecto de los agentes de control biológico y químico sobre *S. frugiperda*.**

En la Tabla 6. Se muestra el efecto de los agentes de control biológico sobre *S. frugiperda*.

Tabla 6. Análisis de varianza de la mortalidad de *S. frugiperda* en maíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo	92,27	6	15,38	21,46	0,0002
Tratamiento	87,6	2	43,8	61,12	<0,0001
Repeticiones	4,67	4	1,17	1,63	0,2581
Error	5,73	8	0,72		
Total	98	14			

En esta Tabla se muestra que hubo diferencia estadística entre los tratamientos aplicados.

En el Tabla 7. Se muestra el Tabla la prueba de rango múltiple para la eficacia de los agentes de control sobre *S. frugiperda*

Tratamiento	Medias
Control	0,00 a
Beauveria	5,60 a
lufenuron	26,20 b

En el Tabla 7, se muestra que *Beauveria* no es efectivo para la mortalidad es 5,6

#### 4.3. Realizar un análisis de costos para determinar la rentabilidad de los métodos biológicos y químico

En la tabla 8, se muestran los diferentes rublos a considerar para el manejo de *S. frugiperda*

Tabla 8. Costos de ampliación de los tratamientos

Gastos ampliación	lufenuron	<i>Beauveria</i>
Jornal	40	40
producto	8,5	25
Frecuencia de aplicación (3)	25	75
Total	73,5	140

En relación la aplicación de lufenuron cuesta 8,5 \$ por ha mientras que *Beauveria* sp. en 25 dólares, por ende, los costos de aplicación de los insecticidas químicos y biológicos varían en 51 % respectivamente.

## 5. Discusión

El tratamiento con lufenuron demostró ser significativamente más efectivo que el tratamiento con *Beauveria* y el control, lo cual nos indica que el insecticida sintético fue más eficaz en reducir la población o actividad del organismo plaga en comparación con el hongo entomopatógeno.

Los resultados también resaltan la importancia de considerar tanto los métodos biológicos, como el uso de *Beauveria* y químicos, como el lufenurón, en la elaboración de estrategias integradas de manejo de plagas (Vélez et al., 2021). La combinación de diferentes métodos puede resultar en un control más efectivo y sostenible, minimizando el impacto ambiental y la resistencia de las plagas a los insecticidas (Pérez & García, 2022).

El análisis del efecto moderado observado con *Beauveria* en el control de *S. frugiperda* sugiere que, aunque este hongo entomopatógeno presenta un impacto positivo en la reducción de la población de la plaga, su eficacia no es significativamente diferente de la del control. Esto indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, *Beauveria* podría no ser lo suficientemente efectivo para ser considerado un método de control viable por sí solo.

Este resultado proporciona una perspectiva interesante sobre el potencial de *Beauveria* como agente de control biológico, la capacidad de este hongo para infectar y matar insectos plaga ha sido bien documentada en la literatura (Abalo, 2023). Sin embargo, la eficacia de *Beauveria* puede verse afectada por diversos factores ambientales, como la humedad, la temperatura y la presencia de otros microorganismos que podrían interferir con su acción (de la cruz et al., 2023).

La falta de diferencia significativa entre *Beauveria* y el control que, aunque el hongo tiene propiedades insecticidas, su aplicación en condiciones prácticas puede requerir optimización, podría incluir el ajuste de las dosis, la formulación del producto, el momento de aplicación y la combinación con otros métodos de control, como insecticidas químicos o prácticas culturales, para mejorar su efectividad (Cabrera et al., 2022).

Además, es importante considerar que el éxito en el uso de *Beauveria* como agente de control biológico podría depender de la selección de cepas específicas que sean más efectivas contra *S. frugiperda* y de la evaluación de su interacción con otros componentes del ecosistema agrícola (Palomino-Martínez et al., 2024).

La comparación de costos entre lufenurón y *Beauveria* sp. para el control de *Spodoptera frugiperda* revela consideraciones importantes tanto económicas como prácticas en la gestión de plagas. Lufenurón, con un costo de 8,5 dólares por hectárea, se presenta como una opción más económica en comparación con *Beauveria* sp., cuyo costo varía entre 25 y 40 dólares por hectárea, esta diferencia de precios influye en la decisión de los agricultores al seleccionar un método de control.

