



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

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO INVESTIGACIÓN

Evaluación bioinsecticida de *Bacillus thuringiensis*, en control de larvas del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smit) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el recinto Tres Postes, provincia del Guayas.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

AUTOR

Lagos Chichande Marllel Roberta

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024



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

CARRERA DE AGRONOMÍA

Evaluación bioinsecticida de *Bacillus thuringiensis*, en control de larvas del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smit) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el recinto Tres Postes, provincia del Guayas.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERA AGRÓNOMA

AUTOR

Lagos Chichande Marllel Roberta

TUTOR

DR. CÉSAR ALCÁCER SANTOS

GUAYAQUIL – 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: **Evaluación bioinsecticida de *Bacillus thuringiensis*, en control de larvas del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smit) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el recinto Tres Postes, provincia del Guayas.** elaborado por **MARLLEL ROBERTA LAGOS CHICHANDE** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del **3%**, 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

**LAGOS CHICHANDE MARLLEL ROBERTA
_TFC_19DIC2024**

3%
Textos sospechosos

3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: LAGOS CHICHANDE MARLLEL ROBERTA _TFC_19DIC2024.pdf	Depositante: CESAR ALCACER SANTOS	Número de palabras: 13.405
ID del documento: 71c115a37d013856ef3cfabcb992df1cf12bc198	Fecha de depósito: 17/12/2024	Número de caracteres: 96.415
Tamaño del documento original: 2,07 MB	Tipo de carga: interface	
Autores: []	fecha de fin de análisis: 17/12/2024	

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: **Evaluación bioinsecticida de Bacillus thuringiensis, en control de larvas del gusano cogollero (Spodoptera frugiperda Smit) en el cultivo de arroz (Oryza sativa) en el recinto Tres Postes, provincia del Guayas.**; 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: **LAGOS CHICHANDE MARLLEL ROBERTA**, 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

A Dios por darme sabiduría y resiliencia en mis momentos más difíciles.

A mis padres Robert y Ana por su comprensión y ayuda incondicional a lo largo de mi vida, por haber confiado en mí y enseñarme valores, principios que forjan una futura Ingeniera Agrónoma.

A mi hermano Isaac por siempre estar presente a lo largo del camino, espero también cumpla sus metas y termine su carrera.

A mi primo Jonathan Mayorga por estar conmigo desde el día cero de mi carrera apoyándome y alentándome para lograr mi objetivo, sin duda alguna es una suerte tenerlo en mi familia.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme salud y bienestar para poder cumplir mis metas, a mi familia que son mi base de todo lo que he logrado y lograre en un futuro.

Gracias a mi tutor de tesis Dr. César Alcácer por su paciencia y comprensión. Sus conocimientos, orientaciones, la manera de trabajar han sido fundamental para la culminación de mi tesis. A su manera ha sido capaz de ganarse mi admiración durante este periodo que ha durado mi tesis de grado.

Resumen

El arroz (*Oryza sativa*) es un cultivo esencial para la seguridad alimentaria, especialmente en Ecuador, donde plagas como *Spodoptera frugiperda* afectan gravemente los rendimientos. Este estudio evaluó la eficacia del bioinsecticida *Bacillus thuringiensis* (Bt) frente a insecticidas químicos en el control de esta plaga, con el fin de ofrecer alternativas sostenibles a los pesticidas tradicionales. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos (*Bacillus thuringiensis* (1L/ha); Insecticida químico (1L/ha); Testigo (sin tratamiento)). Para aislar la bacteria se recolectaron muestras de suelo y plantas de arroz, aislándose dos cepas de *B. thuringiensis* a través de un proceso de cultivo en medio LMA y pruebas bioquímicas se identificó a la bacteria. En campo, se aplicaron los tratamientos y se evaluaron los efectos sobre la población de larvas y adultos de *S. frugiperda* y *Rupela albinella*. Como resultado se obtuvo que *Bacillus thuringiensis* mostró ser más eficiente al comparable con el insecticida químico, reduciendo las poblaciones de larvas de *S. frugiperda* (0,33 larvas) y adultos de *R. albinella* (95,33 adultos), con menores efectos ambientales. El insecticida químico redujo las larvas de *S. frugiperda* a 0,67 y los adultos a 0,67, pero mostró un impacto ambiental negativo. El testigo presentó poblaciones significativamente mayores de plagas, con 50,67 larvas de *S. frugiperda* y 510,67 adultos de *R. albinella*. Se propone fomentar la utilización de *Bacillus thuringiensis* dentro de los programas de manejo integrado de plagas (MIP), debido a su alta efectividad, especificidad y su menor impacto ambiental en comparación con los insecticidas químicos.

Palabras Claves: Arroz, *Spodoptera*, *Bacillus*, *Rupela*. lepidopteros

Abstract

Rice (*Oryza sativa*) is an essential crop for food security, especially in Ecuador, where pests such as *Spodoptera frugiperda* severely affect yields. This study evaluated the efficacy of the bioinsecticide *Bacillus thuringiensis* (Bt) compared to chemical insecticides in controlling this pest, with the aim of offering sustainable alternatives to traditional pesticides. A randomized block experimental design was used with three treatments: *Bacillus thuringiensis* (1L/ha), chemical insecticide (1L/ha), and a control (no treatment). Soil and rice plant samples were collected to isolate the bacteria, and two strains of *B. thuringiensis* were obtained through a culture process in LMA medium and biochemical tests for identification. In the field, treatments were applied, and their effects on the populations of *S. frugiperda* larvae and *Rupela albinella* adults were evaluated. The results showed that *Bacillus thuringiensis* was more efficient compared to the chemical insecticide, reducing the populations of *S. frugiperda* larvae (0.33 larvae) and *R. albinella* adults (95.33 adults) with lower environmental impact. The chemical insecticide reduced *S. frugiperda* larvae to 0.67 and adults to 0.67, but showed negative environmental effects. The control treatment had significantly higher pest populations, with 50.67 *S. frugiperda* larvae and 510.67 *R. albinella* adults. It is recommended to promote the use of *Bacillus thuringiensis* in integrated pest management (IPM) programs due to its high efficacy, specificity, and lower environmental impact compared to chemical insecticides.

Keywords: Rice, *Spodoptera*, *Bacillus*, *Rupela*. lepidoptera

Índice Contenido

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Índice de tabla	9
Índice de figuras	10
1.1 Contexto general del estudio	1
1.2 Importancia local.....	2
1.3 identificación del problema	2
1.3.1 Pregunta de investigación	5
1.4. Limitaciones del Estudio.....	5
1.4.1 Condiciones ambientales variables	5
1.4.2 Resistencia de la plaga	5
1.4.3 Especificidad de las toxinas	5
1.4.4 Impacto en organismos no objetivo	6
1.4.5 Compatibilidad con sistemas agrícolas locales	6
1.4.6 Costo y disponibilidad del producto	6
1.4.7 Dificultades metodológicas	6
1.5 Justificación	6
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo general	8
1.6.2 Objetivos específicos	8
1.7 Hipótesis.....	8
2.2. Spodoptera frugiperda.....	11
3. Materiales y Metodología	23
3.1. Muestreo.....	23
3.1.3 Etiquetado y registro:	23
3.2. Aislamiento de la cepa	24
3.3 Identificación.....	25
3.3.1 identificación preliminar de Bacillus thuringiensis.....	25
3.4. Pruebas bioquímicas	26
3.4.1 Pruebas bioquímicas	26

3.4.2 Pruebas Básicas	26
3.5 Pruebas Adicionales y Paneles Bioquímicos	27
3.6 Limitaciones y Complementariedad	27
3.7 Evaluación de toxicidad.....	27
3.7. Selección de la cepa.....	28
3.8. Determinación del momento óptimo de aplicación.....	29
3.8.1 Monitoreo de la plaga.....	29
3.9. Preparación para la aplicación.....	29
3.10. Aplicación en campo.....	30
3.11. Registro de datos.....	30
3.12. Tratamientos.....	30
3.13 Diagrama de flujo	31
3.14 Diseño experimental.....	31
4. Resultados	31
5. Discusión	36
6. Conclusiones	40
7. Recomendaciones	41
8. Bibliografía	42

Índice de tabla

Tabla 1. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de <i>Bacillus</i> sobre larvas de <i>S. frugiperda</i>	30
Tabla 2. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de <i>Bacillus</i> sobre adultos de <i>S. frugiperda</i>	31
Tabla 3. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de los tratamientos sobre adultos de <i>R. albinella</i>	31
Tabla 4. Número larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> en el cultivo de arroz	32
Tabla 5. Número insectos adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> en el cultivo de arroz.	32
Tabla 6. Número insectos adultos de <i>Rupela albinella</i> en el cultivo de arroz.	33

Índice de figuras

Figura 1. Flujo de actividades	28
Figura 2. Medio acidificado parcialmente por el crecimiento de bacteria (A y B), medio LMA sin presencia de acidez (C), Medio totalmente ácido (D).	29
Figura 3. Aislados de bacterias de nódulos bacterianos en medio de cultivo LMA + B, 5 días después de la siembra. A). Bacteria translúcida y cremosa B). Amarillo cremoso C). Anaranjada rojiza cremosa D).	30

1. Introducción

1.1 Contexto general del estudio

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, constituyendo el alimento básico para más de la mitad de la población global. En términos de producción, el arroz es el segundo cereal más cultivado del mundo, después del maíz, con una producción total que superó los 510 millones de toneladas de arroz molido en 2023 (FAO, 2023). Asia es la principal región productora, aportando más del 90% del arroz mundial, con China e India encabezando la lista de países productores. China produjo cerca de 148 millones de toneladas en 2022, mientras que India registró una producción de aproximadamente 129 millones de toneladas en el mismo año (USDA, 2023).

En términos de consumo, el arroz no solo es vital para la seguridad alimentaria, sino que también juega un rol clave en la economía agrícola de muchos países en desarrollo. La mayoría de los productores son pequeños agricultores que dependen de este cultivo para su subsistencia. En muchos de estos países, el arroz es fundamental en las políticas agrícolas y de seguridad alimentaria, dadas sus implicaciones sociales y económicas (FAO, 2023).

A nivel mundial, se cultivan más de 164 millones de hectáreas, superficie en la cual se produce, en promedio, 756 millones de toneladas de este cultivo; teniendo como principales países exportadores a la India (34 %), Tailandia (17 %), Vietnam (12 %) y Pakistán (8 %) (SIPA, 2024).

En América Latina, el arroz es un cultivo esencial tanto para el consumo interno como para la exportación. Los principales países productores en la región son Brasil, Argentina, Colombia y Perú. Brasil lidera la producción regional, con un rendimiento anual de aproximadamente 11 millones de toneladas (FAO, 2022). Aunque el arroz brasileño se consume principalmente a nivel local, el país también exporta una parte significativa a otros países latinoamericanos y del mundo.

Colombia es otro importante productor, con una producción estimada de más de 2 millones de toneladas anuales. Aunque gran parte del arroz se consume localmente, Colombia también importa arroz para complementar su demanda interna debido a la alta tasa de consumo per cápita (Fedearroz, 2021). Perú y Argentina también contribuyen a la producción regional, con Perú registrando más de 3 millones de toneladas en 2022 (MINAGRI, 2022), lo que lo convierte en uno de los principales productores en Sudamérica.

En términos de productividad, los rendimientos en América Latina varían significativamente entre los países. Mientras que Brasil tiene un rendimiento relativamente alto gracias a la adopción de tecnologías avanzadas y sistemas de irrigación eficiente, otros países enfrentan desafíos relacionados con el clima, la falta de infraestructura y la resistencia de plagas como *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero), que ha afectado negativamente los rendimientos de arroz en diversas partes de la región (Muniappan et al., 2018).

