

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL**



Tesis

Efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz, en la comunidad de Manasqui – Coyllurqui - Cotabambas - Apurímac.

Presentado por:

Dalila Martínez Ocaña

Para optar el título de Ingeniero Agroecólogo Rural

Abancay, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL



TESIS

Efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz, en la comunidad de Manasqui – Coyllurqui -Cotabambas -Apurímac.

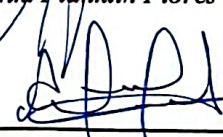
Presentado por **Dalila Martínez Ocaña**, para optar el título de Ingeniero Agroecólogo Rural

Sustentado y aprobado el 30 de octubre de 2025, ante el jurado evaluador:

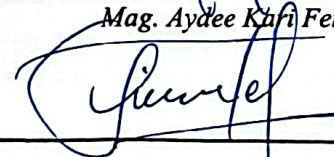
Presidente:


Mag. Niki Franklin Flores Pacheco

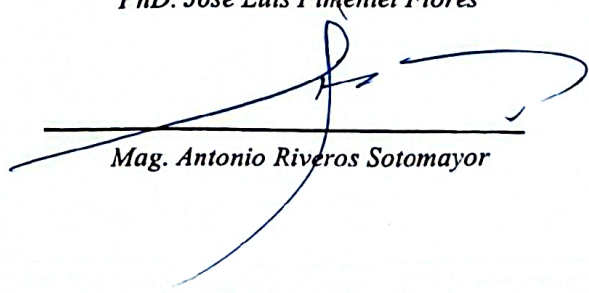
Primer miembro:


Mag. Aydee Kari Ferro

Segundo miembro:


PhD. José Luis Pimentel Flores

Asesor:


Mag. Antonio Riveros Sotomayor

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD **N° 253-2025**

*La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: Efecto de la actividad biológica de Bacillus thuringiensis en el control del cogollero (Spodoptera frugiperda) en la fase vegetativa del maíz, en la comunidad de Manasqui - Coyllurqui - Cotabambas - Apurímac, presentada por la Bach. Dalila Martínez Ocaña, para optar el Título de **Ingeniero Agroecólogo Rural**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(23%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.*

Abancay, 17 de octubre del 2025

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

Dra. Hesméralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c:
Archivo
REG. N° 845

Agradecimiento

Mi gratitud a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroecológica y Desarrollo Rural, a los catedráticos extraordinarios que laboran en ella, quienes con su magnífico dedicación, paciencia y sabiduría han guiado mi formación académica y profesional.

Al laboratorio de microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por el uso de sus instalaciones, materiales, equipos y dotación de cepa biológica.

A mi asesor de tesis Mag. Antonio Riveros Sotomayor, a la Dra. Gladys Marilú Castro Pérez, por sus aporte, recomendaciones y sugerencias durante la etapa experimental y redacción del informe final de la tesis.

A mis compañeros de estudio, con quienes compartí largas horas de trabajo, desvelos y desafíos.

Finalmente, agradecida conmigo mismo, por no rendirme ante las dificultades, por creer en mis capacidades y por esforzarme cada día en alcanzar mis metas. Esta tesis no solo es el cierre de una etapa, sino también el inicio de nuevos retos y sueños por cumplir.

Dalila Martínez Ocaña



Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado de manera especial:

*A **Dios**, por su infinito amor y fortaleza en los momentos de dificultad y debilidad en el proceso del desarrollo de mis metas.*

*A **mis padres**, Cipriano Martínez Letona y Amilda Ocaña Ccasani, por ser mi mayor fortaleza y motivación, siempre serán un ejemplo de avanzar y no rendirme.*

*A **mis hermanos**: Cristian, Geancarlo, Gloria Marina, Duberly, Carolina y Rivelino Martínez Ocaña, quienes fueron promotores de mi perseverancia y apoyo incondicional.*

*A **mi sobrino**: Álvaro Ccasani Martínez quien es alegría para mi corazón y un deleite para mis ojos.*

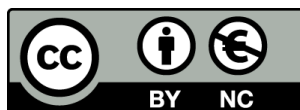
Dalila Martínez Ocaña.



Efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz, en la comunidad de Manasqui – Coyllurqui -Cotabambas -Apurímac.

Línea de investigación: Agua, agricultura, silvicultura y pecuaria sostenible.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	5
1.2.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	8
2.3.1 Definición conceptual de variables	8
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1 Antecedentes	10
3.2 Marco teórico	15
3.2.1 Descripción del cultivo de maíz	15
3.2.2 Estrategia de manejo de gusano cogollero	20
3.2.3 Taxonomía del gusano cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	20
3.2.4 Ciclo de vida de cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	21
3.2.5 Hábitos y daños del cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	22
3.2.6 Hábitos y daños del cogollero del maíz (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	22
3.2.7 Controladores biológicos del gusano cogollero	23
3.2.8 Estadios larvales y momento de control	23

3.2.9	Bacterias entomopatógenas	28
3.2.10	Género Bacillus	28
3.2.11	Modo de acción de las proteínas Bacillus thuringiensis	32
3.2.12	Clasificación taxonómica	34
3.2.13	Aplicación de las bacterias entomopatógenos	34
3.3	Marco conceptual	35
CAPÍTULO IV		38
METODOLOGÍA		38
4.1	Tipo y nivel de investigación	38
4.1.1	Tipo de investigación	38
4.1.2	Nivel de investigación	38
4.2	Diseño de investigación	39
4.3	Población y muestra	40
4.4	Procedimiento	41
4.5	Técnicas e instrumentos	54
CAPÍTULO V		61
RESULTADOS Y DISCUSIONES		61
5.1	Análisis de resultados	61
5.1.1	Evaluación de la mortalidad del gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	61
5.1.2	Evaluación de incidencia del gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	65
5.1.3	Análisis para el rendimiento del maíz	69
5.2	Contrastación de hipótesis	71
5.2.1	Contrastación de hipótesis general	71
5.2.2	Contrastación de hipótesis específica 1	73
5.2.4	Hipótesis específica 3	87
5.3	Discusión	90
5.3.1	Discusiones sobre porcentaje de mortandad del gusano cogollero	90
5.3.2	Discusiones sobre la incidencia de gusano cogollero	91
5.3.3	Discusiones sobre el rendimiento del cultivo de maíz	92
CAPÍTULO VI		93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		93
6.1	Conclusiones	93
6.2	Recomendaciones	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		96
ANEXOS		104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Etapas vegetativas y reproductivas	18
Tabla 3 — Concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en UFC.	45
Tabla 4 — Primera aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>	46
Tabla 5 — Segunda aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>	47
Tabla 6 — Tercera aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>	48
Tabla 7 — Volumen de solución bacteriano de <i>Bacillus thuringiensis</i>	49
Tabla 8 — Análisis de varianza (ANOVA)	55
Tabla 9 — Prueba de normalidad de las variables	58
Tabla 10 — Prueba de homogeneidad de varianza	59
Tabla 11 — Estadístico descriptivo porcentaje de mortandad primera evaluación.	61
Tabla 12 — Estadístico descriptivo de mortandad segunda evaluación.	63
Tabla 13 — Estadístico descriptivo porcentaje de mortalidad tercera evaluación.	64
Tabla 14 — Estadístico descriptivo porcentaje de incidencia primera evaluación.	65
Tabla 15 — Estadístico descriptivo porcentaje de incidencias segunda evaluación	67
Tabla 16 — Estadísticos descriptivos porcentaje de incidencia tercera evaluación.	68
Tabla 17 — Estadístico descriptivo para rendimiento del cultivo de maíz	69
Tabla 18 — Contrastación de hipótesis, a través de ANOVA	71
Tabla 19 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad primera evaluación.	73
Tabla 20 — Prueba de Tukey para mortalidad primera evaluación.	74
Tabla 21 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad segunda evaluación.	75
Tabla 22 — Prueba de Tukey para mortalidad segunda evaluación.	76
Tabla 23 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad tercera evaluación.	77
Tabla 24 — Prueba de Tukey para mortalidad tercera evaluación.	78
Tabla 25 — Análisis de varianza porcentaje de incidencia primera evaluación.	79
Tabla 26 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia primera evaluación.	80
Tabla 27 — Análisis de varianza de porcentaje de incidencia segunda evaluación.	82
Tabla 28 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia segunda evaluación.	83
Tabla 29 — Análisis de varianza de porcentaje de incidencia tercera evaluación.	84
Tabla 30 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia tercera evaluación.	85
Tabla 31 — Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de maíz	87
Tabla 32 — Prueba de Tukey para rendimiento del cultivo de maíz	88
Tabla 33 — Larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> primera evaluación a los 27 días	105