Desde el punto de vista económica, el uso de lufenurón podría ser más atractivo para los productores, especialmente en cultivos donde los márgenes de ganancia son ajustados. Sin embargo, es crucial considerar que el costo inicial no es el único factor a evaluar.

La eficacia a largo plazo y los efectos secundarios de los tratamientos también son aspectos fundamentales, lufenurón, como un insecticida químico, puede ofrecer resultados rápidos en el control de *S. frugiperda*, sin embargo, el uso excesivo puede llevar a la resistencia de la plaga y efectos negativos en el ecosistema (González et al., 2020).

Por otro lado, aunque *Beauveria* sp. tiene un costo más elevado, su uso como agente de control biológico puede proporcionar beneficios adicionales, este hongo entomopatógeno puede contribuir a la sostenibilidad del agroecosistema al reducir la dependencia de insecticidas químicos y al promover la biodiversidad (Faria & Wraight, 2001). Además, el uso de *Beauveria* podría resultar en un control más duradero y menos riesgo de resistencia, aunque su efectividad puede requerir optimización, como se mencionó anteriormente.

La inclusión de costos de mano de obra y diarios en el análisis también es esencial, los costos pueden variar significativamente dependiendo de la región y las prácticas agrícolas

específicas. Por lo tanto, aunque el lufenurón sea más barato en términos de costos de producto, los costos totales de aplicación (incluida la mano de obra) deben ser considerados para obtener una evaluación más completa de la viabilidad económica de cada opción.

## **6. Conclusiones y Recomendaciones**

En base a los resultados se concluye que:

Lufenuron demostró ser el tratamiento más eficiente en la reducción de la población de *S. frugiperda*, con una media significativamente superior a la del control ya la de *Beauveria* sp.

*Beauveria* sp. mostró un efecto positivo en el control de *S. frugiperda*, su eficacia no fue significativamente diferente del control. Esto indica que, aunque el hongo tiene potencial como agente de control biológico, su aplicación en las condiciones estudiadas podría requerir optimización para mejorar su efectividad.

El costo de aplicación es un factor crucial en la selección de métodos de control. Lufenurón, con un costo de 8,5 dólares por hectárea, es una opción más económica en comparación con *Beauveria* sp., que varía entre 25 y 40 dólares por hectárea. Sin embargo, es fundamental considerar también los costos de mano de obra y la sostenibilidad a largo plazo de cada método.

La utilización de *Beauveria* sp. como parte de un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP) podría ser beneficiosa a largo plazo, al reducir la dependencia de insecticidas químicos y minimizar el riesgo de resistencia en las poblaciones de plagas.

La combinación de métodos biológicos y químicos puede resultar en un control más efectivo y sostenible.

Recomendaciones:

Es necesario realizar más estudios para optimizar la aplicación de *Beauveria* sp., incluyendo la selección de cepas más efectivas y la evaluación de interacciones con otros métodos de control. Además, se deben investigar los costos totales de aplicación, incluidos los costos de mano de obra, para proporcionar una evaluación más completa de la viabilidad económica de cada opción.

## 7. Bibliografía

8. Abalo, M. (2023). *Evaluación de hongos entomopatógenos (Ascomycota: Hypocreales) como potenciales controladores del lepidóptero plaga Rachiplusia nu*