1.2 Importancia local

En Ecuador, el arroz es un cultivo esencial tanto para la economía como para la seguridad alimentaria. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ecuador produce anualmente alrededor de 1,2 millones de toneladas de arroz, principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos, y Manabí (MAG, 2020). Estas zonas cuentan con suelos fértiles y climas tropicales adecuados para el cultivo del arroz. En particular, la provincia de Guayas es la mayor productora, contribuyendo con más del 50% de la producción nacional (INEC, 2021).

1.3 identificación del problema

El manejo de *Spodoptera frugiperda*, considerada una plaga del cultivo de arroz, presenta múltiples desafíos científicos que demandan soluciones basadas en evidencia (Rodríguez-Chalarca et al., 2024). La utilización de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como bioinsecticida ha mostrado un gran potencial, pero su eficacia puede estar condicionada por

factores ambientales, tales como la temperatura, la humedad y la exposición solar, que afectan directamente su viabilidad y persistencia en el campo (Xu et al., 2024).

Existe una creciente preocupación por el desarrollo de resistencia en las poblaciones de *S. frugiperda*, un fenómeno que podría limitar la efectividad a largo plazo de este bioinsecticida si no se implementan estrategias adecuadas de manejo integrado de plagas (MIP) (Chao et al., 2019). La resistencia es un desafío recurrente en el uso de biocontroladores, por lo que resulta esencial combinar su uso con otras prácticas agronómicas y herramientas químicas o biológicas que reduzcan la presión de selección sobre la plaga (Herrero et al., 2016).

La compatibilidad de *B. thuringiensis* con las prácticas agrícolas locales debe ser evaluada, especialmente en sistemas de producción de arroz en regiones tropicales. Esto incluye investigar su integración con el MIP y su impacto en los agroecosistemas, considerando que puede afectar a organismos no objetivo, lo que podría repercutir en la biodiversidad funcional del sistema agrícola (Zhou et al., 2024).

Comparado con los insecticidas químicos, el uso del Bt debe demostrar ser una opción económicamente competitiva que, al mismo tiempo, promueva una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Aswathi, et al., 2024).

Por otro lado, con estas interrogantes mediante investigaciones rigurosas permitirá optimizar el uso de este bioinsecticida en el manejo de *S. frugiperda* y fortalecer su aplicación en los cultivos de arroz.

Spodoptera frugiperda, conocida comúnmente como el gusano cogollero del maíz, es una plaga que genera un impacto significativo en diversos cultivos agrícolas, incluido el arroz. Su capacidad de adaptarse a distintas condiciones climáticas y alimentarse de una amplia variedad de plantas la convierte en una amenaza de gran relevancia económica (Leclerc et al., 2024). En particular, su presencia en los campos de arroz puede resultar devastadora, ya

que las larvas son responsables de severos daños en las hojas, los tallos y las panículas, lo que reduce considerablemente el rendimiento del cultivo (Liu et al., 2024).

Esta plaga pasa por varias etapas en su ciclo de vida: huevo, larva, pupa y adulto. Es durante la etapa larval que el daño es más evidente, ya que las larvas se alimentan vorazmente de las plantas (Marulanda-Moreno et al., 2024).

En el arroz, esto se traduce en defoliación de las hojas, perforación de los tallos y, en casos graves, destrucción de las panículas, lo que compromete la producción de granos (Liu et al., 2024). Este daño directo, combinado con las pérdidas económicas asociadas al manejo de la plaga, incrementa los costos de producción y puede desincentivar a los agricultores (Ragab & Tyshenko, 2023).

Las condiciones climáticas cálidas y secas favorecen el desarrollo de *Spodoptera frugiperda*, lo que la hace particularmente problemática en regiones tropicales y subtropicales. Además, la práctica de monocultivo, común en muchas áreas arroceras, facilita su proliferación, al ofrecer un suministro constante de alimento y refugio (Carranza, G. (2020). La ausencia de enemigos naturales, causada en gran medida por el uso indiscriminado de pesticidas, también contribuye al aumento de las poblaciones de esta plaga (del Puerto et al., 2014).

Aunque el control químico puede ser efectivo, debe usarse con cautela para evitar la resistencia de la plaga a los insecticidas. El uso de productos específicos, como los biopesticidas a base de *Bacillus thuringiensis* (Bt), es una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Ragab & Tyshenko, 2023). En conjunto, estas estrategias forman parte de un manejo integrado de plagas, cuyo objetivo es minimizar el impacto de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de arroz y garantizar la sostenibilidad de la producción (Marulanda-Moreno et al., 2024).

1.3.1 Pregunta de investigación

¿Es efectivo el uso de *Bacillus thuringiensis* como control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo del arroz?

¿Cómo interactúa el uso de *Bacillus thuringiensis* con otras prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo de arroz?

¿Cuál es la dosis óptima de *Bacillus thuringiensis* para controlar eficazmente las larvas del gusano cogollero en condiciones de campo?

1.4. Limitaciones del Estudio

1.4.1 Condiciones ambientales variables

La eficacia de *Bacillus thuringiensis* puede estar significativamente influenciada por las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad relativa y la exposición solar. Estas variables afectan la viabilidad de las esporas y la actividad de las toxinas Cry en el campo, limitando su persistencia y efectividad en el control de *Spodoptera frugiperda*. Estudios previos han demostrado que la degradación por radiación ultravioleta y la alta humedad pueden reducir la actividad biológica del bioinsecticida (Ragasruthi et al., 2024).

1.4.2 Resistencia de la plaga

El uso reiterado de *Bacillus thuringiensis* en sistemas agrícolas puede inducir la selección de poblaciones de *Spodoptera frugiperda* resistentes a las toxinas Cry. Esta resistencia podría reducir la efectividad del bioinsecticida en el tiempo, requiriendo estrategias complementarias para prevenir la pérdida de control sobre la plaga (Huang, 2021).

1.4.3 Especificidad de las toxinas

La especificidad de las proteínas Cry limita su acción a ciertos estadios larvales y especies objetivo. Esto implica que las aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* deben ser sincronizadas con los momentos de mayor susceptibilidad de las larvas de *Spodoptera frugiperda*, lo que puede complicar la implementación práctica en el cultivo de arroz (Bel et al., 2020).

1.4.4 Impacto en organismos no objetivo

Aunque *Bacillus thuringiensis* es considerado seguro para el medio ambiente, su impacto en organismos no objetivo, como depredadores, parasitoides o especies benéficas, podría variar dependiendo del contexto ecológico. Esto representa un desafío para su integración en programas de manejo integrado de plagas (MIP) (Silva-Filha et al., 2021).

1.4.5 Compatibilidad con sistemas agrícolas locales

El manejo de arroz en sistemas intensivos y tradicionales puede diferir en términos de prácticas culturales, uso de agroquímicos y manejo del agua, lo que afecta la efectividad del bioinsecticida. Esto indica que los resultados obtenidos en un contexto específico pueden no ser extrapolables a otras regiones sin ajustes técnicos (Ragasruthi et al., 2024).

1.4.6 Costo y disponibilidad del producto

La implementación de *Bacillus thuringiensis* en cultivos extensivos como el arroz puede enfrentar limitaciones económicas y logísticas, especialmente en regiones con recursos limitados. La producción, formulación y distribución del bioinsecticida deben ser accesibles para los agricultores para garantizar su adopción y aplicación sostenible (Sauka & Benintende, 2008).

1.4.7 Dificultades metodológicas

En estudios de campo, evaluar la eficacia de *Bacillus thuringiensis* puede complicarse debido a la variabilidad inherente en las infestaciones de plagas, las condiciones climáticas y la interacción con otros factores biológicos. Esto puede dificultar la obtención de resultados consistentes y reproducibles (Pohare et al., 2021).

1.5 Justificación

El arroz es el segundo alimento más consumido en el país después del plátano, con un consumo per cápita de alrededor de 50 kg por año. La producción se realiza en su mayoría

por pequeños y medianos agricultores, quienes se ven afectados por desafíos como la fluctuación de los precios internacionales, la dependencia de fertilizantes importados y el impacto de plagas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). En respuesta a estas amenazas, el gobierno y diversas organizaciones agrícolas han implementado estrategias de manejo integrado de plagas (IPM) para mejorar la productividad y reducir las pérdidas (MAG, 2021).

Además, el país ha comenzado a explorar el uso de tecnologías más sostenibles, como los Bioinsecticidas, entre ellos *Bacillus thuringiensis* para combatir plagas, lo que refleja un cambio hacia una agricultura más respetuosa con el medio ambiente. Este enfoque es crucial para mantener la viabilidad de la producción de arroz en el país, garantizando al mismo tiempo la seguridad alimentaria (Vargas et al., 2021).

Bacillus thuringiensis (Bt) se ha convertido en una herramienta valiosa para combatir plagas en muchos cultivos, aún hay mucho por descubrir sobre su efectividad en los arrozales. En particular, la interacción entre el Bt y el temido gusano cogollero sigue siendo un enigma que los científicos buscan descifrar. Comprender a fondo cómo actúa contra esta plaga es crucial para optimizar su uso y evitar que los insectos desarrollen resistencia a este poderoso aliado biológico.

Más allá de los beneficios para la agricultura, el Bt también representa una oportunidad para mejorar la economía rural. Al reducir la dependencia de pesticidas químicos, los agricultores pueden ahorrar dinero y proteger el medio ambiente. Además, cultivos más sanos y abundantes significan mayores ingresos y un acceso más fácil a mercados exigentes.

Pero los beneficios del Bt van más allá de la economía. Al garantizar una producción agrícola más segura y sostenible, contribuye a la seguridad alimentaria de las comunidades. Al mismo tiempo, al reducir la exposición a sustancias tóxicas, protege la salud de los agricultores y del entorno es una herramienta para controlar plagas, sino también un catalizador para un desarrollo rural más sostenible y saludable.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Determinar la eficacia de *Bacillus thuringiensis* en control de larvas de *Spodoptera frugiperda* Smit, en la fase vegetativa del cultivo de arroz.

1.6.2 Objetivos específicos

- Identificación y selección de la cepa de *Bacillus thuringiensis*
- Determinar el efecto de la aplicación en campo de *Bacillus thuringiensis*.
- Analizar los resultados de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* frente a larvas de *Spodoptera frugiperda*.

1.7 Hipótesis

El uso de *Bacillus thuringiensis* como bioinsecticida en el cultivo de arroz reduce significativamente las poblaciones larvales de *Spodoptera frugiperda* en comparación con un manejo convencional sin aplicación del bioinsecticida, sin causar impactos negativos en los organismos benéficos presentes en el agroecosistema.

2. Marco teórico

2.1 Estado del Arte

La eficacia del bioinsecticida *Bacillus thuringiensis* (Bt) ha sido ampliamente documentada en diversos cultivos, incluido el arroz, donde se ha observado un control significativo de plagas como *S. frugiperda*.

En un estudio realizado por Huang et al. (2019), se encontró que la aplicación de Bt redujo las poblaciones de *S. frugiperda* en un 80 %, lo que resalta su potencial como una alternativa sostenible a los insecticidas químicos. Asimismo, Kalleshwaraswamy et al. (2020) confirmaron que la inoculación de Bt incrementó el rendimiento del arroz al disminuir el daño causado por esta plaga. Además, Wang et al. (2021) reportaron que el uso de Bioinsecticidas basados en Bt no solo controla plagas, sino que también promueve la salud del suelo y la biodiversidad en el ecosistema agrícola.

Sin embargo, el impacto del uso de *B. thuringiensis* en el control de *S. frugiperda* puede variar según las condiciones ambientales y la cepa utilizada. Según un estudio de Zhang et al. (2022), las condiciones climáticas como la temperatura y la humedad influyen en la eficacia de Bt, lo que subraya la necesidad de adaptar las estrategias de manejo de plagas a cada contexto específico. Además, la investigación de Sarfraz et al. (2023) destacó que la resistencia de la plaga a los Bioinsecticidas puede desarrollarse si se utilizan de manera continua, por lo que es esencial implementar un enfoque integrado de manejo de plagas que combine diferentes métodos de control.