Tabla 34 — Larvas de Spodoptera frugiperda en la segunda evaluación.	105
Tabla 35 — Larvas de Spodoptera frugiperda en la tercera evaluación.	106
Tabla 36 — Operacionalización de variables	106
Tabla 37 — Matriz de consistencia	107
Tabla 38 — Ubicación hidrográfica del estudio	109
Tabla 39 — Coordenadas geográficas del estudio	109
Tabla 40 — Cronograma de actividades de la investigación	110
Tabla 41 — Presupuesto de bienes, servicios e insumos empleados en la investigación.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Fenología del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	17
Figura 2 — Granos de Maíz Var. BGC	19
Figura 3 — Manejo integrado de gusano cogollero	20
Figura 4 — Ciclo biológico del gusano cogollero	21
Figura 5 — Ciclo completo del gusano cogollero por etapa	22
Figura 6 — Estadios larvales de <i>Spodoptera frugiperda</i>	23
Figura 7 — Estadio larval 1	24
Figura 8 — Estadio larval 2	25
Figura 9 — Estadio larval 3	25
Figura 10 — Estadio larval 4	25
Figura 11 — Estadio larval 5	26
Figura 12 — Estadio larval 6	26
Figura 13 — Adulto macho de <i>Spodoptera frugiperda</i>	27
Figura 14 — Adulto hembra de <i>Spodoptera frugiperda</i>	27
Figura 15 — Cristales y esporas de <i>Bacillus thuringiensis</i>	29
Figura 16 — Ciclo biológico de <i>Bacillus thuringiensis</i>	30
Figura 17 — Actividad insecticida de Bt sobre larva de <i>L. botrana</i> .	31
Figura 18 — Asignación de los bloques y tratamientos	40
Figura 19 — Días de aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>	50
Figura 20 — Barras de porcentaje de mortalidad	62
Figura 21 — Barras de mortalidad por tratamiento	63
Figura 22 — Barras de mortalidad por tratamiento	65
Figura 23 — Barras de incidencia por tratamiento	66
Figura 24 — Barra de incidencia por tratamiento	67
Figura 25 — Barras de incidencia por tratamiento	69
Figura 26 — Barras de rendimiento por tratamiento	70
Figura 27 — Intervalo de incidencia vs. Tratamiento	81
Figura 28 — Intervalo de incidencia vs. Tratamiento	84
Figura 29 — Intervalo de incidencia vs. tratamiento	86
Figura 30 — Comparaciones de promedios para rendimiento	89
Figura 31 — Mapa de ubicación geográfica de la investigación	108
Figura 32 — Ficha de evaluación resumido	126

Figura 33 — Ficha de evaluación general	127
Figura 34 — Ficha de evaluación con datos de campo	128
Figura 35 — Croquis del campo experimental	129

INTRODUCCIÓN

El estudio titulado "Efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz", tuvo como objetivo principal evaluar la eficacia del uso de la bacteria (*Bt*) como agente biocontrolador del gusano cogollero en cultivos de maíz, el estudio se desarrolló en la comunidad de Manasqui, ubicada en el distrito de Coyllurqui, donde se analizaron las respuestas del cultivo frente a la aplicación de la solución bacteriana.

Las pérdidas de la producción del maíz en el mundo está ocasionada por plagas que representan alrededor de 31% en la agricultura, la causa principal es por la infestación del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) en etapa larval, (Valdez Torres et al., 2012).

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, lepidóptero perteneciente a la familia Noctuidae, representa una de las principales plagas que afecta directamente al cultivo de maíz, ya que se alimenta tanto de las partes vegetativas como reproductivas de la planta, reduciendo su desarrollo y productividad. Esta problemática se presenta de manera recurrente en los sistemas agrícolas y generar pérdidas significativas. En la comunidad de Manasqui, los productores agrícolas se ven especialmente afectados por la presencia de esta plaga, debido a que el maíz constituye uno de los cultivos más importantes de la economía local. La infestación del gusano cogollero ocasiona daños visibles en las hojas y el cogollo lo que se traduce en una disminución del rendimiento.

Es así que, mediante este trabajo se contribuyó al conocimiento científico y práctico sobre el control biológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz, brindando alternativas ecológicas y económicamente viables para los productores agrícolas locales. Asimismo, se procuró fomentar el uso de tecnologías biológicas que hicieran más sostenibles los sistemas agrícolas, lo que aportó resultados significativos en el control de *Spodoptera frugiperda*, evidenciándose un aumento en la mortalidad de la plaga y una reducción en su incidencia, lo que contribuyó a mejorar el rendimiento del cultivo de maíz.



RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero del maíz, con un enfoque cuantitativo, de carácter experimental, aplicando un (DBCA). Se realizó la prueba de hipótesis mediante el ANOVA (Sig.<0,05) y la comparación múltiple de medias con Tukey con una probabilidad del 95%. Las concentraciones de *Bacillus thuringiensis* se obtuvieron mediante la aplicación de la fórmula de dilución considerando el volumen final requerido, para la evaluación de la incidencia del cogollero se realizó siguiendo la metodología establecida por SENASA (2017), mientras que para la identificación del cogollero se complementó con fichas técnicas de reconocimiento basadas en los aportes de Giménez (2016) y Suasnabar *et al.* (2021), permitiendo así obtener el resultado siguiente: En la primera evaluación el T2C2 registró 64.50 % de mortalidad, T1C1 50.75 % y el testigo 29 %; en la segunda, T2C4 alcanzó 67.25 %, T1C3 50.25 % y el testigo 19.25 %; en la tercera, T2C6 logró 58 %, T1C5 56.25 % y el testigo 23.75 %. Respecto a la incidencia, en la primera aplicación T1C1 obtuvo 63 %, T2C2 63.25 % y el testigo 65 %, sin diferencias significativas; en la segunda aplicación se obtuvo 56.75 % (T1C3), 55.75 % (T2C4) y el testigo (65 %); en la tercera aplicación se registró 37 % en T1C5, 31.50 % en T2C6 y 58.50 % en el testigo. Finalmente, para el rendimiento los tratamientos con *Bt* alcanzaron: T2C6 obtuvo 3.875 t/ha, T1C5 3.725 t/ha, y el testigo 2.675 t/ha. Con base en los resultados, el estudio demostró que la aplicación de diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* generó un control efectivo de *Spodoptera frugiperda*, alcanzando mortalidades entre 50.25 % y 67.25 %, aunque entre los tratamientos no se evidenciaron diferencias marcadas, pero fueron diferentes y superiores al testigo. Asimismo, la incidencia de la plaga se redujo progresivamente registrándose valores mínimos en T1C5 (37 %) y T2C6 (31.50 %), frente al testigo. Finalmente, el uso del *Bacillus thuringiensis* se reflejó en un mayor rendimiento del cultivo: T2C6 y T1C5 alcanzaron 3.875 t/ha 3.725 t/ha, respectivamente, frente a 2.675 t/ha del tratamiento testigo. Estos resultados confirman que *Bacillus thuringiensis* es una alternativa viable para el manejo de *S. frugiperda* y la mejora del rendimiento del maíz.