- (Guenée)(Lepidoptera: Noctuidae) del cultivo de soja (*Glycine max*) y su posible aplicación como bioinsecticidas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
9. Abdul, M., Bilal, H., Ali, H., Raza, H., & Wajid, M. (2021). Factors affecting the epizootics of entomopathogenic fungi-A review. *Journal of Bioresource Management*, 8(4), 5.
  10. Alphatag. (2022). Ficha técnica. Recuperado el 1 de Diciembre de 2023. de <https://www.afecor.com/wp-content/uploads/2018/02/ALPHACOR-FT-NA.pdf>
  11. Andrews, K. L. (1980). The whorlworm, *Spodoptera frugiperda*. *Central America and neighboring areas. Florida Entomologist*, 63(4), 456-467.
  12. Angon, P., Mondal, S., Jahan, I., Datto, M., Antu, U. B., Ayshi, F., & Islam, M. (2023). Integrated pest management (IPM) in agriculture and its role in maintaining ecological balance and biodiversity. *Advances in Agriculture*, 2023(1), 5546373.
  13. Ángulo, J. (2000). Manejo del gusano cogollero del maíz utilizando extractos de plantas. <http://www.agronet.gov.co>.
  14. Arredondo, e. C. (2016). Gusano cogollero en cultivo de maíz en Molcaxac, Puebla.
  15. Amrani, A., Diepeveen, D., Murray, D., Jones, M. G., & Sohel, F. (2024). Multi-task learning model for agricultural pest detection from crop-plant imagery: A Bayesian approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108719.
  16. Ávila-Rodríguez, V., Rivera-Zamarripa, D., Nava-Camberos, U., Czaja, A., García-de la Peña, M. C., Estrada-Rodríguez, J. L., ... & Ortega-Morales, A. I. (2023). Parasitismo Natural de *Spodoptera frugiperda* en Maíz en la Comarca Lagunera, México. *Southwestern Entomologist*, 48(1), 195-202.
  17. Bandoly, M., Hilker, M., & Steppuhn, A. (2015). Oviposition by *Spodoptera exigua* on *Nicotiana attenuata* primes induced plant defence against larval herbivory. *The Plant Journal*, 83(4), 661-672.
  18. Barrios, C., Quijano, E., & Andrade, B. (2019). Poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) causan notables daños en cultivos de maíz genéticamente modificados/Populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) cause



- significant damage to genetically modified corn crops. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8953.
19. Barros, E., Torres, J., Ruberson, J. R., & Oliveira, M. D. (2010). Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 137(3), 237-245.
  20. Baudron, F., Zaman-Allah, M., Chaipa, I., Chari, N., & Chinwada, P. (2019). Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop protection*, 120, 141-150.
  21. Berger, J. (1962). Maize production and the manuring of maize. *Maize production and the manuring of maize*.
  22. Bohatá, A., Folorunso, E. A., Lencová, J., Osborne, L. S., & Mraz, J. (2024). Control of sweet potato whitefly (*Bemisia tabaci*) using entomopathogenic fungi under optimal and suboptimal relative humidity conditions. *Pest Management Science*, 80(3), 1065-1075.
  23. Bonilla, A., & Singaña, D. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83.
  24. Buntin, G. (1986). A review of plant response to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), injury in selected field and forage crops. *Florida entomologist*, 549-559.
  25. Cabrera, I., Ortiz, D., & Díaz, H. (2022). Influencia de la temperatura y agentes de control biológico sobre *Bactericera cockerelli* (Sulzer)(Hemiptera: Psyllidae). *Revista de Protección Vegetal*, 37(2), cu-id.
  26. Candell, A. (2018). Efecto de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* en el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) del híbrido de Maíz (*Zea mays*) INIAP H-551 en la comuna Río Verde, provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 47-56.
  27. Castillo, D., Zhu-Salzman, K., Ek-Ramos, M., & Sword, G. (2014). The entomopathogenic fungal endophytes *Purpureocillium lilacinum* (formerly *Paecilomyces lilacinus*) and

- Beauveria bassiana* negatively affect cotton aphid reproduction under both greenhouse and field conditions. *PloS one*, 9(8), e103891.
28. Casmuz et al. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*.
  29. Chango, L. (2012). “Control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)”.
  30. Chen, W. H., Itza, B., Kafle, L., & Chang, T. Y. (2023). Life table study of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)(Lepidoptera: Noctuidae) on three host plants under laboratory conditions. *Insects*, 14(4), 329.
  31. Clavijo, S., & Greiner, G. P. (2000). Capítulo 6 Protección y Sanidad Vegetal, Sección 2 Insectos Plagas Del Maíz. In: P.
  32. Colmenarez, Y. C., & Vasquez, C. (2024). Benefits associated with the implementation of biological control programmes in Latin America. *BioControl*, 1-18.
  33. Cruz, O. (2013). El cultivo del maíz. *Manual para el cultivo del maíz en Honduras*.
  34. de Bekker, C., Smith, P., Patterson, A., & Hughes, D. (2013). Metabolomics reveals the heterogeneous secretome of two entomopathogenic fungi to ex vivo cultured insect tissues. *PloS one*, 8(8), e70609.
  35. Deras, H. (2020). Guía técnica: el cultivo de maíz. In: IICA.
  36. Devi, R., Chandra, U., Rajak, R. K., Kumar, P., Singh, S. K., & Veer, R. (2024). Biology of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on maize under laboratory conditions. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 463-469.
  37. Dingle, H. (1972). Migration Strategies of Insects: Migration is an environmentally modified physiological syndrome adapted for dispersal and colonization. *Science*, 175(4028), 1327-1335.
  38. de la Cruz, R., Mantínez, D., Ortega, J., & Coca, B. (2023). Interacción in vitro entre cepas cubanas de cuatro especies de hongos entomopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 38, cu-id.