En América Latina, la implementación de *B. thuringiensis* ha mostrado resultados prometedores en la gestión de *S. frugiperda* en cultivos de arroz. Un estudio realizado en Brasil por Oliveira et al. (2021) reveló que el uso de Bt resultó en una reducción del 75 % en el daño causado por esta plaga, lo que sugiere que este bioinsecticida podría ser una herramienta eficaz para los agricultores en la región.

Además, la investigación de Torres et al. (2022) indica que la combinación de Bt con prácticas de cultivo sostenible mejora el control de plagas y aumenta el rendimiento de los cultivos de arroz. Estos resultados enfatizan la importancia de adoptar tecnologías ecológicas en la agricultura regional.

Asimismo, en Colombia, Pérez et al. (2023) evaluó el uso de *B. thuringiensis* en el manejo de *S. frugiperda* y encontró que la aplicación de este bioinsecticida logró reducir significativamente las infestaciones, mejorando así la producción de arroz. El estudio destaca que el uso de Bt puede ser especialmente beneficioso en sistemas agrícolas donde los insecticidas químicos están restringidos o donde se busca reducir el impacto ambiental. Estos hallazgos sugieren que el bioinsecticida es una opción viable para los agricultores en Latinoamérica que enfrentan desafíos con plagas.

En Ecuador, la eficacia de *B. thuringiensis* como control biológico de *S. frugiperda* ha sido objeto de investigación reciente. Según un estudio realizado por Ramírez et al. (2022), la aplicación de Bt mostró una reducción del 70 % en las poblaciones de *S. frugiperda* en cultivos de arroz en la región costera. Este estudio resalta la importancia de la biotecnología en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles en el país. Asimismo, Viera-Arroyo et al. (2020) encontraron que, la implementación de Bt en combinación con otros métodos de control integrado mejoró la salud del cultivo y redujo la dependencia de insecticidas químicos.

Adicionalmente, en un trabajo de investigación llevado a cabo por Castro et al. (2024), se analizó el impacto de Bt en la producción de arroz y se observó un aumento significativo en los rendimientos gracias al control efectivo de *S. frugiperda*. Este estudio enfatiza la viabilidad de utilizar Bioinsecticidas como parte de una estrategia de manejo más amplia para enfrentar los problemas de plagas en Ecuador. La integración de Bt en las prácticas agrícolas locales no solo ayuda a mitigar el daño de las plagas, sino que también contribuye a la sostenibilidad y conservación del medio ambiente en el país.

2.2. *Spodoptera frugiperda*

2.2.1 Clasificación Taxonómica

Según Arellano (2023), la clasificación taxonómica del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidóptera: Noctuidae).

Reino: Animal

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Lepidoptera

Familia: Noctuidaea

Género: *Spodoptera*

Especie: *frugiperda*

Nombre científico: *Spodoptera frugiperda*

2.2.2 Daños económicos

Spodoptera frugiperda es una de las plagas agrícolas más destructivas a nivel global. Su capacidad para dispersarse rápidamente y su comportamiento polífago, que le permite alimentarse de una amplia variedad de cultivos, la convierten en una grave amenaza para la producción agrícola. Esto genera importantes pérdidas económicas, afectando tanto la productividad de los cultivos como la seguridad alimentaria en diversas regiones del mundo (Flores et al., 2023).

En los cultivos de arroz, las larvas de *Spodoptera frugiperda* se alimentan principalmente de las plantas jóvenes antes de que se inunden los arrozales. Los daños causados incluyen el corte de las plantas cerca del suelo, defoliación y ataques a las flores y panículas. Una vez que el campo se encuentra inundado, las infestaciones se limitan al consumo de la parte de la planta que queda por encima del nivel del agua.

2.3 El cultivo de arroz en el Ecuador

2.3.1. Origen del arroz

El arroz es una planta originaria de China, cuyo cultivo comenzó alrededor del año 3000 a.C. Los restos arqueológicos hallados en el valle de Yang-Tse-Kiang, en China, corresponden a ese período y proporcionan evidencia de su cultivo en esa región desde

tiempos antiguos. En América, se cree que el arroz fue traído por Cristóbal Colón durante la conquista española en 1492, aunque se tiene conocimiento de que, a finales del siglo XVII, los holandeses introdujeron el arroz en Carolina del Norte, mientras que los portugueses hicieron lo propio en el sur de Brasil. En Ecuador, el cultivo de arroz tiene sus primeras menciones en 1774, específicamente en las zonas de Yaguachi, Babahoyo y Baba, donde se comenzaron a establecer las primeras áreas de producción (Lozano, 2023).

En el caso de Ecuador, el cultivo de arroz tiene una larga historia que se remonta a épocas precolombinas, aunque la producción comercial del cereal se aceleró principalmente en el siglo XX. Durante este tiempo, el arroz, que fue introducido por los colonizadores españoles, logró adaptarse con éxito a las condiciones climáticas y de suelo de Ecuador, sobre todo en las áreas costeras, donde el entorno era favorable para su desarrollo.

La demanda interna de este cereal aumentó, y junto con ella, las mejoras en las infraestructuras agrícolas, especialmente en lo que respecta a los sistemas de riego, contribuyeron a un crecimiento sostenido de la producción arrocería. Además, a mediados del siglo XX, el gobierno implementó una serie de políticas de apoyo a los agricultores, lo que impulsó aún más la expansión de este cultivo, consolidándose como un producto esencial para la dieta de los ecuatorianos y una parte clave de la economía agrícola del país (Espín, 2024).

2.3.2. Clasificación taxonómica

Según Cepeda (2023), la clasificación taxonómica de *Oryza sativa* L. es:

Reino: Plantae
División: Fanerógamas
Tipo: Espermatofita
Subtipo: Angiospermas
Clase: Monocotiledóneas
Orden: Glumifloras
Familia: Gramíneas
Subfamilia: Panicoideas
Tribu: Oryzae
Género: *Oryza*
Especie: *sativa*

2.3.3. Características morfológicas

2.3.3.1 *Semilla*

Está formada por cariopsis y gluma, que envuelven el grano y lo protegen de factores externos. La cariopsis, que es la parte comestible del arroz, se desarrolla en una secuencia de etapas. Primero, se forma a partir del embrión y luego se desarrolla el endospermo, una estructura rica en almidón que constituye la mayor parte del grano.

A continuación, se forma la capa de aleurona, que es un tejido rico en proteínas y nutrientes esenciales. Finalmente, el grano se rodea por la capa de semillas, que actúa como una cubierta protectora, y el pericarpio, que es la capa final que recubre todo el fruto, asegurando su integridad (Mosquera, 2024).

2.3.4. *Raíces*

Durante el desarrollo de la planta de arroz, se desarrollan dos tipos de raíces: las raíces seminales, o temporales, y las raíces secundarias, también conocidas como adventicias o permanentes (Lozano, 2023).

Las raíces seminales, que son débiles y poco ramificadas, tienen una vida corta y se mantienen activas solo durante un breve período después de la germinación. Una vez que las raíces adventicias o secundarias emergen, reemplazan a las seminales. Estas raíces brotan de los nudos subterráneos de los tallos jóvenes (Cepeda, 2023).

En condiciones excepcionales, como el anegamiento profundo, se desarrollan raíces en los nudos superiores. Sin embargo, las raíces comunes solo pueden alcanzar una profundidad de aproximadamente 40 cm, ya que la difusión de oxígeno en el suelo, a través del aerénquima hacia las raíces en crecimiento, se vuelve limitada en profundidades mayores (Mosquera, 2024; Cepeda, 2023; Lozano, 2023).

2.3.5. Tallo

El tallo de la planta de arroz se caracteriza por la alternancia de nudos y entrenudos, donde los nudos son las zonas donde se insertan las hojas y los brotes, en cada nudo, también se encuentra una yema que puede desarrollarse y generar nuevos brotes, lo que contribuye al crecimiento vegetativo de la planta. Esta yema está ubicada entre el nudo y la base de la vaina de la hoja.

Los tallos del arroz son erectos, cilíndricos, huecos, excepto en los nudos, donde se encuentra mayor densidad de tejido. A medida que las plántulas se desarrollan, alrededor de los 20 a 30 días después de la siembra, comienzan a diferenciarse los tallos secundarios, conocidos como macollos, que emergen de las yemas laterales ubicadas en la base del tallo principal, en las axilas de las hojas. Este proceso continúa, generando tallos terciarios y, en algunos casos, más estructuras que favorecen la ramificación de la planta. La altura de los tallos varía dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales, oscilando entre los 80 y 150 cm (Mosquera, 2024; Cepeda, 2023; Lozano, 2023).

2.3.6. Hoja

Las hojas de la planta de arroz se distribuyen de manera alterna a lo largo del tallo, comenzando con una estructura llamada profilo. Esta primera hoja, ubicada en la base del tallo principal o de las macollas, no tiene lámina y está compuesta por dos brácteas aquilladas. Los bordes del profilo aseguran las macollas jóvenes al tallo original, ayudando a su fijación.

La primera hoja que aparece en el desarrollo de la planta es el coleoptilo, una hoja rudimentaria que emerge del embrión. A partir de esta, una segunda hoja pequeña comienza a desarrollarse, y a medida que la planta crece, las hojas se vuelven más grandes y funcionales, a excepción de las hojas superiores conocidas como "hojas banderas" o "hojas

panícula". Las hojas en los nudos basales se desarrollan como bracteolos, que son hojas rudimentarias que unen las macollas jóvenes al tallo.

Las hojas del arroz, como órganos vegetativos, tienen una estructura bien definida. Están formadas por dos partes: la vaina foliar, que envuelve el tallo, y el limbo o lámina foliar.

En la unión entre la vaina y el limbo se encuentra la lígula, una estructura membranosa en forma triangular, cuya longitud puede ser de hasta 2 cm, y que puede ser incolora o ligeramente coloreada. Además, las pinnas, dos pequeños apéndices situados a los lados de la base del limbo, pueden ser incoloras o tener una leve coloración (Mosquera, 2024; Cepeda, 2023; Lozano, 2023).

2.3.7. Flores

Las flores de arroz están organizadas en una inflorescencia conocida como panícula, que se forma en el último nudo del tallo, denominado nudo ciliado. Las ramificaciones que se originan del eje principal de la panícula, estas pueden clasificarse en abiertas, compactas o intermedias, durante la floración, la panícula permanece erecta, pero con el tiempo se dobla debido al peso del grano en proceso de maduración. Este tipo de inflorescencia es la unidad básica que constituye el conjunto de flores de la planta. La panícula es la estructura que da lugar a las espiguillas, flores individuales que son de color blanco verdoso y producen el grano de arroz.

Las espiguillas se agrupan formando lo que se conoce como panoja. Desde el eje principal de la panícula surgen ramas primarias, que a su vez generan ramas secundarias y, en algunos casos, terciarias. Las espiguillas están unidas a estas ramas mediante un pedicelo. Por lo general, en una panoja pueden encontrarse alrededor de 250 espiguillas, y el número de flores presentes en la panoja depende del estado vegetativo de la planta. En esta etapa, la inflorescencia se desarrolla sobre el tallo terminal, donde la espiguilla, que es la unidad

básica de la panícula, consta de dos lemmas estériles, raquis y flósculos (Mosquera, 2024; Cepeda, 2023; Lozano, 2023).

2.4. Aspectos edáficos y climáticos

2.4.1 *Suelo*

El cultivo de arroz tiene ciertas exigencias en cuanto a las condiciones del suelo para asegurar su adecuado crecimiento y rendimiento. Según Cepeda (2023), el pH del suelo debe estar entre 6.0 y 7.0, lo que lo hace ligeramente ácido o neutro, favoreciendo la asimilación de nutrientes esenciales para la planta. Además, es fundamental contar con una alta cantidad de materia orgánica en el suelo, superior al 5%, ya que esto mejora la fertilidad y la capacidad de retención de agua.