Palabras clave: Bioinoculante, incidencia, mortalidad, entomopatógeno, larvas.



ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the effect of the biological activity of *Bacillus thuringiensis* on the control of the maize fall armyworm, using a quantitative, experimental approach under a Completely Randomized Block Design (CRBD). Hypothesis testing was performed using ANOVA (Sig. < 0.05) and multiple mean comparison with Tukey's test at a 95% probability level. The concentrations of *Bacillus thuringiensis* were obtained through the application of the dilution formula considering the required final volume. The evaluation of fall armyworm incidence was conducted following the methodology established by SENASA (2017), while pest identification was complemented with technical recognition sheets based on the contributions of Giménez (2016) and Suasnabar et al. (2021), allowing the following results to be obtained: in the first evaluation, T2C2 recorded 64.50% mortality, T1C1 50.75%, and the control 29%; in the second evaluation, T2C4 reached 67.25%, T1C3 50.25%, and the control 19.25%; in the third evaluation, T2C6 achieved 58%, T1C5 56.25%, and the control 23.75%. Regarding incidence, in the first application T1C1 recorded 63%, T2C2 63.25%, and the control 65%, with no significant differences; in the second application, values of 56.75% (T1C3), 55.75% (T2C4), and 65% in the control were recorded; in the third application, incidence decreased to 37% in T1C5, 31.50% in T2C6, and 58.50% in the control. Finally, in terms of yield, treatments with *Bacillus thuringiensis* achieved higher values: T2C6 reached 3.875 t/ha, T1C5 3.725 t/ha, and the control 2.675 t/ha. Based on these results, the study demonstrated that the application of different concentrations of *Bacillus thuringiensis* provided effective control of *Spodoptera frugiperda*, achieving mortality rates between 50.25% and 67.25%. Although no marked differences were observed among treatments, all were different and superior to the control. Likewise, pest incidence was progressively reduced, reaching minimum values in T1C5 (37%) and T2C6 (31.50%) compared with the control. Finally, the use of *Bacillus thuringiensis* resulted in higher maize yield, confirming it as a viable alternative for the management of *S. frugiperda* and for improving crop productivity.

Keywords: Bioinoculant, incidence, mortality, entomopathogen, larvae.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En el ámbito local, el manejo de las plagas que afectan al cultivo de maíz representa una de las principales limitantes para la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas productivos agrícolas, comprometiendo significativamente la estabilidad económica y la seguridad alimentaria de los pequeños productores. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es una plaga de importancia económica en el cultivo de maíz, sobre todo en la fase vegetativa provocan daños significativos al cultivo, generando cortes en el cogollo de la planta y ocasionando orificios en las hojas, como resultado de ello se origina pérdidas de importancia económica al disminuir el rendimiento de la producción.

La escasa implementación de estrategias de control alternativo, como el manejo biológico mediante el uso de microorganismos entomopatógenos como *Bacillus thuringiensis*, contribuye significativamente a las pérdidas económicas en los sistemas agrícolas. Asimismo, la continua dependencia de fitotóxicos de alto costo no solo incrementa el riesgo de impactos negativos sobre la salud humana, sino que también favorece el desarrollo de resistencia en las poblaciones plaga y la alteración del equilibrio ecológico. Considerando que los agricultores sostienen su economía en la actividad productiva agrícola, se planteó la aplicación de medidas de control alternativo frente al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), a través del uso del bioinoculante a base de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, estos al ser aplicativos en las plantas de maíz fueron ingeridos por las larvas del gusano cogollero generando mortalidad, de esta manera se redujo la incidencia de la plaga antes mencionada y se contribuyó a mejorar el rendimiento del cultivo.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué efecto tiene la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, Coyllurqui?



1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la mortalidad del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?
- ¿Cuál es el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones *Bacillus thuringiensis* en la incidencia del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?
- ¿Cuál es el rendimiento del maíz como efecto de la actividad biológica de la aplicación de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?

1.2.3 Justificación de la investigación

a. Social

Este estudio resultó relevante por su contribución a la reducción de los riesgos asociados a la salud de los consumidores, así como para los trabajadores agrícolas, a menudo no dejan residuos tóxicos en los productos agrícolas, no afecta negativamente la salud humana y otras especies no objetivo como los polinizadores animales domésticos y la fauna silvestre. Esto favorece a la biodiversidad y contribuye a mantener los ecosistemas equilibrados.

b. Económico

El resultado del estudio de investigación permitió promover una alternativa en la reducción de la dependencia de productos químicos, estos productos suelen ser costosos debido a los gastos asociados a la producción, transporte y entre otras, lo cual no suscita con el empleo de *Bacillus thuringiensis* ya que es relativamente económico para los productores agrícolas que buscan optimizar sus recursos y mejorar su rentabilidad, contribuyendo a una mayor estabilidad económica.



c. Ambiental

La investigación a través del uso de *Bacillus thuringiensis* presentó una alternativa ecológica y sostenible que promueve la salud del ecosistema agrícola frente al uso de pesticidas químicos convencionales, este enfoque tiene varias ventajas en términos ambientales, responsable en comparación con los métodos convencionales de control de plagas en el cultivo de maíz, el uso de organismos biológicos asegura la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, dado que estos suelen consolidarse en los sistemas con el transcurso del tiempo y no causan perjuicios secundarios significativos en poblaciones de insectos que no son considerados plaga, su capacidad para integrarse en estrategias agrícolas sostenibles lo posicionan como una opción clave en la transición hacia una agricultura más ecológica y menos dependiente de productos químicos, mismos que con el paso del tiempo tienden a degradar y reducir el nivel de fertilidad del suelo agrícola y favorece el desarrollo de resistencia de plagas.

d. Metodológico

Desde el punto de vista metodológico, en el desarrollo de la investigación se empleó el método científico para evaluar el efecto de *Bacillus thuringiensis* en la mortalidad e incidencia del gusano cogollero y su influencia en el rendimiento del cultivo de maíz. El uso de este método permitió realizar observaciones precisas, aplicar tratamientos de manera controlada y analizar los resultados con rigurosidad, asegurando la validez y replicabilidad del estudio.

De esta manera, los procedimientos empleados facilitan que la investigación pueda ser replicada y adaptada en la producción de maíz u otros cultivos en diferentes contextos agrícolas, promoviendo el uso de alternativas biológicas.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito de Coyllurqui.

2.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la mortalidad del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.
- Determinar el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la incidencia del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.
- Determinar el rendimiento de la producción de maíz por medio de la aplicación de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La aplicación de *Bacillus thuringiensis* tiene un efecto biológico significativo en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.

2.2.2 Hipótesis específicas

- La aplicación de *Bacillus thuringiensis* a diferentes concentraciones presenta variaciones significativas en la mortalidad del cogollero (*Spodoptera*



frugiperda) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.

- Al menos una de las concentraciones de *Bacillus thuringiensis* tuvo mayor efecto biológico en la incidencia del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.
- Existen diferencias significativas en el rendimiento de la producción de maíz, por medio de la aplicación de las diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.

2.3 Operacionalización de variables

2.3.1 Definición conceptual de variables

Se define considerando las características que pueden medirse y tomar diversos valores numéricos.

Variable independiente:

Bioinoculante *Bacillus thuringiensis* (diferentes concentraciones), Suspensión bacteriana que contiene la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* cuya aplicación se realizó a través de una solución bacteriana que contiene cristales tóxicos, misma que está expresado en mL.