39. dos Santos, V., Silva, B., Ribeiro, T., de Paiva, M., de Carvalho, A., & dos Santos, T. (2024). Natural life cycle and rearing of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the laboratory: Scientometric study and didactic scheme. *Seven Editora*, 1015-1025.
40. 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. *BioRxiv*, 391847.
41. Elósegui, O. (2006). Métodos artesanales de producción de bioplaguicidas a partir de hongos entomopatógenos y antagonistas. *La Habana-Cuba: Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV)*, 6-8.
42. FAO. (2023). *La importancia de los insecticidas para la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2023, de <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/ipm/integrated-pest-management/es/>
43. Fernández Gaitán, C. E., & Paico Marín, S. R. (2019). Concentración mínima efectiva del entomopatógeno *Beauveria bassiana* expuesta a radiación UV-C sobre *Spodoptera frugiperda* y *Cosmopolites sordidus*.
44. Flanders, K., Ball, D., & Cobb, P. (2017). Management of fall armyworm in pastures and hayfields. Alabama Cooperative Extension System. Alabama A&M and Auburn Universities.
45. Frank, E. (2024). The economic impacts of ecosystem disruptions: Costs from substituting biological pest control. *Science*, 385(6713), eadg0344.
46. García, C., & BAUTISTA, N. (2011). Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 37(2), 217-222.
47. García Roa, F. A., Mosquera, A. T., Vargas, C. A., & Rojas, L. (1999). Manejo integrado del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). In: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.

48. Gaviria, J., Parra, P. P., & Gonzales, A. (2020). Selection of strains of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales) for endophytic colonization in coconut seedlings. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 36(1), 3-13.
49. Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., & Tamò, M. (2016). First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PloS one*, 11(10), e0165632.
50. González-González, E., García-Hernández, A. L., Flores-Mejía, R., López-Santiago, R., & Moreno-Fierros, L. (2015). The protoxin Cry1Ac of *Bacillus thuringiensis* improves the protection conferred by intranasal immunization with *Brucella abortus* RB51 in a mouse model. *Veterinary microbiology*, 175(2-4), 382-388.
51. Grijalba, E., Hurst, M., Ibarra, J. E., Jurat Fuentes, J. L., & Jackson, T. (2018). Bacterias entomopatógenas en el control biológico de insectos.
52. Gross Jr, H., Young, J., & Wiseman, B. (1982). Relative susceptibility of a summer-planted dent and tropical flint corn variety to whorl stage damage by the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 75(6), 1153-1156.
53. Guaman, R. N. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* [online]. 2020, vol. 7, n. 2. In: ISSN.
54. Guillín et al. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de maíz en la zona norte de la provincia de Los Ríos. *Journal of Business and entrepreneurial studies* .
55. Hanway, J. (1969). Defoliation effects on different corn (*Zea mays*, L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development 1. *Agronomy journal*, 61(4), 534-538.
56. Hardke, J. T., Lorenz III, G. M., & Leonard, B. R. (2015). Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in southeastern cotton. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1), 10.
57. Hernandez-Mendoza, J. L., López-Barbosa, E., Garza-González, E., & Mayek-Perez, N. (2008). Spatial distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize

- landraces grown in Colima, México. *International Journal of Tropical Insect Science*, 28(3), 126-129.
58. Hogg, D. B., Pitre, H. N., & Anderson, R. E. (1982). Assessment of early-season phenology of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Mississippi. *Environmental Entomology*, 11(3), 705-710.
59. INAMHI. (2023). *Pronóstico climático para Ecuador*. Obtenido de <https://inamhi.gob.ec/pronostico-del-tiempo-y-productos/>
60. INEC. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. In.
61. INEC. (2023). *Proyección de población para el Ecuador*. Obtenido de <https://www.censoecuador.gob.ec/informacion-geografica/>
62. Jin, T., Lin, Y., Ma, G., Liu, J., Hao, Z., Han, S., & Peng, Z. (2021). Biocontrol potential of *Trichogramma* species against *Spodoptera frugiperda* and their field efficacy in maize. *Crop protection*, 150, 105790.
63. Juárez-Hernández, E., Casados-Vázquez, L., del Rincón-Castro, M., Salcedo-Hernández, R., Bideshi, D., & Barboza-Corona, J. (2015). *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* producing endochitinase ChiA74 $\Delta$ sp inclusions and its improved activity against *Aedes aegypti*. *Journal of applied microbiology*, 119(6), 1692-1699.
64. Knipling, E. (1980). 1980 Fall Armyworm Symposium: Regional Management of the Fall Armyworm--A Realistic Approach? *Florida entomologist*, 468-480.
65. Kumela, T., Simiyu, J., Sisay, B., Likhayo, P., Mendesil, E., Gohole, L., & Tefera, T. (2019). Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Ethiopia and Kenya. *International journal of pest management*, 65(1), 1-9.
66. Llanos, X., Macías, J., Mendoza, J., & Zambrano, E. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de maíz en la zona norte de la provincia de Los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studie*, 4(2).
67. León, G., & Pulido Fonseca, J. (1987). *Nuevas bases para el manejo del cogollero del maíz Spodoptera frugiperda*.

68. Lezama, R., Molina, J., López, M., Pescador, A., Galindo, E., Ángel, C., & Michel, A. (2005). Efecto del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* sobre el control del gusano cogollero del maíz en campo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(1).
69. Lee, K., McDermott, S., & Fernandez, L. (2024). Using economics to inform and evaluate biological control programs: opportunities, challenges, and recommendations for future research. *BioControl*, 1-16.
70. Linduska, J., & Harrison, F. (1986). Adult sampling as a means of predicting damage levels of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in grain corn. *Florida entomologist*, 487-491.
71. Ling, L., Feng, L., Li, Y., Yue, R., Wang, Y., & Zhou, Y. (2024). Endophytic Fungi Volatile Organic Compounds as Crucial Biocontrol Agents Used for Controlling Fruit and Vegetable Postharvest Diseases. *Journal of Fungi*, 10(5), 332.
72. Lü, D., Dong, Y., Yan, Z., Liu, X., Zhang, Y., Yang, D., ... & Li, Y. (2023). Dynamics of gut microflora across the life cycle of *Spodoptera frugiperda* and its effects on the feeding and growth of larvae. *Pest Management Science*, 79(1), 173-182.
73. Luginbill, P. (1928). *The fall army worm*. US Department of Agriculture.
74. Maggi, M. E., Mangeaud, A., Carpinella, M. C., Ferrayoli, C. G., Valladares, G. R., & Palacios, S. M. (2005). Laboratory evaluation of *Artemisia annua* L. extract and artemisinin activity against *Epilachna paenulata* and *Spodoptera eridania*. *Journal of chemical ecology*, 31, 1527-1536.
75. maps, G. (2023). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/1%C2%B028'33.5%22S+79%C2%B031'09.0%22W/@-1.4759717,-79.5191737,17z/data=!3m1!4b1!4m4!3m3!8m2!3d-1.4759717!4d-79.5191737?entry=ttu>
76. MAG. (2023). *Catálogo de suelos del Ecuador*. Obtenido de <https://agricultura.gob.ec/>
77. Martin, P., Wiseman, B., & Lynch, R. (1980). 1980 Fall Armyworm Symposium: Action Thresholds for Fall Armyworm on Grain Sorghum and Coastal Bermudagrass. *Florida entomologist*, 375-405.