En cuanto a la textura, es necesario que el suelo tenga un contenido de arcilla superior al 40%, ya que la arcilla retiene bien los nutrientes y favorece la estructura necesaria para el desarrollo de las raíces del arroz.

La topografía también juega un papel crucial; los terrenos planos son los más adecuados, ya que permiten una distribución uniforme del agua en los arrozales. Asimismo, la capa arable debe ser profunda, de al menos 25 cm, para permitir el crecimiento adecuado de las raíces, y es esencial que el suelo tenga un buen drenaje superficial para evitar el estancamiento del agua, que podría dañar las raíces.

2.4.2. *Temperatura óptima para el arroz*

En cuanto a la temperatura, el arroz se desarrolla de manera óptima dentro de un rango de temperatura de entre 20 °C y 30 °C. Este rango favorece las diversas fases de crecimiento de la planta, desde la germinación hasta la maduración del grano, asegurando un ciclo de cultivo eficiente (Cepeda, 2023).

2.4.3. *Radiación solar necesaria para el arroz*

La radiación solar también es un factor clave para el cultivo de arroz, el cual requiere de una radiación diaria de aproximadamente 300 cal/cm², lo que contribuye a la fotosíntesis y a la formación de granos. Durante el estado reproductivo de la planta, esta cantidad de radiación solar es fundamental para alcanzar rendimientos de hasta 5 toneladas por hectárea, favoreciendo la producción y calidad del grano (Cepeda, 2023).

2.5 *Bacillus thuringiensis*

2.5.1 Clasificación taxonómica

Según Rueda (2022), la clasificación taxonómica de *B. thuringiensis* es:

Dominio: Bacterias

Filo: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: *Bacillus*

Especie: *Bacillus thuringiensis* (Berliner)

Bacillus spp. se encuentran ampliamente distribuidos en todo tipo de ambientes y ecosistemas, desde hábitats acuáticos hasta extremófilos. No obstante, el suelo se considera el principal reservorio de estos seres vivos ya que la mayoría son organismos saprófitos (Sola, 2023). Este amplio espectro de hábitats resalta la versatilidad y adaptabilidad de los *Bacillus* spp., lo que les permite desempeñar roles ecológicos cruciales en los diferentes ecosistemas (Arteaga, 2024).

Su aplicación ha transformado las prácticas agrícolas, proporcionando una herramienta eficaz y menos tóxica en comparación con los pesticidas sintéticos, y promoviendo un enfoque más sostenible en la producción de alimentos. *B. thuringiensis* ha sido ampliamente utilizado debido a su capacidad para producir toxinas que afectan a insectos plaga. Su mecanismo de acción ha sido investigado y documentado por diversos estudios, destacando su especificidad hacia diferentes especies de insectos, lo que lo convierte en una alternativa ecológica frente a los pesticidas químicos.

B. thuringiensis (Bt) es una bacteria que destaca por su capacidad para producir cristales parasporales durante la fase estacionaria de su ciclo de crecimiento, compuestos por proteínas insecticidas (ICP) conocidas como proteínas Cry. Estas proteínas son especialmente notables por su especificidad hacia ciertos insectos, lo que las convierte en herramientas valiosas en el control biológico de plagas. (Rodríguez-Tolosa, 2023).

2.5.2 El control de *Spodoptera frugiperda*

La bacteria *B. thuringiensis* como tal fue descubierta por el biólogo japonés Shigetane Ishiwata en 1901, trabajando con el gusano de seda, y la denominó *B. sotto*, diez años después, en la provincia alemana de Turingia, Ernst Berliner aisló la misma bacteria a partir de la polilla mediterránea de la harina y la llamó *B. thuringiensis*, nombre con el que se la conoce en la actualidad (Huerta, 2024). De tal modo que la historia de esta bacteria no solo refleja su relevancia científica, sino también su impacto positivo en la agricultura moderna.

En las plantas, el uso eficiente de estos microorganismos activa mecanismos para eliminar insectos y enfermedades. Aunque no pueden provocar una resistencia sistémica a las enfermedades, consumen los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, lo que previene la propagación de patógenos y el desarrollo de enfermedades. Esto, a su vez, favorece el crecimiento, la calidad y la productividad de los cultivos, además de estimular la floración, la fructificación y la maduración gracias a sus efectos hormonales.

También aumenta la capacidad fotosintética mediante un mayor desarrollo foliar (López, 2024). Por lo tanto, su integración en las prácticas agrícolas es fundamental para optimizar la producción y garantizar la salud de los cultivos a largo plazo.

La lucha contra el gusano cogollero, *S. frugiperda*, se ha convertido en un desafío significativo para la agricultura, especialmente en cultivos de arroz. Este insecto, conocido por su alta capacidad de reproducción y adaptación, puede causar pérdidas económicas

considerables. En este contexto, el uso de *B. thuringiensis* (Bt) ha emergido como una estrategia de control biológico prometedora.

Diversos estudios han mostrado la eficacia de Bt en el control de *S. frugiperda* en arroz. La acción tóxica de Bt se debe a la producción de proteínas cristalinas, conocidas como endotoxinas Cry, durante su fase de esporulación. Este efecto se ha observado incluso con concentraciones subletales, siempre que el insecto tenga una exposición constante a la bacteria.

La aplicación de bioproductos como Bt puede ser una estrategia prometedora para controlar el gusano cogollero en el cultivo de arroz, contribuyendo a la reducción de los impactos ambientales asociados al uso de agroquímicos. Además, favorece el control biológico por parte de insectos beneficiosos, que son importantes para la regulación natural de las poblaciones de *S. frugiperda* (Gómez, et al. 2023).

Bacillus thuringiensis, comúnmente conocido como Bt, es una bacteria del suelo que ha captado la atención de científicos y agricultores por su potencial en el control biológico de plagas (Alomía, et al., 2023).

El género *Bacillus spp.*, lo reporto por primera vez en el año 1872 el botánico y bacteriólogo alemán Ferdinand Julius Cohn, el las describió como bacterias que producen endosporas resistentes al calor, el género incluye más de 336 especies las cuales por su similitud genética pueden clasificarse en distintos grupos (Rueda, 2022).

Durante la fase de esporulación, Bt también produce diversas formas cristalinas que contienen tanto proteínas Cry como proteínas Vip. A diferencia de las proteínas Cry, que requieren un proceso de solubilización tras la ingestión, las proteínas Vip son secretadas en forma soluble y no necesitan este paso.

Las proteínas Cry, al ser solubilizadas, liberan protoxinas en el intestino medio de los insectos, donde son procesadas por enzimas proteasas como tripsinas y quimiotripsinas, que

son abundantes en los fluidos intestinales de los insectos. Este proceso es fundamental para que las toxinas atraviesen la membrana del intestino medio, que está compuesta de una capa de quitina, la cual actúa como barrera protectora, impidiendo que el alimento cause daños abrasivos y protegiendo al insecto de infecciones bacterianas, víricas y parasíticas (Rueda, 2022).

La investigación sobre las proteínas Cry y Vip de Bt ha sido crucial para desarrollar bio-pesticidas innovadores con amplias aplicaciones en la agricultura. La combinación de su especificidad y su mecanismo de acción bien definido resalta el potencial de estas proteínas para ser utilizadas en prácticas agrícolas sostenibles, donde se busca reducir el uso de pesticidas químicos dañinos. Así, entender los mecanismos de acción de estas proteínas es vital para maximizar su efectividad y mejorar la gestión de plagas de manera ecológica (Rodríguez-Tolosa, 2023; Rueda, 2022).

2.5.3. Modo de acción del *Bacillus thuringiensis*

La acción del *B. thuringiensis* se basa en un proceso bien definido que involucra varias fases, que incluyen la ingestión, la solubilización, la activación, la interacción con el intestino medio y, finalmente, la muerte del insecto (López, 2022).

Según López (2022), se divide en las siguientes fases:

Ingestión: A diferencia de muchos insecticidas químicos que pueden actuar por contacto, el modo de acción de *B. thuringiensis* depende de la ingestión por parte del insecto objetivo. Esto significa que las proteínas insecticidas, conocidas como proteínas Cry, solo se activan después de que el insecto consume el material que contiene la bacteria. Este enfoque específico reduce el riesgo de afectar a organismos no objetivo y contribuye a la sostenibilidad del control biológico.

Solubilización: Una vez ingeridas, las proteínas Cry se encuentran en un entorno alcalino en el intestino medio del insecto, lo que facilita la solubilización de los cristales

proteicos. Este proceso es crucial, ya que la solubilización permite la liberación de las protoxinas, que son la forma inactiva de las proteínas. Para que la solubilización ocurra de manera efectiva, es necesario que el pH y otros factores del intestino medio sean adecuados.

Activación: Tras la solubilización, las proteínas Cry y Vip son procesadas por enzimas proteasas endógenas que se encuentran en los fluidos intestinales del insecto. Estas enzimas, principalmente tripsinas y quimiotripsinas, activan las protoxinas convirtiéndolas en toxinas activas. Este paso es esencial, ya que las toxinas deben ser activadas para poder ejercer su efecto letal.

Atravesar la membrana intestinal: Una vez que las toxinas están activadas, deben atravesar la membrana peritrófica del intestino, que actúa como una barrera física. Esta membrana regula la cantidad de toxinas que pueden interactuar con las células intestinales, lo que influye en la eficacia de las toxinas. Algunas toxinas tienen la capacidad de degradar la quitina, un componente estructural de esta membrana, lo que facilita su paso.

Interacción con el intestino medio: Después de atravesar la membrana peritrófica, las toxinas interactúan con la membrana de las células del intestino medio del insecto, consideradas las células diana de las toxinas. La interacción entre las toxinas y estas células es fundamental para que las proteínas Cry y Vip ejerzan su efecto letal.

Muerte del insecto y dispersión del *B. thuringiensis*: La acción final de las toxinas es la destrucción de la membrana celular de las células intestinales. Esta destrucción genera poros en la membrana, lo que causa un desequilibrio osmótico y puede resultar en la ruptura celular. Como consecuencia, se produce una septicemia, ya que las bacterias oportunistas y otros patógenos presentes en el sistema digestivo del insecto se multiplican. La muerte del insecto permite a *B. thuringiensis* proliferar y esporular, favoreciendo su dispersión en el entorno.

En la actualidad, se han identificado alrededor de 700 variantes de proteínas Cry y más de 40 variantes de proteínas Cyt en *B. thuringiensis*. Estas variantes están localizadas

en plásmidos grandes, y un solo plásmido puede contener múltiples variantes. Esta diversidad genética no solo determina la especificidad del huésped, sino que también disminuye el riesgo de desarrollo de resistencia por parte de las plagas, lo que es un factor crucial en la sostenibilidad del uso de *B. thuringiensis* en el control de plagas.

El mecanismo de acción de *B. thuringiensis* se basa en su capacidad para formar poros en las células del intestino medio de los insectos, lo que provoca lisis celular y, finalmente, la muerte del insecto. La activación de las toxinas y su interacción con el sistema digestivo del insecto son determinantes en la efectividad del Bt como insecticida. Este enfoque permite que *B. thuringiensis* se utilice como una alternativa más segura y ecológica a los insecticidas químicos, contribuyendo así a un manejo más sostenible de las plagas en la agricultura (Huerta, 2023; Lopez, 2022).

3. Materiales y Metodología

Este trabajo se realizó en un área aproximada de una hectárea sembrada de formada directa, es decir el arroz se sembró de forma al voleada. La finca o terrenos están ubicado en Tres Postes - Alfredo Baquerizo Moreno, Guayas.

Esta investigación es de tipo cuantitativo, con un enfoque de investigación de campo y experimental. Se clasifica en un nivel exploratorio y descriptivo, ya que se interpretaron los resultados obtenidos en el estudio para comprender y detallar las características del fenómeno investigado.