Variable dependiente:

- Mortalidad de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), porcentaje larvas muertas de gusano cogollero, mismas que fueron evaluados para medir el efecto de aplicación de *Bacillus thuringiensis*.
- Incidencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Plantas afectadas con presencia de larvas del cogollero, con respecto a la totalidad de plantas evaluadas.
- Rendimiento del cultivo de maíz blanco. Cantidad de grano obtenido por cosecha de maíz variedad BGC (t/ha) producida en la investigación.

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables	Definición	Indicadores	Índices
Variable independiente: Bioinoculante <i>Bacillus thuringiensis</i> .	Suspensión bacteriana que contiene microorganismo (<i>Bacillus thuringiensis</i>), aplicado para el control del gusano cogollero.	Aplicación 1: C1 y C2 Aplicación 2: C3 y C4 Aplicación 3: C5 y C6	mL mL mL
Variables dependientes Mortalidad del cogollero <i>(Spodoptera frugiperda)</i> .	Porcentaje de larvas muertas en el cultivo de maíz como resultado del efecto del <i>Bacillus thuringiensis</i> ,	Larvas muertas	%
Incidencia del cogollero <i>(Spodoptera frugiperda)</i>	Plantas de maíz afectadas por las larvas del cogollero, misma que se expresa “número de unidades en una muestra”	Plantas afectadas y no afectadas	%
Rendimiento del maíz	Cantidad de cosecha producida en un período expresado en términos de toneladas por hectárea (t/ha).	Peso en granos	t/ha
NOTA El texto presenta la operacionalización de las variables del estudio, detallando sus definiciones, indicadores e índices para medir. FUENTE Claves % Porcentaje T/ha Toneladas por hectárea mL Mililitro C Concentración			

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Juárez (2021), en su investigación titulada “Actividad bioinsecticida del hongo entomopatógeno *Metarhizium rileyi* y de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, contra larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en condiciones de laboratorio”, tuvo como objetivo evaluar la mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* a diferentes suspensiones de esporas del hongo *Metarhizium rileyi*, en comparación con la bacteria *Bacillus thuringiensis* separadamente y en combinación, para evaluar la interacción entre *M. rileyi* y *Bacillus thuringiensis*. En su investigación demostró que la mortalidad del gusano cogollero fue muy notoria con el tratamiento combinado *M. rileyi* + *Bacillus thuringiensis* a dosis baja (dosis recomendada según la etiqueta), debido a que alcanzó el 82% de mortalidad de larvas de gusano cogollero; sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas en comparación con los tratamientos análogos sin *Bt* (sólo hongo). El tratamiento de inoculación del hongo *M. rileyi* a concentración de 1.3×10^8 fue el segundo tratamiento con alta mortalidad, con 74% de mortalidad en larvas de *S. frugiperda*. En el tratamiento *Bt* en concentración alta (tres veces la dosis recomendada en la etiqueta) + *M. rileyi* a concentración de 1.3×10^8 se obtuvo un 63% de mortalidad, mientras que el tratamiento de *Bt* en concentración alta obtuvo el 17% y finalmente, en el tratamiento de *Bt* en concentración recomendada se obtuvo sólo el 2% de mortalidad de larvas. El testigo no presentó mortalidad. La combinación hongo/bacteria no resultó estadísticamente diferente de los tratamientos de hongo sólo.
- b) Salguero (2021), en su investigación titulada “Determinación de la eficacia de *Bacillus thuringiensis* para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), en el cultivo de maíz en aldea las trochas, Nueva concepción, Escuintla”, misma que tuvo como objetivo determinar la eficacia de *Bacillus thuringiensis* para el control de gusano cogollero en el cultivo de maíz, para la investigación la metodología empleada fue diseño de bloques completos al azar, donde tuvo 4 tratamientos y 04 bloques, así



mismo consideró variables a evaluar rendimiento y características agronómicas. En el parámetro de rendimiento del cultivo obtuvo como resultado con la aplicación de *Bacillus thuringiensis* con la dosis de 100 cc por mochila de 16 litros obtuvo un rendimiento promedio de 3.81 Ton/ha, con la aplicación de *Bacillus thuringiensis* con la dosis de 150 cc por mochila de 16 litros obtuvo un rendimiento promedio de 4.57 Ton/ha, con la aplicación de *Bacillus thuringiensis* con la dosis de 200 cc por mochila de 16 litros alcanzo un rendimiento promedio de 4.57 Ton/ha y por último el tratamiento testigo que utilizo el control químico obtuvo un rendimiento promedio de 4.78 Ton/ha.

- c) Hernández et al., (2019), realizaron un estudio titulado “Importancia de los entomopatógenos en el control de la plaga *Spodoptera frugiperda* (smith) en el cultivo de maíz morado”, teniendo como objetivo evaluar la eficiencia de 4 formulados entomopatógenos para el control de la plaga *Spodoptera frugiperda* (Smith) en el maíz morado. Para este propósito adoptó el diseño de bloques completamente aleatorio (DBCA) con cinco tratamientos: T1 (*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*), T2 (*Bacillus subtilis*), T3 (*Metarhizium anisopliae*), T4 (*Beauveria bassiana*) y T5 (testigo en blanco) con cuatro repeticiones. El producto aplicado fue de 40 gr/20L H₂O, con una frecuencia de 15 días, por tres meses, evaluando la eficiencia a los 3 días después de cada aplicación. En condiciones de laboratorio evaluó la mortalidad de los individuos expuestos a los tratamientos con 3 larvas a partir del tercer estadio; los resultados fueron sometidos a la fórmula de Henderson-Tilton y Abbott, la prueba de Anova y Duncan. En campo el T1 registró menor incidencia de larvas (1%), alta mortalidad (100%) y mayor rendimiento del cultivo (4 533 kg/ha). En condiciones de laboratorio, el T1 mostró alta mortalidad (100%) de los estadios larvales tres y cuatro; en los estadios cinco y seis el T4 fue el más eficiente (100%). En conclusión, el tratamiento más eficiente en la reducción de los porcentajes de incidencia, así como en la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* fue el entomopatógeno *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. La incidencia presento una disminución significativa de un 10 % evaluadas a los catorce días después de la siembra hasta un 1% a los ochenta y cuatro días de evaluación en campo. En referencia a la mortalidad, la eficiencia en laboratorio de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* fue de un 100% en los estadios larvales tres y cuatro, sin embargo, para el caso de los estadios larvales cinco y seis el tratamiento *Beauveria Bassiana* presentó la más alta eficiencia al (100%).