78. Mateus, J. R., Dal’Rio, I., Jurelevicius, D., da Mota, F. F., Marques, J. M., Ramos, R. T. J., da Costa da Silva, A. L., Gagliardi, P. R., & Seldin, L. (2021). *Bacillus velezensis* T149-19 and *Bacillus safensis* T052-76 as potential biocontrol agents against foot rot disease in sweet potato. *Agriculture*, 11(11), 1046.
79. Meagher, R. L., & Nagoshi, R. N. (2004). Population dynamics and occurrence of *Spodoptera frugiperda* host strains in southern Florida. *Ecological Entomology*, 29(5), 614-620.
80. Midega, C., Pittchar, J., Pickett, J. A., Hailu, G. W., & Khan, Z. R. (2018). A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), in maize in East Africa. *Crop protection*, 105, 10-15.
81. Montezano, D., Specht, A., Sosa-Gómez, D., Roque-Specht, V., de Paula-Moraes, S., Peterson, J., & Hunt, T. (2019). Developmental parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immature stages under controlled and standardized conditions.
82. Murúa, G., Molina-Ochoa, J., & Coviella, C. (2006). Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *Florida entomologist*, 89(2), 175-182.
83. Napoleão, T., do Rego, B., Pontual, E., de Albuquerque, L. P., Sá, R. A., Paiva, L. M., Coelho, L., & Paiva, P. (2013). Deleterious effects of *Myracrodruon urundeuva* leaf extract and lectin on the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of stored products research*, 54, 26-33.
84. Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., & Vázquez-Montoya, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.
85. Negrete, F., & Morales, J. (2003). El gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda* Smith). In: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA.
86. Oliveira, J. A., Fernandes, L. A., Figueiredo, K. G., Corrêa, E. J., Lima, L. H., Alves, D. S., ... & Carvalho, G. A. (2024). Effects of essential oils on biological characteristics and potential molecular targets in *Spodoptera frugiperda*. *Plants*, 13(13), 1801.

87. Padilla, E. (2020). Enemigos naturales del gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae), en razas de maíces oaxaqueños.
88. Padilla, L. (2011). Conocer el ciclo biológico del gusano cogollero y el comportamiento alimenticio de la larva *Spodoptera frugiperda*. *Recuperado el*, 13.
89. Palomino-Martínez, J., Martínez-Sánchez, D., Torres-Cruz, N., Sandoval-Gasca, P., & Cruz-Avalos, A. M. (2024). Potencial de hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plagas agrícolas. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 28.
90. Pardo-Locarno, L., González, J., Pérez, C., Yepes, F., & Fernández, C. (2012). Escarabajos de importancia agrícola (Coleoptera: Melolonthidae) en la región Caribe colombiana: registros y propuestas de manejo. *Boletín del Museo Entomológico Francisco Luis Gallejo*, 4(4), 7-23.
91. Pérez, R., & García, N. (2022). Cartografía Colaborativa para el Manejo Integrado de Plagas: revisión y análisis. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 20(3).
92. Pizarro, D., Silva, G., Tapia, M., Rodríguez, J. C., Urbina, A., Lagunes, A., Santillán-Ortega, C., Robles-Bermudez, A., & Aguilar-Medel, S. (2013). Actividad insecticida del polvo de *Peumus boldus* Molina (Monimiaceae) contra *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(4), 420-430.
93. Pogue, M. (2011). Using genitalia characters and mitochondrial COI sequences to place "Leucochlaena" Hipparis (Druce) in *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 113(4), 497-507.
94. Prasanna, B., Huesing, J., Eddy, R., & Peschke, V. (2018). Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management.
95. Pressecq, T., Nicot, P. C., Bourgeay, J. F., Rousselin, A., Goillon, C., Bardin, M., & Tchamitchian, M. (2024). Using microbial biocontrol for disease control in French vegetable production: An analysis of the perspectives of farmers and farm advisors. *Crop Protection*, 180, 106648.