3.1. Muestreo

3.1.1 Selección del sitio de muestreo:

Para maximizar la probabilidad de aislar cepas de *Bacillus thuringiensis*, se priorizaron sitios de muestreo con alta diversidad microbiana y una historia de exposición a plagas. Siguiendo las recomendaciones de Prieto-Samsonov et al. (1997); Angon et al. (2023), se seleccionaron suelos agrícolas, con restos de plantas en descomposición e insectos muertos, las cuales son ambientes ricos desde el punto de vista ecológico, siendo propicios para el desarrollo y persistencia de microorganismos benéficos.

3.1.2 Recolección del material:

La recolección de muestras se llevó a cabo siguiendo rigurosos protocolos de asepsia. Se utilizaron herramientas estériles para obtener muestras de suelo, hojas o insectos (Montoya et al., 2022); entre cada muestreo, las herramientas se desinfectaron, las muestras se colocaron inmediatamente en bolsas o recipientes estériles, previamente rotulados.

3.1.3 Etiquetado y registro:

Cada muestra se etiquetó de manera clara y concisa, incluyendo la fecha de recolección, ubicación geográfica, tipo de material colectado, condiciones ambientales y

nombre del colector. Este registro detallado permitió rastrear la procedencia de cada muestra y facilitó la interpretación de los resultados obtenidos (Cerna-Cardona et al., 2022).

3.2. Aislamiento de la cepa

El aislamiento de *B. thuringiensis* requiere de una serie de procesos específicos para garantizar la obtención de cultivos puros. A continuación, se detalla el protocolo utilizado en este estudio:

3.2.1. Tratamiento térmico

Las muestras de suelo se sometieron a un tratamiento térmico de 80°C durante 15 minutos. Este procedimiento se lo realiza para eliminar bacterias diferentes a *Bacillus* sp., induciendo al mismo tiempo la esporulación de las células de *B. thuringiensis* (García et al., 2018). La esporulación es una característica distintiva de esta bacteria y permite su selección en las siguientes etapas del aislamiento.

3.2.2 Preparación de suspensiones

Una vez finalizado el tratamiento térmico, las muestras se re-suspendieron en una solución salina estéril (0,85% NaCl) para obtener una suspensión homogénea. Esta suspensión se utilizó para la siembra en los medios de cultivo.

3.2.3 Siembra en medio de cultivo

Se realizaron siembras por estría en placas de Petri conteniendo Agar Nutritivo (AN). El AN es un medio de cultivo no selectivo que permite el crecimiento de una amplia variedad de microorganismos, incluyendo a *B. thuringiensis* (Andrews & Brock, 1991).

3.2.4 Incubación

Las placas sembradas se incubaron a una temperatura de 28-30°C durante 24-48 horas. Estas condiciones de incubación son óptimas para el crecimiento de *B. thuringiensis* y permiten la formación de colonias visibles.

3.2.5. Selección de colonias

Después del período de incubación, se seleccionaron colonias con características morfológicas típicas de *B. thuringiensis*, como tamaño, forma y color. Estas colonias se purificaron mediante resiembras sucesivas en placas frescas de AN.

3.2.6. Confirmación de la identidad

Las colonias purificadas se sometieron a pruebas bioquímicas y moleculares para confirmar su identidad como *Bacillus thuringiensis*. Las pruebas bioquímicas utilizadas incluyeron la producción de catalasa, oxidasa y la utilización de diferentes fuentes de carbono y nitrógeno. Las pruebas moleculares se basaron en la amplificación por PCR de genes específicos de *B. thuringiensis*, como el gen cry (García et al., 2018; Andrews & Brock, 1991).

3.3 Identificación

3.3.1 Identificación preliminar de *Bacillus thuringiensis*

La identificación de *B. thuringiensis* implica un análisis combinado de características morfológicas, bioquímicas y moleculares. Inicialmente, la observación de colonias opacas, blancas o cremosas en un medio de cultivo sólido puede sugerir la presencia de esta bacteria (Rafael-Rutte et al., 2020). Sin embargo, esta característica no es exclusiva de este género de bacterias (*B. thuringiensis*).

La tinción de Gram permite confirmar la morfología bacilar y la presencia de endosporas, características típicas del género *Bacillus*. Además, la observación de cuerpos parasporales cristalinos bajo el microscopio es una fuerte evidencia de la presencia de *B. thuringiensis* (Adang et al., 2014; Jurat-Fuentes et al., 2021). Estos cristales proteicos son tóxicos para ciertos insectos y son la base de su uso como bioinsecticida.

Para una identificación más precisa, se recomiendan pruebas bioquímicas como la catalasa y la oxidasa. Sin embargo, dada la alta variabilidad genética dentro de la especie, estas pruebas pueden no ser suficientes. Las técnicas moleculares, como la PCR, ofrecen una mayor sensibilidad y especificidad. La amplificación de genes específicos de *B. thuringiensis*, como los genes *cry*, permite una identificación inequívoca (Jurat-Fuentes et al., 2021).

3.4. Pruebas bioquímicas

3.4.1 Pruebas bioquímicas

Las pruebas bioquímicas constituyen una herramienta fundamental en la taxonomía bacteriana, permitiendo la identificación de microorganismos a nivel de género y, en ocasiones, de especie. En el caso de *Bacillus*, un género bacteriano de gran relevancia en diversos campos como la industria, la agricultura y la medicina, estas pruebas son indispensables para su caracterización.

3.4.2 Pruebas Básicas

La identificación bioquímica de *Bacillus* se basa en la detección de enzimas específicas que catalizan reacciones bioquímicas particulares. Entre las pruebas más comunes se encuentran:

- **Catalasa:** Esta prueba determina la capacidad de la bacteria para producir la enzima catalasa, la cual descompone el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno. La mayoría de las especies de *Bacillus* son catalasas positivas (Córdova-Rojas et al., 2022).
- **Oxidasa:** Esta prueba evalúa la presencia de la enzima citocromo c oxidasa, involucrada en la cadena de transporte de electrones. La mayoría de las especies de *Bacillus* son oxidasas negativas.
- **Producción de esporas:** La formación de endosporas es una característica distintiva del género *Bacillus*. Esta prueba se realiza mediante tinciones específicas u observando las colonias en un microscopio.

- **Motilidad:** La movilidad bacteriana se determina mediante la observación del crecimiento en medios semisólidos. Muchas especies de *Bacillus* son móviles.
- **Fermentación de carbohidratos:** Esta prueba evalúa la capacidad de la bacteria para fermentar diferentes azúcares, produciendo ácidos y/o gases. Los patrones de fermentación pueden variar entre las diferentes especies de *Bacillus*.

3.5 Pruebas Adicionales y Paneles Bioquímicos

Además de las pruebas mencionadas anteriormente, existen otros ensayos bioquímicos que pueden ser útiles para la identificación de *Bacillus*, como la producción de pigmentos, la hidrólisis de almidón y la producción de ácido sulfhídrico. En la actualidad, se utilizan paneles bioquímicos comerciales, como el API 50 CHB, que permiten realizar múltiples pruebas simultáneamente y obtener un perfil bioquímico característico para cada cepa (González-Rivera et al., 2024).

3.6 Limitaciones y Complementariedad

Es importante destacar que las pruebas bioquímicas presentan ciertas limitaciones. La variabilidad fenotípica dentro de una misma especie puede dificultar la identificación, y algunos patrones bioquímicos pueden ser compartidos por diferentes especies. Por lo tanto, se recomienda complementar las pruebas bioquímicas con otras técnicas, como la tinción de Gram, la microscopía electrónica y las técnicas moleculares (Fatimah & Zulaika, 2024).

3.7 Evaluación de toxicidad

Los bioensayos son herramientas experimentales cruciales para evaluar la eficacia de los Bioinsecticidas basados en microorganismos como *Bacillus thuringiensis*. Estos experimentos permiten determinar con precisión la capacidad de una determinada cepa o formulación de *B. thuringiensis* para controlar poblaciones de insectos plaga.

En los bioensayos se cuantifica de la eficacia de cada producto a base microorganismo u otros derivados.

Los bioensayos permiten determinar de manera cuantitativa la mortalidad de los insectos expuestos a diferentes concentraciones de *B. thuringiensis*, lo que facilita la comparación entre diferentes cepas o formulaciones.

La dosis letal media (DL50) es un parámetro estadístico que indica la concentración de la toxina necesaria para causar la muerte del 50% de la población de insectos expuesta. Este valor es fundamental para evaluar la potencia de un bioinsecticida (Afzal et al., 2024).

Los bioensayos ayudan a optimizar la formulación de los Bioinsecticidas, considerando factores como la estabilidad de las esporas y las toxinas, la adhesión a las superficies de las plantas y la persistencia en el ambiente.

Estudio de mecanismos de resistencia: Los bioensayos pueden utilizarse para evaluar el desarrollo de resistencia en poblaciones de insectos expuestas crónicamente a las diferentes cepas de *B. thuringiensis*, lo que es crucial para la sostenibilidad de su uso en programas de manejo integrado de plagas (Jurat-Fuentes et al., 2021).

3.7. Selección de la cepa

La selección de cepas de *Bacillus* para el desarrollo de Bioinsecticidas se fundamenta en la identificación de cepas con alta toxicidad específica hacia insectos plaga, la toxicidad se atribuye principalmente a la producción de cristales proteicos que, al ser ingeridos por los insectos, desencadenan una serie de eventos moleculares que culminan en la muerte del insecto (Rodríguez-Tolosa et al., 2023).

La caracterización de estas proteínas tóxicas y su modo de acción es crucial para comprender los mecanismos de resistencia y desarrollar estrategias para prevenirla. Además de la toxicidad, se consideran otros factores como la producción de esporas viables, la estabilidad de las toxinas bajo diferentes condiciones ambientales y la compatibilidad con otros componentes de la formulación del bioinsecticida (de la Cruz–Leytón et al., 2023).

3.8. Determinación del momento óptimo de aplicación

3.8.1 Monitoreo de la plaga

El monitoreo constante de las poblaciones de plagas luego de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* es fundamental para evaluar la eficacia del tratamiento y detectar posibles resistencias. Este proceso implica el uso de diversas técnicas, como el conteo de individuos, la evaluación de daños en cultivos y el análisis de muestras de suelo. La información recopilada permite ajustar las estrategias de control y garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Gastesi et al., 2024).

Los datos obtenidos a través del monitoreo de plagas son cruciales para tomar decisiones informadas sobre la necesidad de nuevas aplicaciones de Bioinsecticidas. Al comparar los niveles de infestación antes y después del tratamiento, es posible determinar si la población de plagas ha disminuido significativamente y si se requiere una intervención adicional. Además, el monitoreo a largo plazo permite identificar patrones en la dinámica de las poblaciones de plagas y ajustar las estrategias de control en consecuencia (Silva, 2024).

Evaluar las condiciones climáticas, como temperatura, humedad y viento, para asegurar una aplicación efectiva. Bt es más eficaz cuando las condiciones son húmedas y no hay lluvias fuertes que laven el producto aplicado.

3.9. Preparación para la aplicación

La calibración precisa de los equipos de aplicación, como aspersoras y atomizadores, es fundamental para garantizar una distribución uniforme del bioinsecticida *Bacillus thuringiensis* en el cultivo. Un equipo calibrado correctamente asegura que la dosis aplicada sea la adecuada y se reduzca el riesgo de subdosis o sobredosis, lo cual puede comprometer la eficacia del tratamiento y generar impactos ambientales negativos" (Smith, Jones, & Lee, 2023).

La calibración regular de los equipos de aplicación es una práctica clave en la agricultura sostenible. Al asegurar una distribución uniforme del bioinsecticida *B. thuringiensis*,

se minimiza el consumo de producto y se reduce el riesgo de contaminación ambiental. Además, una aplicación precisa contribuye a optimizar los costos de producción" (García et al., 2018).