- d) Bertel & Villero (2018), en la investigación titulada “Evaluación de la eficiencia del *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* cultivado en agua de coco intacto para el control de larvas del mosquito *Aedes aegypti*” tuvo como objetivo evaluar el agua de coco como medio natural para la producción del biopesticida *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (*Bti*) y determinar su efecto sobre las larvas de *Aedes aegypti*. El trabajo se desarrolló en condiciones controladas de laboratorio (29.5–31.2 °C y 53.6–58.6 % de humedad relativa), donde se estableció una cría masal del mosquito y se cultivó el *Bti* en agua de coco, estandarizando las concentraciones de azúcares y proteínas. Se realizaron bioensayos para determinar la toxicidad del cultivo, encontrándose que la dosis letal media (DL_{50}) fue de 2.95×10^7 UFC/mL, la cual provocó la muerte del 50 % de las larvas en solo 12 horas de exposición, demostrando que esta concentración es letal y altamente efectiva para el control biológico del vector del dengue. Los resultados confirmaron que el agua de coco intacto proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento del *Bti*, constituyéndose en un medio económico y eficiente para la producción del biopesticida, y ofreciendo una alternativa ecológica y sostenible frente al uso de insecticidas químicos.
- e) Drouet (2018), en su investigación titulada “Evaluación de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* en el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz híbrido INIAP H-551 en la comuna Río Verde, provincia de Santa Elena”, tuvo como objetivo evaluar la efectividad del *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) como alternativa biológica para el control de *S. frugiperda* en condiciones de campo. El estudio se desarrolló en el Centro Experimental Río Verde, empleando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos estuvieron conformados por cinco dosis de *Bt* (250, 500, 750, 1000 y 1250 cc/ha), un control químico con cipermetrina (300 cc/ha) y un testigo absoluto sin aplicación. Se realizaron aplicaciones foliares cada 15 días durante el ciclo vegetativo del cultivo, y las variables evaluadas fueron número de larvas por parcela, porcentaje de daño foliar, incidencia de la plaga, altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y rendimiento del cultivo.
- Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento testigo presentó el mayor número de larvas y daño foliar, mientras que las dosis más altas de *Bt* (1250 y 1500 cc/ha) registraron una notable reducción en la población de *S. frugiperda* y daños mínimos en las hojas, alcanzando resultados similares al control químico. Además, los tratamientos con *Bt* mostraron rendimientos

superiores al testigo absoluto, evidenciando que el uso del biopreparado no solo controla la plaga, sino que también favorece el desarrollo agronómico del maíz.

- f) Gutierrez (2017), en su investigación titulada “Control biológico de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y mazorquero (*Heliothis zea*) en el cultivo de maíz amiláceo (*Zea Mays l.*), en la localidad de Maucacalle Abancay – Apurímac”, tuvo como objetivo la evaluación de *Bacillus thuringiensis* y *Beauveria bassiana*, en el control biológico de *Spodoptera frugiperda* y *Heliothis zea* en maíz (*Zea mays L.*). El diseño empleado fue, diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA) con 3 tratamientos y 4 repeticiones, Las variables agronómicas evaluadas fueron: altura de plántula de maíz y porcentaje de mortandad de larvas de cogollero y mazorquero en el cultivo de maíz. Como resultado final de la evaluación con entomopatógenos en el control biológico de cogollero y mazorquero obtuvo una excelente alternativa de control mediante la aplicación de *Bacillus thuringiensis* logrando un porcentaje de eficiencia de 65.11% en la mortandad de larvas de mazorquero y un 68.33% en mortandad de larvas de cogollero. El estudio se centró en evaluar la eficacia de control del hongo *Metarhizium anisopliae*, la bacteria *Bacillus thuringiensis*, y sus interacciones en el control de *Spodoptera frugiperda*.
- g) González et al., (2015), realizaron un estudio titulado “Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* - Lepidoptera: Noctuidae” donde evaluaron la toxicidad de diferentes productos comerciales para el control biológico de gusano cogollero. Los productos que evaluaron en laboratorio contra larvas neonatas fueron: Micoralis a base de (*Beauveria bassiana*), Crimax (*Bacillus Thuringiensis*) y Neempower (aceite de neem), así como un insecticida químico, como control positivo (Lorsban), donde llegaron a una conclusión de que el producto más efectivo para el control de gusano cogollero fue Neempower, a una dosis del 20%, con una mortalidad promedio del 86,66%; seguido por Crimax (70,66%), a una concentración de 500 µg mL⁻¹, Micoralis resultó menos efectivo, a una concentración de 1 x 10⁹ esporas mL⁻¹ (49,33%). Lorsban causó el 100% de mortalidad, al 1%, la mortalidad fue mayor en todos los productos biológicos, cuando se utilizaron concentraciones mayores del toxico en condiciones de laboratorio y ésta fue en aumento a través del tiempo, dependiendo del producto utilizado y de su modo de acción. Las larvas de *S. frugiperda* sometidas a *Bacillus thuringiensis* mostraron la máxima mortalidad a las 72 h de estar en contacto con el tóxico, a una concentración de 50 µg mL⁻¹ (20%),



sin embargo, se observó que para obtener una mortalidad mayor (70,66%), se requiere de una mayor concentración del tóxico ($500 \mu\text{g mL}^{-1}$), a menor tiempo (48 h). Por otro lado, resaltan que es importante contar con aislamientos de microorganismos nativos de la región de origen, que se puedan producir de forma local y aplicarse en fresco, sin afectación del ingrediente activo, debido a que cuando se adquieren productos comerciales a base de estos entomopatógenos, en ocasiones se desconoce su origen y si son o no efectivos para el control de plagas diferentes a las que viene indicado el producto.

- h) (Polanczyk et al., 2013), llevaron a cabo una investigación titulada “Evaluación de cepas de *Bacillus thuringiensis* para el control de *Spodoptera frugiperda*”, donde tuvieron como objetivo identificar las cepas más patógenas y virulentas mediante bioensayos aplicados a larvas de segundo instar. La investigación se desarrolló bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y la comparación entre tratamientos se efectuó mediante la prueba de Duncan, evaluándose parámetros de mortalidad y concentraciones letales (CL_{50}). Se ensayaron dos cepas de *Bacillus thuringiensis*: *Bt thuringiensis* 4412 y *Bt aizawai* HD-68, aplicadas en diferentes concentraciones. Los resultados mostraron que la concentración de 3×10^8 células/mL fue la más efectiva, alcanzando 80.40% de mortalidad con la cepa *Bt thuringiensis* 4412 y 70 % con *Bt aizawai* HD-68, siendo ambas estadísticamente superiores a los tratamientos de menor concentración. A niveles inferiores, como 3×10^7 células/mL, las mortalidades disminuyeron entre 50% y 60%, coincidiendo con estudios previos que reportan una alta susceptibilidad de *S. frugiperda* a estas subespecies de *Bt*. Los ensayos de virulencia determinaron que *Bt aizawai* HD-68 presentó la menor CL_{50} (6.7×10^6 células/mL), mostrando mayor potencia biológica, mientras que *Bacillus thuringiensis* 4412 registró una CL_{50} de 8.6×10^6 células/mL, lo que refleja una menor toxicidad relativa. Además, aun cuando la mortalidad no fue total, se observaron efectos subletales como retraso en el desarrollo, reducción del consumo foliar y la imposibilidad de que las larvas sobrevivientes alcancen el cuarto instar. En conjunto, los hallazgos confirman que la concentración de 3×10^8 células/mL sí tuvo un efecto significativo, constituyendo ambas cepas especialmente *Bt aizawai* HD-68 como candidatas de alto potencial para su incorporación en estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) en maíz.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Descripción del cultivo de maíz

El maíz Blanco Gigante Cusco, destaca por la calidad superior de sus granos, los cuales se caracterizan por su tamaño excepcional, con dimensiones casi idénticas en longitud y ancho, un grosor mínimo y una textura muy suave (INIA, 2013).

Su color blanco es típico del maíz blanco cultivado en el Valle Sagrado de los Incas. Este maíz es considerado una de las variedades con mayor volumen de comercialización en el mercado nacional, especialmente en áreas urbanas para consumo humano, y también es uno de los más exportados (INIA, 2013).

Estas variedades pertenecen a la raza Cusco Blanco, que tiene una distribución bastante amplia, cubriendo aproximadamente 100 mil hectáreas (INIA, 2013).

El cultivo de maíz en el Perú posee un alto valor estratégico, debido a su distribución geográfica y al papel que desempeña como alimento básico para las diferentes poblaciones humanas y animales, considerándose el responsable del desarrollo de culturas peruanas, (Garcia, 2017).