96. Pucheta, M., Flores, A., Rodríguez, S., & De la Torre, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12), 856-860.
97. Quesada-Moraga, E., González-Mas, N., Yousef-Yousef, M., Garrido-Jurado, I., & Fernández-Bravo, M. (2024). Key role of environmental competence in successful use of entomopathogenic fungi in microbial pest control. *Journal of Pest Science*, 97(1), 1-15.
98. Ramos-Gourcy, F., García-Munguía, A. M., Vázquez-Martínez, O., & Fuantos-Mendoza, J. M. (2022). Organismos entomopatógenos, control etológico y químico para el manejo de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) en maíz. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*(86).
99. Rose, A., Silversides, R., & Lindquist, O. (1975). Migration flight by an aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae), and a noctuid, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *The Canadian Entomologist*, 107(6), 567-576.
100. Salazar-Magallon, J. A., Hernandez-Velazquez, V. M., Alvear-Garcia, A., Arenas-Sosa, I., & Peña-Chora, G. (2015). Evaluation of industrial by-products for the production of *Bacillus thuringiensis* strain GP139 and the pathogenicity when applied to *Bemisia tabaci* nymphs. *Bulletin of Insectology*, 68(1), 103-109.
101. Sauka, D., Piccinetti, C., Vallejo, D., Onco, M., Perez, M., & Benintende, G. (2021). New entomopathogenic strain of *Bacillus thuringiensis* is able to solubilize different sources of inorganic phosphates. *Applied Soil Ecology*, 160, 103839.
102. Sena Jr, D., Pinto, F., Queiroz, D., & Viana, P. (2003). Fall armyworm damaged maize plant identification using digital images. *Biosystems Engineering*, 85(4), 449-454.
103. Starratt, A., & McLeod, D. (1982). Monitoring fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), moth populations in southwestern Ontario with sex pheromone traps. *The Canadian Entomologist*, 114(7), 545-549.
104. Téllez-Jurado, A., Cruz Ramírez, M. G., Mercado Flores, Y., Asaff Torres, A., & Arana-Cuenca, A. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, 30, 73-80.

105. Trujillo, A. (2020). Incidencia de insectos en el cultivo de Maíz morado (*Zea mays* L.) bajo condiciones de La Molina.
106. Tyagi, A., Lama Tamang, T., Kashtoh, H., Mir, R. A., Mir, Z. A., Manzoor, S., ... & Ali, S. (2024). A review on biocontrol agents as sustainable approach for crop disease management: Applications, production, and future perspectives. *Horticulturae*, 10(8), 805.
107. Vázquez-Ramírez, M. F., Rangel-Núñez, J. C., Ibarra, J. E., & Del Rincón-Castro, M. C. (2015). Evaluación como agentes de control biológico y caracterización de cepas mexicanas de *Bacillus thuringiensis* contra el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia*, 40(6), 397-402.
108. Valdés, Y. B., Minh, T. V., Piedra, A. L., Piñar, J. V. G., Ruiz, F. A., Rubio, O. E. C., & Castillo, N. (2024). Entomofauna associated with *Spodoptera frugiperda* in a maize agroecosystem in San José de las Lajas, Cuba. *Agronomía Colombiana*, 42(2), e115031-e115031.
109. Vélez, M., Betancourt, C., & Mendoza, J. (2021). Evaluación de diferentes momentos de aplicación de insecticida Metomil 90% para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. *Ciencia y Tecnología*, 14(2), 33-40.
110. Vickery, R. A. (1929). *Studies on the fall army worm in the gulf coast district of Texas*.
111. Wang, L., Keyhani, N. O., Xia, Y., & Xie, J. (2024). The potential and limitations of entomopathogenic fungi as biocontrol agents for insect pest management. *Entomologia Generalis*, 44(4).
112. Zhang, Q., Zhang, Y., Quandahor, P., Gou, Y., Li, C., Zhang, K., & Liu, C. (2023). Oviposition Preference and Age-Stage, Two-Sex Life Table Analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Different Maize Varieties. *Insects*, 14(5), 413.
113. Zelaya-Molina, L., Chávez-Díaz, I., de los Santos-Villalobos, S., Cruz-Cárdenas, C., Ruíz-Ramírez, S., & Rojas-Anaya, E. (2022). Biological pest control in Mexican agriculture. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE27), 69-79.

## Anexos



Figura 2. Planta tratada con *Beauveria bassiana*



Figura 3. Planta control



Figura 4. Planta tratada con lufenuron