3.10. Aplicación en campo

La aplicación exitosa de Bioinsecticidas a base de Bt en cultivos depende en gran medida de la precisión en la dosificación y la cobertura. Un manejo inadecuado del equipo de aplicación puede resultar en una distribución no uniforme del producto, lo que compromete su eficacia y puede favorecer el desarrollo de resistencias en las poblaciones de plagas. Por lo tanto, es crucial calibrar correctamente los equipos de aplicación y ajustar el volumen de agua utilizado en función de las características del cultivo y las condiciones ambientales

La aplicación de Bt debe integrarse dentro de un programa de manejo integrado de plagas (MIP) para obtener resultados óptimos y sostenibles. La combinación de Bt con otras prácticas de control, como el control cultural y el uso de enemigos naturales, puede potenciar su eficacia y reducir la necesidad de aplicaciones repetidas. Además, el monitoreo regular de las poblaciones de plagas permite ajustar las estrategias de control y prevenir brotes mayores.

3.11. Registro de datos

El registro de todos los datos relevantes o variables fueron digitalizadas en Excel.

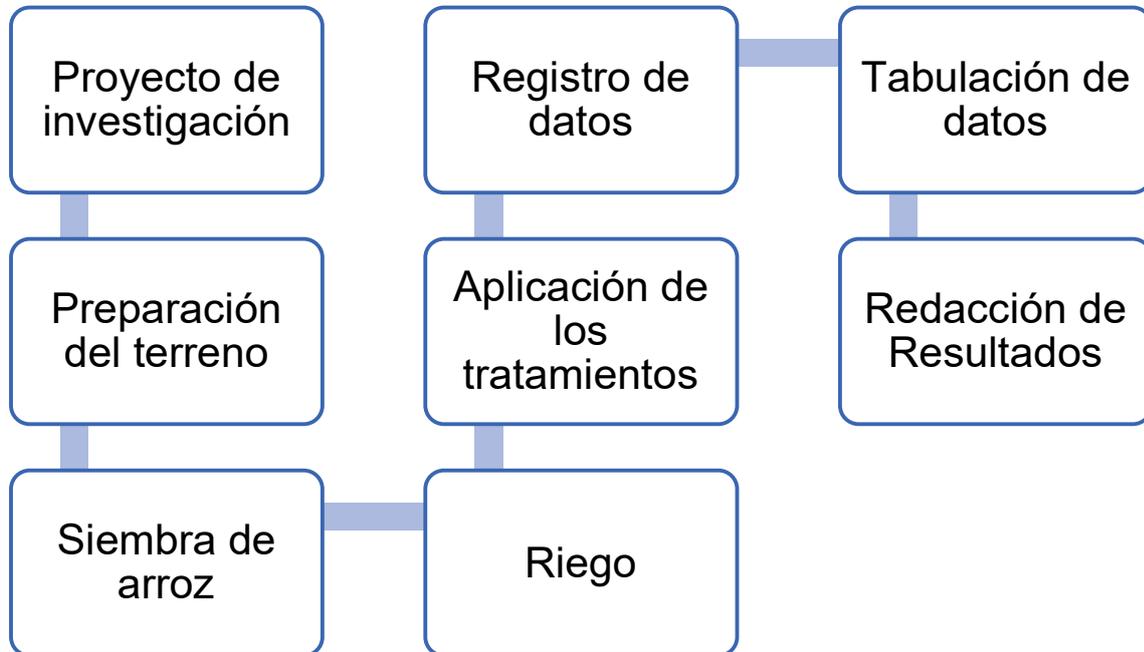
3.12. Tratamientos

Tabla1. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción
1	<i>Bacillus</i> 1 L/ha
2	Insecticida 1L/ha
3	Control

3.13 Diagrama de flujo

Figura 1. Flujo de actividades



3.14 Diseño experimental

El diseño experimental fue un Diseño de Bloques al Azar (DBA) conformado por tres tratamientos con tres replicas.

4. Resultados

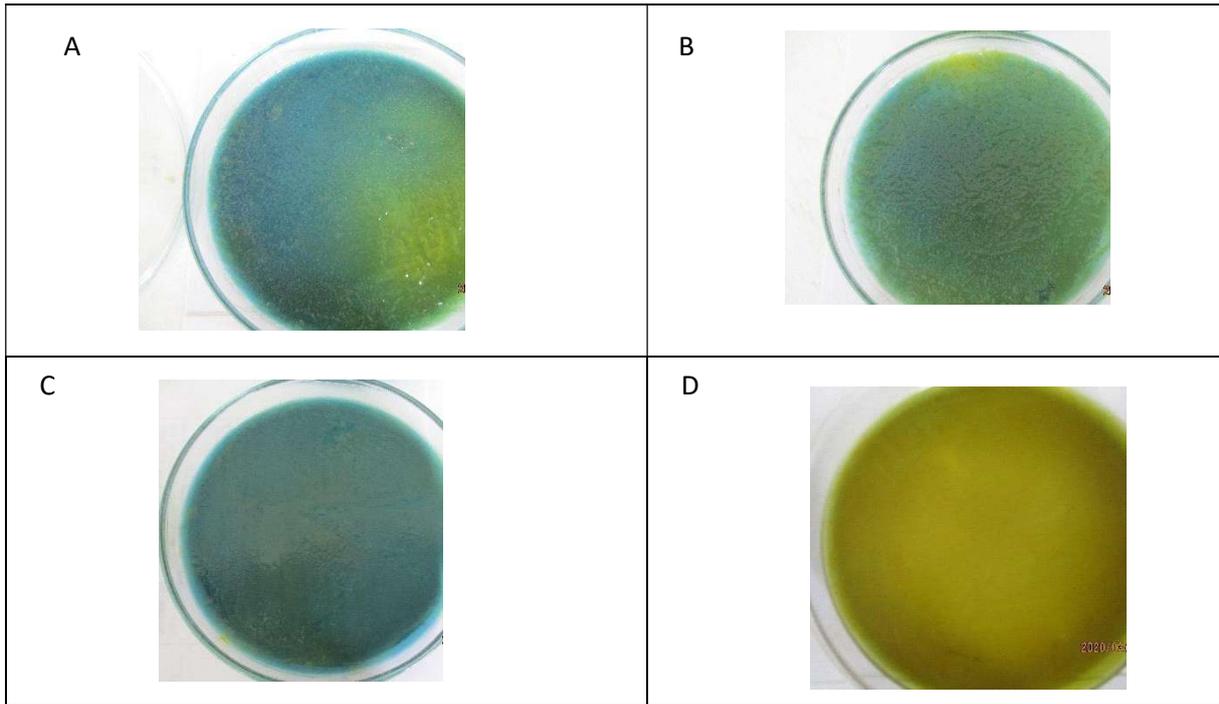
4.1 Identificación y selección de la cepa de *Bacillus thuringiensis*

Se realizó el muestro y colecta de plantas de arroz de aproximadamente 30 días de edad de cultivo, en las cuales se evidenció la presencia de insectos muertos con bacterias.

A través de diluciones seriadas se sembró en un medio semi-selectivo LMA (Manitol – Levadura – Agar) y se dejó en reposo en la incubadora de precisión durante siete días

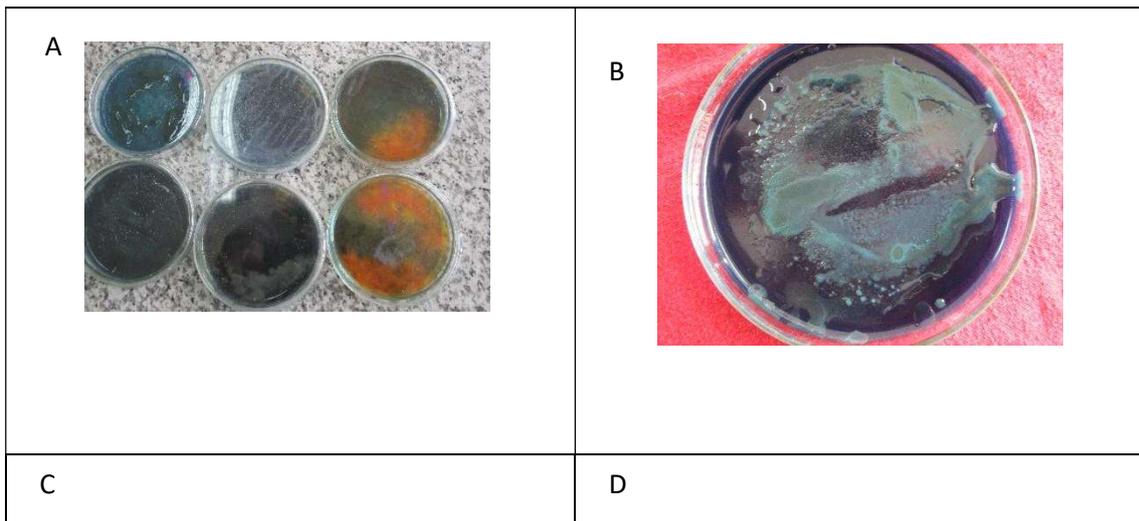
A los siete días después de la siembra en el medio LMA se observó que la bacteria *Bacillus* que creció y acidificaban al medio de cultivo (Figura 2).

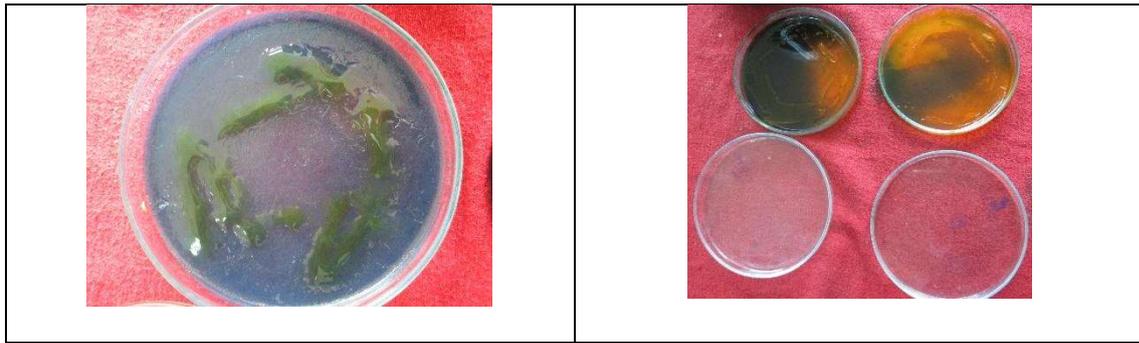
Figura 2. Medio acidificado parcialmente por el crecimiento de bacteria (A y B), medio LMA sin presencia de acidez (C), Medio totalmente ácido (D).



Se realizó el repique de las bacterias y por medio de la técnica de agotamiento se logró obtener dos aislados de bacterianos en el medio de cultivo LMA + B (bromotimol), con tonalidades desde el blanco hasta rojo cremoso (Figura 3).

Figura 3. Aislados de bacterias de nódulos bacterianos en medio de cultivo LMA + B, 5 día después de la siembra. A). Bacteria translúcida y cremosa B). Amarillo cremoso C). Anaranjada rojiza cremosa D).





4.2 Determinar el efecto de la aplicación en campo de *Bacillus thuringiensis*.

En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza de aplicación de *B. thuringiensis*

Tabla 1. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de *Bacillus* sobre larvas de *S. frugiperda*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5036,44	4	1259,11	552,78	<0,0001
Tratamientos	5033,56	2	2516,78	1104,93	<0,0001
Repeticiones	2,89	2	1,44	0,63	0,5765
Error	9,11	4	2,28		
Total	5045,56	8			

En el Tabla 2, se muestra hubo diferencia entre los tratamientos estudiados al igual que el modelo estadístico utilizad

En la Tabla 2 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a la aplicación de *B. thuringiensis* sobre adultos de *S. frugiperda*, el cual permite evaluar la significancia estadística de las diferencias observadas entre los tratamientos.

Tabla 2. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de *Bacillus* sobre adultos de *S. frugiperda*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	592,44	4	148,11	102,54	0,0003
Tratamientos	589,56	2	294,78	204,08	0,0001
Repeticiones	2,89	2	1,44	1	0,4444
Error	5,78	4	1,44		
Total	598,22	8			

En la Tabla 2, se presenta un análisis de Anova que revela diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

En la Tabla 3, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de la aplicación de los tratamientos adultos de *Rupela albilla* en condiciones de campo.