El maíz es una planta hermafrodita, lo que significa que produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La panoja (flor masculina) produce polen, mientras que la mazorca (flor femenina) produce los óvulos que se convierten en la semilla, (Garcia, 2017).

a. Origen

El maíz se originó en México y surgió aproximadamente entre los 800 a 8000 a.c y denomina al Teocintle como progenitor del maíz, mencionando a la zona andina de América como centro secundario. El maíz como especie es originaria de América, (Acosta, 2009)

Los estudios realizados para lograr la denominación de origen del maíz Blanco Gigante Cusco definen al Valle Sagrado de los Incas como el territorio de cultivo y producción del Maíz Blanco Gigante. El Valle Sagrado de los Incas abarca ambas orillas del rio de Vilcanota. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 13° 35' 13" LS y los 72° 42' 51" – 73° 21' 12" LO, con una longitud aproximada de 70 km, (Rivera & Riveros , 2008).



b. Taxonomía

En relación con su clasificación taxonómica, el maíz fue nombrado *Zea mays* según la nomenclatura establecida por Linneo en 1737 citado por (Fernández, 2009).

Reino : *Plantae*
División : *Magnoliophyta*
Clase : *Liliopsida*
Orden : *Poales*
Familia : *Poaceae*
Género : *Zea*
Especie : *Z. mays*
Nombre binomial: *Zea mays* L.

c. Etapas y fases fenológicas del maíz

Fase fenológica: como indica (Yzarra, 2012), la fase fenológica es una subdivisión dentro de una etapa fenológica comprende el periodo durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas de maíz la mayoría de las fases son visibles, pero algunas plantas poseen ciertas fases invisibles.

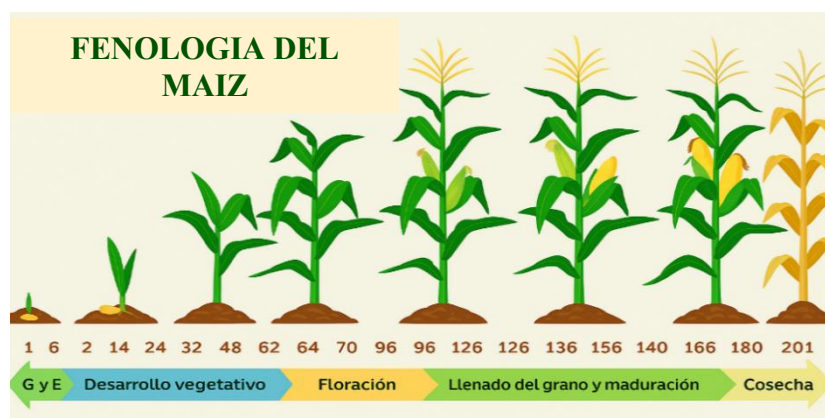
Según (Yzarra, 2012), menciona que las fases fenológicas del maíz son los siguientes:

- ✓ **Emergencia:** Aparición de las plántulas por encima de la superficie del suelo
- ✓ **Aparición de hojas:** Comienza desde que aparecen las dos primeras hojas, debiéndose anotar como fase “dos hojas”, y así sucesivamente de acuerdo al número de hojas que vayan saliendo hasta el inicio de la fase panoja
- ✓ **Panoja:** Se observa salir la panoja de la hoja superior de la planta, sin ninguna operación manual que separen las hojas que la rodean.
- ✓ **Espiga:** Salida de los estigmas (barba o cabello de choclo), se produce a los ocho o diez días después de la aparición de la panoja.
- ✓ **Maduración lechosa:** Se ha formado la mazorca; y los granos al ser presionados presentan un líquido lechoso.

- ✓ **Maduración pastosa:** Los granos de la parte central de la mazorca adquieren el color típico del grano maduro. Los granos, al ser presionados, presentan una consistencia pastosa.
- ✓ **Maduración cornea:** Los granos de maíz están duros. La mayoría de las hojas se han vuelto amarillas o se han secado

Etapas fenológicas: La etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas, así como se detalla a continuación, (YZARRA, 2012).

- ✓ De siembra a emergencia (Etapa I)
- ✓ De emergencia a panoja (etapa II)
- ✓ De Panoja a espiga (etapa III)
- ✓ De espiga a maduración (etapa IV)



Claves

G y E Germinación y emergencia

NOTA

Duración de la fenología del maíz desde la germinación hasta la cosecha.

FUENTE: (Yzarra, 2012)

Figura 1 — Fenología del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Tabla 2 — Etapas vegetativas y reproductivas

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Eemergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Blister
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro
NOTA El texto muestra las principales etapas fenológicas del maíz, organizadas en fases vegetativas y reproductivas. FUENTE: (PIONNER, 2015) Claves R Etapas reproductivas V Etapas vegetativas VT Aparición de panojas			

La suma de las etapas constituye el ciclo de vida del maíz. Cada una de estas etapas está influenciada por los elementos meteorológicos que en su conjunto constituyen el clima de una localidad (Yzarra, 2012).

d. Características vegetativas y reproductivas

Raíz: las raíces son fasciculadas y su misión es contribuir un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele suceder en aquellas raíces secundarias o adventicias, (Sánchez, 2014).

Tallo: El tallo es simple, leñosa, cilíndrica y erecto, logrando alcanzar alturas entre 2 y 6 metros de altura, con numerosos nudos y entrenudos, (Sánchez, 2014).

Hojas: Las hojas, habitualmente, son largas y angostas, envainadoras, formadas por la vaina y el limbo, con nervaduras lineales y paralelas a la nervadura central, (Sánchez, 2014).

Inflorescencia: El maíz es una planta diclino-monoica, con inflorescencia terminal estaminada, la panoja, con una ramificación lateral.

Panoja: Las panojas son las conformaciones donde se desarrolla el grano en un número variable de hileras (12 a 16) originando de 300 a 1000 granos; en

total, el grano constituye alrededor del 42% del peso seco de la planta (Sánchez, 2014).

Grano: El MBGC presenta granos de forma plana circular, con un color blanco uniforme, entre 11 y 17 mm, además es de particular tamaño, es suave, de textura harinosa y el contenido de almidones facilita diversas formas de procesamiento y consumo directo del grano seco y/o del fresco, (Navarro, 2011).

e. Maíz blanco gigante cusco (BGC)

La palabra Maíz Blanco Gigante Cusco establece un maíz catalogado como una raza de segunda derivación, habiendo pasado por muchos años de domesticación y métodos de selección que han hecho que muchas de sus características morfológicas hayan cambiado con respecto a los maíces primitivos, INDECOPI (2005).



Claves

NOTA

Mazorcas de maíz para la selección de semillas.

FUENTE: Tomada en la comunidad de Manasqui.

Figura 2 — Granos de Maíz Var. BGC

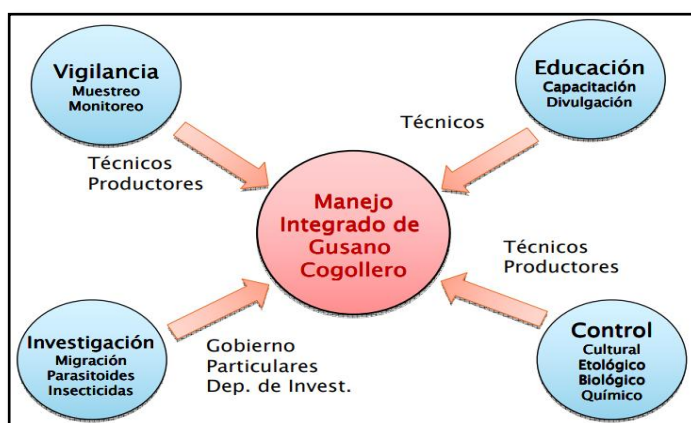
f. Principal plaga del maíz

Desde el punto de vista de Quevedo (2013), los insectos que atacan al cultivo pueden agruparse según el órgano o fase de desarrollo que afectan; En este estudio se enfatiza únicamente al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), una plaga que incide principalmente en la fase vegetativa, dañando el cogollo y las hojas jóvenes del maíz.