Tabla 3. Análisis de varianza (LSD- Fisher) del efecto de los tratamientos sobre adultos de *R. albilla*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	261955,33	4	65488,83	782,74	<0,0001
Tratamientos	261952,67	2	130976,33	1565,45	<0,0001
Repeticiones	2,67	2	1,33	0,02	0,9843
Error	334,67	4	83,67		
Total	262290	8			

En el Tabla 3. Se muestra la diferencia estadística entre los tratamientos estudiados al igual que el modelo estadístico usado.

4.3 Análisis de los resultados de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* frente a larvas de *Spodoptera frugiperda*

En el Tabla 4. Se observa la prueba de rangos múltiples de Fisher (LSD) al 95 %

Tabla 4. Número larvas de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de arroz

Tratamientos	Medias
<i>Bacillus thuringiensis</i>	0,33 a
Insecticida	0,67 a
Testigo	50,67 b

En este apartado podemos observar que los tratamientos aplicados para el manejo larvas de *S. frugiperda* donde el insecticida químico con 0,67 larvas y *B. thuringiensis* (0,33) fueron iguales entre sí y diferente al testigo que presentó 50 larvas.

En el Tabla 5, se exponen los resultados de la prueba de rango múltiples de Fisher al 95 %, donde se evidencia el número de insectos adultos de *S. frugiperda*.

Tabla 5. Número insectos adultos de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de arroz.

Tratamientos	Medias
Insecticida	0,67 a
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1 a
Testigo	18 b

Los resultados obtenidos en la Tabla 5, revelan que, el insecticida químico (0,67 adultos) y el *Bacillus thuringiensis* (1 adulto) fueron estadísticamente iguales al reducir la población de adultos de *S. frugiperda*, presentaron valores significativamente menores en comparación con el testigo.

En la Tabla 6 muestra los resultados del análisis de comparación múltiple, donde se observa que el número de insectos adultos de *Rupela albinella*.

Tabla 6. Número insectos adultos de *Rupela albinella* en el cultivo de arroz.

Tratamientos	Medias
<i>Bacillus thuringiensis</i>	95,33 a
Testigo	510,67 c
Insecticida	263 b

En la Tabla7, se evidencia, el tratamiento a base *Bacillus thuringiensis* presentó menor número de insectos adultos con 95,33 *R. albinella* y fue estadísticamente diferente al insecticida químico que presentó 263 individuos y el control con 510.

5. Discusión

A los siete días después de la siembra en el medio de cultivo LMA, se observó un crecimiento significativo de la bacteria del género *Bacillus*, lo que está relacionado con la acidificación del medio, lo que puede atribuirse a la capacidad de algunas especies de *Bacillus* para metabolizar compuestos orgánicos y liberar ácidos como productos de su metabolismo. Lo que concuerda con Shukla et al., (2020) los que mencionan que esta asociación puede atribuirse a la versatilidad metabólica de diversas especies de *Bacillus*, las cuales poseen la capacidad de fermentar una amplia gama de sustratos orgánicos presentes en el medio, generando como productos finales diversos ácidos orgánicos, principalmente láctico, acético y fórmico.

La acidificación del medio de cultivo puede afectar la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de otros microorganismos presentes, lo que influye en la competencia y las interacciones entre especies, este proceso inducido por el crecimiento de *Bacillus* tiene diversas implicaciones biotecnológicas, el cual se aprovecha en la producción de alimentos fermentados, como el yogur y el queso, donde la acidificación contribuye al desarrollo del sabor y a la conservación del producto (Vacheron, 2013). Además, la capacidad de *Bacillus* para acidificar el medio puede ser utilizada para el control biológico de patógenos, al crear un ambiente desfavorable para su crecimiento (Shukla et al., 2020).

La comparación entre los tratamientos insecticida químicos y biológicos para el manejo de *S. frugiperda* ha mostrado resultados prometedores, reduciendo significativamente la población de larvas en comparación con el testigo, estos dos tratamientos mostraron una alta eficacia para controlar la plaga, esto concuerda con Bravo et al. (2011) previos han reportado que *B. thuringiensis* actúa específicamente en el intestino medio de las larvas de lepidópteros, causando parálisis intestinal y eventual muerte de los individuos.

Por otro lado, los insecticidas químicos son conocidos por su efecto de contacto e ingestión que impacta directamente la supervivencia de las larvas. Sin embargo, es importante destacar que el uso repetido de la misma molécula del insecticida químicos puede llevar a la resistencia de las plagas (Gutiérrez-Moreno et al., 2019). Este aspecto realza la importancia de estrategias integradas, donde productos biológicos como *B. thuringiensis* jueguen un papel esencial para reducir el uso excesivo de químicos.

El impacto ambiental de ambos tratamientos difiere considerablemente, dado que, *B. thuringiensis* es considerado seguro para los microorganismos y compatible con la agricultura sostenible (Lacey et al., 2015), los insecticidas químicos pueden tener efectos negativos en los ecosistemas, afectando organismos benéficos como polinizadores o enemigos naturales.

El manejo de *Spodoptera frugiperda*, una de las plagas importante en cultivos como el maíz y el arroz, ha demostrado diferencias significativas en la efectividad de los tratamientos evaluados. En el presente análisis, los resultados muestran que el insecticida químico (0,67 larvas) como el bioinsecticida *Bacillus thuringiensis* (0,33 larvas) presentaron una reducción de la población de larvas en comparación con el testigo no tratado (50 larvas). Estudios previos corroboran la eficacia de *B. thuringiensis*, que actúa al liberar toxinas que se unen a receptores específicos en el intestino medio de las larvas, causando parálisis intestinal y eventualmente su muerte (Bravo et al., 2017; Chen et al., 2023).

Su especificidad hacia plagas objetivo minimiza los impactos negativos en organismos no objetivo y el ambiente, lo que lo convierte en una herramienta valiosa en programas de manejo integrado de plagas (MIP) (Chattopadhyay et al., 2017; Kumar et al., 2019). La alta población de larvas en el testigo destaca la importancia de implementar medidas de control adecuadas para mitigar el daño económico que causa esta plaga.

En esta investigación, los tratamientos con un insecticida químico y con *Bacillus thuringiensis* (Bt) resultaron estadísticamente iguales entre sí, con medias de 0,67 y 1 larva,

respectivamente. Sin embargo, ambos tratamientos fueron significativamente diferentes al testigo, que presentó una media de 18 insectos adultos.

El insecticida químico mostró una media de 0,67 larvas que es una población baja y que se relaciona con investigaciones previas que destacan la acción rápida de estos productos al actuar como neurotoxinas en las plagas (Chao et al., 2019). Sin embargo, el uso prolongado de insecticidas químicos acabara riesgos como el desarrollo de resistencia en ciertas poblaciones de plagas.

El tratamiento con Bt presentó una media de 1 larva, similar al insecticida químico, es una alternativa biológica en programas de manejo integrado de plagas (MIP), este microorganismo produce proteínas cristalinas que son específicas para lepidópteros, lo que lo convierte en un método amigable con el ambiente (Bravo et al., 2017). Además, Bt minimiza los riesgos de resistencia en plagas al ser empleado dentro de rotaciones o combinaciones estratégicas con otros métodos (Kumar et al., 2021).

El resultado en el testigo, con una media de 18 larvas, subraya el potencial de daño de *S. frugiperda* en sistemas agrícolas no tratados. Estudios han reportado que esta plaga puede causar pérdidas significativas de rendimiento en cultivos como maíz, arroz y sorgo si no se implementan medidas de control efectivas (Nyamutukwa et al., 2022).

El número de insectos adultos de *Rupela albinella* (una plaga significativa en cultivos de arroz) presentes bajo diferentes tratamientos, los resultados indican una diferencia en la eficacia de los tratamientos utilizados como *Bacillus thuringiensis* (95,33), insecticida químico (263), y el testigo (510,67), fueron estadísticamente diferentes entre sí. Esto demuestra un control y una alternativa sostenible al control químico, por otro lado, Lacey et al. (2015), Bt es una herramienta clave en el manejo de plagas debido a su especificidad y bajo impacto ambiental. Por otro lado, Sparks et al., (2020). Mencionan que, el uso indiscriminado de insecticidas puede tener impactos negativos en la biodiversidad y la salud humana.

El uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt), un bioinsecticida basado en esporas y toxinas cristalinas que afectan específicamente a ciertos insectos, mostró la mayor reducción en el número de adultos de *R. albinella*. Su eficacia en este contexto se relaciona con su selectividad hacia larvas lepidópteras como las de esta plaga, lo que coincide con estudios como el de Bravo et al. (2017), que destaca la capacidad de Bt para reducir poblaciones de insectos sin afectar organismos benéficos.

El insecticida químico, aunque menos eficaz que Bt, alcanzó reducir el número de insectos significativamente en comparación con el testigo (Sarwar (2012)).

6. Conclusiones

En la identificación y caracterización de *Bacillus* sp. se midió el crecimiento y acidificación; el crecimiento de *Bacillus* en el medio LMA está relacionado con su capacidad para metabolizar compuestos orgánicos y liberar ácidos. Esta característica, contribuye al manejo de microorganismos patógenos, tiene aplicaciones biotecnológicas en la producción de alimentos fermentados y en la agricultura sostenible.

Por otro lado, en relación a la eficacia de *Bacillus thuringiensis*; esta ha demostrado ser una herramienta altamente efectiva y sostenible para el manejo de plagas como *Rupela albinella* y *Spodoptera frugiperda*. Su especificidad hacia larvas de *lepidópteros* minimiza los impactos negativos en organismos.

Al comparar los tratamientos *Bacillus* y el insecticida químico lograron reducir las poblaciones de larvas y adultos de plagas de forma significativa a diferencia con el testigo. Sin embargo, el uso de Bt ofrece ventajas adicionales, como menor impacto ambiental y menor riesgo de resistencia en plagas.

La alta población de plagas en el testigo resalta la necesidad de implementar medidas de manejo integrado de plagas (MIP) para prevenir daños económicos significativos en cultivos de arroz.

7. Recomendaciones

Promover el uso de Bioinsecticidas como *Bacillus thuringiensis* en programas de MIP debido a su alta eficacia, especificidad y bajo impacto ambiental, lo cual podría contribuir en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Realizar estudios sobre las capacidades metabólicas de *Bacillus*, especialmente su potencial para acidificar el medio, lo que podría aplicarse en la formulación de nuevos productos para el control biológico de plagas y enfermedades.

Capacitar a los productores sobre los riesgos del uso indiscriminado de insecticidas químicos y los beneficios de los métodos biológicos y sostenibles para el manejo de plagas.

Fomentar prácticas agrícolas sostenibles mediante la incorporación de Bioinsecticidas como Bt dentro de un marco más amplio de agricultura sostenible, combinando estrategias o prácticas culturales, biológicas y químicas para maximizar la productividad mientras se minimiza el impacto ambiental.