✓ **Gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)**

El gusano cogollero es una especie polífaga, genera daños esencialmente a los cultivos de maíz y sorgo. En los primeros días de desarrollo de la planta, la larva puede actuar cortando la planta cerca del suelo (como cortadora), o defoliándola parcial o por completo, de tal forma puede causar la muerte de la planta, los maíces sembrados en zonas cálidas son más propensos a ser afectados por esta plaga, de igual forma los tardíos en zonas templadas, (Quevedo, 2013).

3.2.2 Estrategia de manejo de gusano cogollero



Claves

NOTA

Componentes clave que integran la estrategia de manejo integrado del gusano cogollero.

FUENTE: SENASICA, 2015

Figura 3 — Manejo integrado de gusano cogollero

El desarrollo de estrategias de control de plagas utilizando enemigos naturales en un enfoque agroecológico ofrece una alternativa ambientalmente racional para reducir la entrada de pesticidas en agroecosistemas de maíz, (Barreto et al., 2021).

3.2.3 Taxonomía del gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

De acuerdo con la clasificación taxonómica propuesta por J.E. Smith en 1797, citada por SENASICA (2015), el gusano cogollero se identifica como *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), con la siguiente clasificación.

Phylum : *Anthropoda*

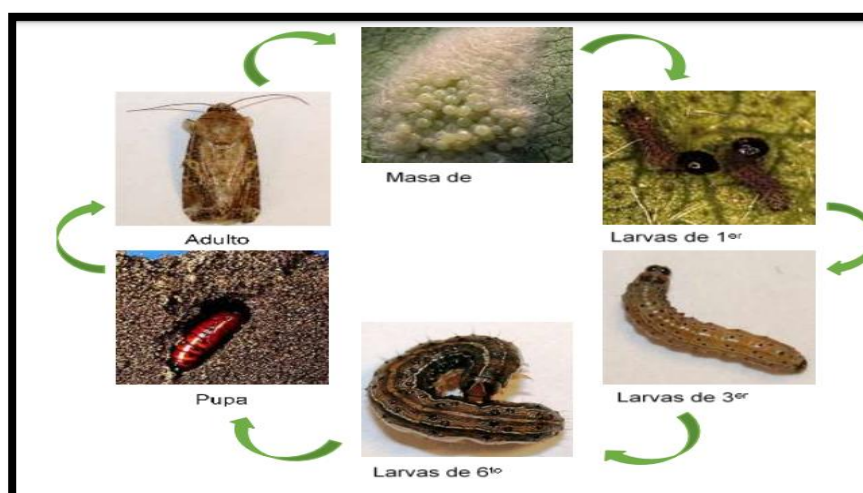
Clase : *Insecta*

Orden : *Lepidóptera*

Familia : *Noctuidae*
 Tribu : *Predenini*
 Género : *Spodoptera*
 Especie : *S. frugiperda* (J.E. Smith).

3.2.4 Ciclo de vida de cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero presenta múltiples generaciones por año, su ciclo biológico abarca las etapas de: huevo, seis o siete estadios larvarios, pupa y adulto.



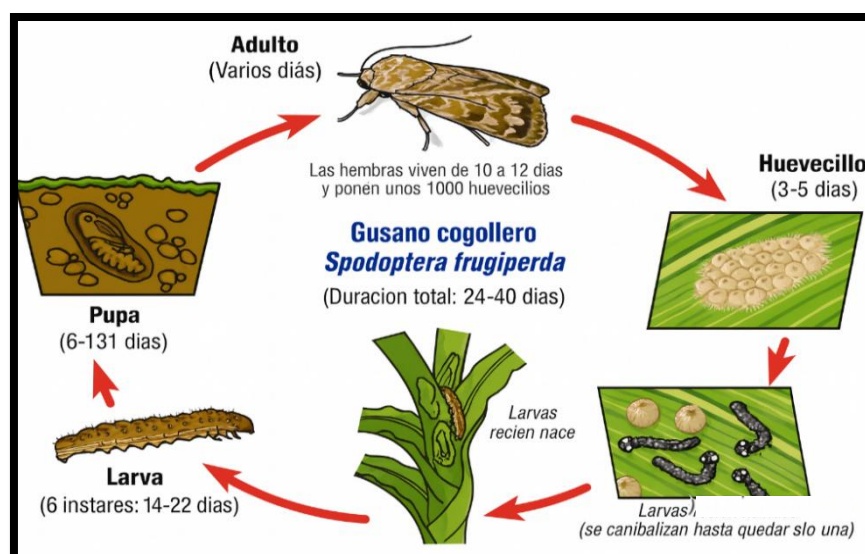
Claves

NOTA

Ciclo biológico del gusano cogollero, muestra desde la oviposición de las masas de huevo hasta el adulto

FUENTE: (HARDKE JT, et al., 2015 citado por MARTINEZ, 2021).

Figura 4 — Ciclo biológico del gusano cogollero



Claves

NOTA

En la figura se muestra la duración en días de cada ciclo biológico del gusano cogollero.

FUENTE: PROAIN, 2020.

Figura 5 — Ciclo completo del gusano cogollero por etapa

3.2.5 Hábitos y daños del cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

El daño que ocasiona *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz se caracteriza por corte de plantas tiernas, defoliación, perforaciones en tallos o daño en espigas, habiendo una marcada preferencia por los cogollos de plantas tiernas. Las más jóvenes comen durante el día mientras que en los últimos estadios son más activas de noche, (Peralta y Luna, 2019).

Las larvas pequeñas y medianas (desde emergidas hasta el segundo estadio) generan raspaduras en la epidermis de las hojas y causar defoliaciones leves.

Las larvas durante los últimos estadios (del tercero en adelante) ocasionan defoliaciones de leves a severas, realizan cortes a las plantas pequeñas de maíz. En campañas secas, *Spodoptera frugiperda* puede causar daños importantes en los tallos, los cuales pueden confundirse con los de *Diatraea saccharalis*, (Peralta y Luna, 2019).

3.2.6 Hábitos y daños del cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*)

Se han registrado 186 especies hospedantes para *S. frugiperda*, repartidos en 42 familias. La mayor proporción de hospedantes se cataloga dentro de la familia poaceae (35.5%), seguida por las familias fabaceae (11.3%), solanaceae (4.3), asteraceae (4.3%), Rosaceae (3.7 %) y Chenopodiaceae (3.7%). Del total de 186 especies de plantas registradas como hospedantes, el 64% se localiza en Norte y Centroamérica, y el 85% se halla en sudamerica, (Martinez, 2021).

Entre los principales hospedantes se encuentra: Maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), cacahuete (*Arachis hypogaea*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), arroz (*Oryza sativa*), algodón (*Gossypium hirsutum*), soya (*Glycine max*), papa (*Solanum tuberosum*), chile (*Capsicum annuum*), cebolla (*Allium cepa*), alfalfa (*Medicago sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*),

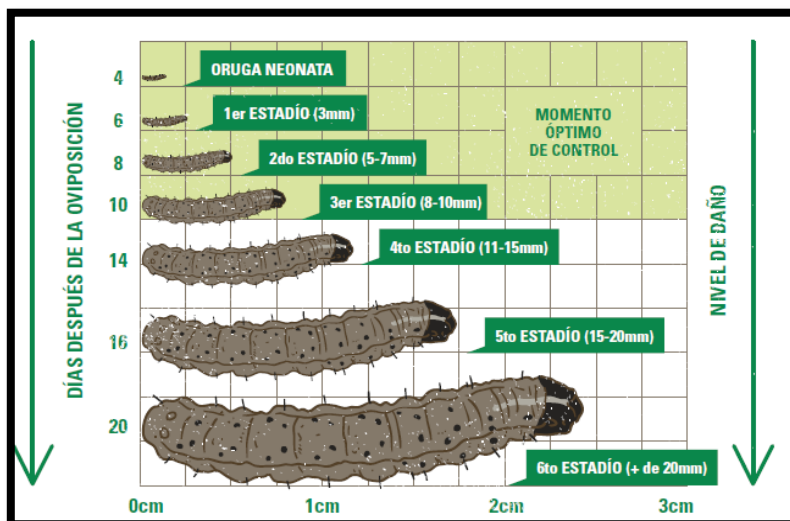
lino (*Linum usitatissimum*), y zacate grama (*Cynodon dactylon*), (Martínez, 2021).