8. Bibliografía

- Afzal, M., Ijaz, M., Abbas, N., Shad, S., & Serrão, J. (2024). Resistance of Lepidopteran Pests to *Bacillus thuringiensis* Toxins: Evidence of Field and Laboratory Evolved Resistance and Cross-Resistance, Mode of Resistance Inheritance, Fitness Costs, Mechanisms Involved and Management Options. *Toxins*, 16(7), 315.
- Andrews, J., & Brock, T. (1991). Comparative ecology of microorganisms and macroorganisms (pp. xv+-302). New York: Springer-Verlag.
- Angon, P., Mondal, S., Jahan, I., Datto, M., Antu, U., 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.
- Bravo, A., Likitvivatanavong, S., Gill, S. S., & Soberón, M. (2011). *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect biochemistry and molecular biology*, 41(7), 423-431.
- Bel, Y., Ferré, J., & Hernández-Martínez, P. (2020). *Bacillus thuringiensis* toxins: functional characterization and mechanism of action. *Toxins*, 12(12), 785.
- Carranza Arévalo, G. E. (2020). *Predicción de los efectos del cambio climático sobre el daño potencial de una especie de cogollero en el cultivo de maíz (Zea mays) en la provincia de Tungurahua* (Master's thesis).
- Castro, A., & Pérez, M. (2024). *Efficacy of Bacillus thuringiensis in controlling Spodoptera frugiperda in Ecuadorian rice fields*. *Journal of Pest Management*, 45(2), 123-134.
- Cerna-Cardona, J., Campos-Jiménez, R., Bello-López, J., Loyola-Cruz, M., Sosa-Hernández, Ó., Cruz-Cruz, C., ... & Ibáñez-Cervantes, G. (2022). Influencia de la técnica de muestreo en los resultados microbiológicos obtenidos de endoscopios flexibles procesados. *Endoscopia*, 34(4), 103-110.
- Chao, W., Lei, Z., Chongyu, L., Kongming, W., & Yutao, X. (2019). Research progress of resistance mechanism and management techniques of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to insecticides and Bt crops. *Plant Diseases and Pests*, 10(4), 10-17.

- Chattopadhyay, P., Banerjee, G., & Mukherjee, S. (2017). Recent trends of modern bacterial insecticides for pest control practice in integrated crop management system. 3 *Biotech*, 7, 1-11.
- Chen, H., Hasnain, A., Cheng, Q., Xia, L., Cai, Y., Hu, R., ... & Wang, X. G. (2023). Resistance monitoring and mechanism in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) for chlorantraniliprole from Sichuan Province, China. *Frontiers in Physiology*, 14, 1180655.
- Córdova-Rojas, L., Castillo, H., Farfán, C., Valdera, G., & Costilla, M. (2022). Obtención de *Bacillus* y *Pseudomonas* de la rizósfera de *Opuntia quitensis* “tuna” como promotores de crecimiento en *Zea mays* L. *Revista Ciencia y Tecnología*, 18(2), 105-114.
- de la Cruz–Leytón, C., Romero-Cabello, C. L., Lozano–Lévano, C., & Zavaleta–Rengifo, A. (2023). Efecto biocida del extracto de semillas de higuera (*Ricinus communis*) en *Ulomoides dermestoides* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biotempo*, 20(2), 197-203.
- del Puerto, A., Suárez, S., & Palacio, D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y epidemiología*, 52(3), 372-387.
- Huang, F. (2021). Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. *Insect Science*, 28(3), 574-589.
- FAO. (2023). Rice Market Monitor. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/rice-market-monitor/en/>
- Fatimah, S., & Zulaika, E. (2023). The diversity of *Bacillus* resistant iron (Fe) isolated from ITS eco urban farming using phenetic numerical taxonomy approach. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 2634, No. 1). AIP Publishing.
- Fedearroz. (2021). Situación actual del arroz en Colombia. Federación Nacional de Arroceros. <https://www.fedearroz.com.co>
- García, A., Reyes, A., Ruíz, E., & Ibarra, J. (2018). Aislados nativos de *Bacillus thuringiensis* del sureste de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 539-551.
- Rodríguez-Chalarca, J., Valencia, S. J., Rivas-Cano, A., Santos-González, F., & Romero, D. P. (2024). Impact of Bt corn expressing *Bacillus thuringiensis* Berliner insecticidal

- proteins on the growth and survival of *Spodoptera frugiperda* larvae in Colombia. *Frontiers in Insect Science*, 4, 1268092.
- Gastesi, J. A., Mora, F. C., Villalva, J. G., & Litardo, R. M. (2024). Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 9(1), 22-35.
- Gutiérrez-Moreno, R., Mota-Sanchez, D., Blanco, C. A., Whalon, M. E., Terán-Santofimio, H., Rodríguez-Maciel, J. C., & DiFonzo, C. (2019). Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of economic entomology*, 112(2), 792-802.
- Herrero, S., Bel, Y., Hernández-Martínez, P., & Ferré, J. (2016). Susceptibility, mechanisms of response and resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in *Spodoptera* spp. *Current opinion in insect science*, 15, 89-96.
- Huang, Y., Li, X., & Chen, Z. (2019). *Bioinsecticide effectiveness against Spodoptera frugiperda* in rice crops. *Crop Protection*, 120, 99-106.
- INEC. (2021). Encuesta Nacional Agropecuaria. Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador.
- Jurat-Fuentes, J. L., Heckel, D. G., & Ferré, J. (2021). Mechanisms of resistance to insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, 66, 121-140.
- Kalleshwaraswamy, C. M., & Kumar, A. (2020). *Impact of Bacillus thuringiensis on pest populations and rice yield*. *International Journal of Agricultural Sciences*, 10(5), 2143-2151.
- Kumar, K. K., Sridhar, J., Murali-Baskaran, R. K., Senthil-Nathan, S., Kaushal, P., Dara, S. K., & Arthurs, S. (2019). Microbial biopesticides for insect pest management in India: Current status and future prospects. *Journal of invertebrate pathology*, 165, 74-81.
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of invertebrate pathology*, 132, 1-41.

- Leclerc, L., Nguyen, T. H., Duval, P., Mariotti, V., Petitot, A. S., Orjuela, J., ... & Nègre, N. (2024). Early transcriptomic responses of rice leaves to herbivory by *Spodoptera frugiperda*. *Scientific Reports*, 14(1), 2836.
- Liu, P., Zhang, L., Pu, X., Sun, D., Shen, H., Yang, Q., & Zhang, J. (2024). The Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* Found on Rice *Oryza sativa* L. in China: Their Host Strain, Oviposition Preference and Survival Rate on Rice and Maize. *Agronomy*, 14(10), 2344.
- MAG. (2020). Producción de arroz en Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec>
- MAG. (2021). Informe anual de la producción agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec>
- Marulanda-Moreno, S., Saldamando-Benjumea, C., Gomez, R., Cadavid-Restrepo, G., & Moreno-Herrera, C. (2024). Comparative analysis of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera, Noctuidae) corn and rice strains microbiota revealed minor changes across life cycle and strain endosymbiont association. *PeerJ*, 12, e17087.
- MINAGRI. (2022). Reporte anual de producción agrícola en Perú. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú.
- Montoya, A., López, V., & Cruz, V. (2022). Aislamiento de bacterias a partir de suelos antrópicos afectados por pesticidas. *Journal of Research of the University of Quindío/Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 34. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aqcd%3A1%3A11445713/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aqcd%3A156988469&crl=c&link_origin=scholar.google.es
- Muniappan, R., Zalucki, M. P., Ebert, G., Reddy, G. V. P., & Sartiami, D. (2018). Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an invasive insect pest in Southeast Asia and Africa: *Biology and management options*. *CAB Reviews*, 13(40), 1-16. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813040>.
- Nyamutukwa, S., Mvumi, B. M., & Chinwada, P. (2022). Sustainable management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith): challenges and proposed solutions from an African perspective. *International Journal of Pest Management*, 1-19.
- Oliveira, J. V., Santos, P., & Ferreira, A. (2021). Bioinsecticide application in the management of *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Brazilian Journal of Entomology*, 65(3), 250-257.

- Pérez, R., & López, D. (2023). Use of *Bacillus thuringiensis* for controlling *Spodoptera frugiperda* in Colombian rice fields. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15(4), 345-356.
- Prieto-Samsonov, D., Vazquez-Padron, R. I., Ayra-Pardo, C., Gonzalez-Cabrera, J., & De la Riva, G. A. (1997). *Bacillus thuringiensis*: from biodiversity to biotechnology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 19(3), 202-219.
- Rafael-Rutte, R., Aguilar, R., Maldonado, E. A., & Ruiz, M. (2020). Cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* contra *Spodoptera frugiperda* y *Alabama argillacea* en el cultivo de algodón (*Gossypium barbadense*) en Piura, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 36(1), 52-62.
- Ragab, S., & Tyshenko, M. (2023). Neotropical Realm Distribution of *Spodoptera frugiperda* Under Climate Change and Implications for Future Food Security, Pest Management and Biodiversity.
- Ragasruthi, M., Balakrishnan, N., Murugan, M., Swarnakumari, N., Harish, S., & Sharmila, D. J. S. (2024). *Bacillus thuringiensis* (Bt)-based biopesticide: Navigating success, challenges, and future horizons in sustainable pest control. *Science of The Total Environment*, 176594.
- Ramírez, T., & Silva, L. (2022). Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* in controlling *Spodoptera frugiperda* in Ecuador. *Tropical Agriculture Research*, 55(6), 765-772.
- Rodríguez-Tolosa, R., Cifuentes-Vega, R., & Hernández-Fernández, J. (2023). Caracterización de cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* como método para predecir la susceptibilidad.
- Sarfraz, M., & Khaire, M. (2023). Resistance management in *Spodoptera frugiperda*: The role of *Bacillus thuringiensis*. *Pest Management Science*, 79(10), 4563-4570.
- Sarwar, M. (2012). Management of rice stem borers (Lepidoptera: Pyralidae) through host plant resistance in early, medium and late plantings of rice (*Oryza sativa* L.). *J Cereals Oilseeds*, 3(1), 10-4.

- Sauka, D., & Benintende, G. (2008). *Bacillus thuringiensis*: generalidades: Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista argentina de microbiología*, 40(2), 124-140.
- Silva, A. (2024). Fungos entomopatogênicos como alternativa aos agrotóxicos no controle de insetos-praga no Brasil: uma revisão de literatura (Bachelor's thesis).
- Silva-Filha, M., Romão, T., Rezende, T., Carvalho, K., Gouveia de Menezes, H. S., Alexandre do Nascimento, N., ... & Bravo, A. (2021). Bacterial toxins active against mosquitoes: Mode of action and resistance. *Toxins*, 13(8), 523.
- Sparks, T., Crossthwaite, A., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., ... & Wessels, F. J. (2020). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification-a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104587.
- Shukla, S., Kumar, A., Das, D., & Satpati, P. (2020). Principle of DNA recognition by sporulation-regulatory protein (Spo0A) in *Bacillus subtilis*. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 38(17), 5186-5194.
- Torres, J., & Castro, P. (2022). *Combination of Bacillus thuringiensis with sustainable practices in Latin America*. *Latin American Journal of Agronomy*, 28(2), 122-130.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moëgne-Loccoz, Y., Muller, D., ... & Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in plant science*, 4, 356.
- Vargas, L., Torres, J., & Ramirez, D. (2021). Uso de *Bacillus thuringiensis* en el control de plagas del arroz en Ecuador. *Revista Agroecológica del Ecuador*, 12(1), 22-34.
- USDA. (2023). World Agricultural Production. United States Department of Agriculture. <https://www.usda.gov>
- Viera-Arroyo, W., Tello-Torres, C., Aníbal, A., Navia-Santillán, D., Medina-Rivera, L., Delgado-Parra, A., ... & Jackson, T. (2020). Biological Control: A tool for sustainable agriculture, a point of view of its benefits in Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
- Wang, Y., Zhao, Q., & Liu, H. (2021). *Ecological benefits of using Bacillus thuringiensis in pest management*. *Ecological Applications*, 31(1), e02234.

- Xu, G., Wang, Z., Bai, Y., Crickmore, N., Wang, K., Hassen, A., ... & Zhang, J. (2024). Identification of a biomarker for *Bacillus thuringiensis* strains with high toxicity against *Spodoptera frugiperda* based on insecticidal gene linkage analysis. *Pest Management Science*, 80(10), 5473-5480.
- Zhang, Y., Liu, X., & Wang, J. (2022). *Environmental factors influencing the effectiveness of Bacillus thuringiensis in pest control*. *Journal of Applied Entomology*, 146(7-8), 521-533.
- Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. (2024). Integrated pest management: an update on the sustainability approach to crop protection. *ACS omega*, 9(40), 41130-41147.