3.2.7 Controladores biológicos del gusano cogollero

Dentro de los principales agentes de control biológico se encuentran organismos vivos que actúan sobre las larvas del insecto plaga, se mencionan como: Microorganismos entomopatógenos como la bacteria *Bacillus thuringiensis*, por otra parte, están los parasitoides (*telenomus remus* Nixon), la avispa *ichneumonida campoletis curvicauda* constituye también una especie muy importante que se halló parasitando 40 a 50% de larvas del cogollero en condiciones naturales, (Hernández et al., 2020).

Así mismo se registra depredadores como las mariquitas (*coccinellidae*), crisopas (*Chrysopidae*), sirfidos (*Syrphidae*), el control biológico depende mucho de las condiciones climáticas, etapas fenológicas e interacción de la plaga con el hospedero, (Hernández et al., 2020).

3.2.8 Estadios larvales y momento de control



Claves

Cm Centímetros

Mm Milímetros

NOTA

El control aplicado en los primeros días de oviposición reduce el nivel de daño.

FUENTE: PROAIN, 2020.

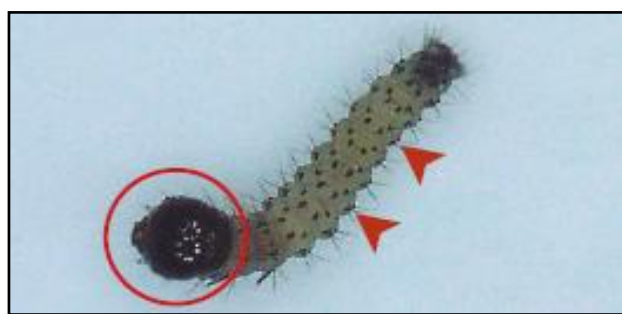
Figura 6 — Estadios larvales de *Spodoptera frugiperda*

El momento perfecto para su control debe realizarse antes de que la larva supere los 1,5 cm de longitud (L3) ya que a partir de ese tamaño tienden a alojarse en el cogollo, esto dificulta su control al impedir que el producto aplicado alcance, reduciendo la eficacia del producto, (PROAIN, 2020).

De acuerdo con (Guzman et al., 2016), los estadios larvales del gusano cogollero del maíz son los siguientes:

a) Estadio larval 1 (L1)

Las larvas recién emergidas presentan la cabeza más grande que el resto de su cuerpo. Además, las setas (vellosidades) en todo su cuerpo son muy perceptibles.



Claves

NOTA

Larva del gusano cogollero característico del primer estadio.

FUENTE: GUZMAN et al., 2016

Figura 7 — Estadio larval 1

b) Estadio larval 2 (L2)

La larva recién pasa a otro estadio, lucen completamente hialinas, y los tubérculos de donde se despegan las setas se hacen más notorios.



Claves

NOTA

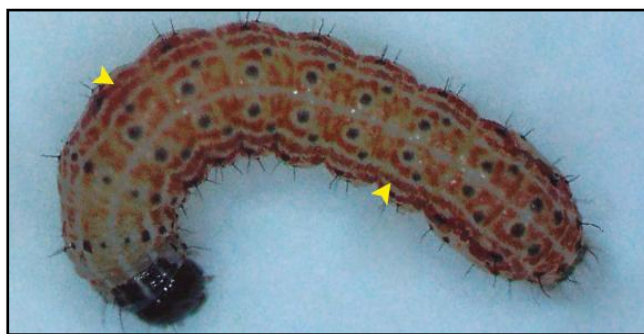
Larva del gusano cogollero correspondiente al segundo estadio

FUENTE: GUZMAN et al., 2016.

Figura 8 — Estadio larval 2

c) Estadio larval 3 (L3)

En este estadio, se inicia a desarrollar una coloración rojiza por todo su cuerpo.



Claves

NOTA

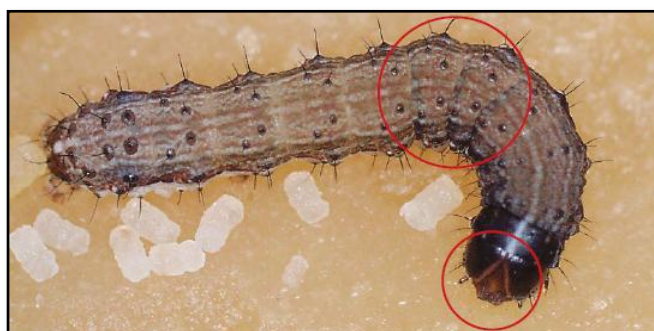
Larva del gusano cogollero correspondiente al tercer estadio

FUENTE: GUZMAN et al., 2016

Figura 9 — Estadio larval 3

d) Estadio larval 4 (L4)

En este estadio, la larva presenta tubérculos casi incoloros, de la misma forma, su cabeza muestra una tonalidad clara, en este estadio, se define completamente la “Y” invertida o sutura epicraneal de la cabeza.



Claves

NOTA

Larva del gusano cogollero con rasgos que corresponden al cuarto estadio

FUENTE: GUZMAN et al., 2016

Figura 10 — Estadio larval 4

e) Estadio larval 5 (L5)

La larva presenta una coloración café oscura, mientras que sus setas son muy poco visibles.



Claves

NOTA

Larva del gusano cogollero característico del quinto estadio

FUENTE: GUZMAN et al., 2016

Figura 11 — Estadio larval 5

f) Estadio larval 6 (L6)

Durante este estadio las larvas muestran una apariencia robusta, y una tonalidad brillante que las distingue de los estadios anteriores.



Claves

NOTA

Larva del gusano cogollero característico de sexto estadio larval

FUENTE: GUZMAN et al., 2016.

Figura 12 — Estadio larval 6

g) Adulto (macho) ♂

El macho de *Spodoptera frugiperda* se distingue por las tonalidades en sus alas anteriores, los cuales permiten diferenciarlo de las hembras.



Claves

NOTA

El macho adulto se reconoce por las tonalidades de sus alas anteriores.

FUENTE: GUZMAN et al., 2016

Figura 13 — Adulto macho de *Spodoptera frugiperda*

h) Adulto (hembra)

En *Spodoptera frugiperda* la hembra se caracteriza por presentar mayor tamaño en comparación con el macho y presenta una coloración parda.



Claves

NOTA

Características de coloración y tamaño de un adulto hembra.

FUENTE: GUZMAN et al., 2016.

Figura 14 — Adulto hembra de *Spodoptera frugiperda*

El umbral de aplicación se establece cuando el 20% de plantas evidencien raspado en las hojas (grado 3 en la escala de Davis) y se observa la presencia de larvas vivas (L1-L3) o bien, cuando aparecen las primeras plantas cortadas. Se tiene que observar presencia/ausencia de oviposturas esto ayudará a establecer la estrategia de control, (PROAIN, 2020).

3.2.9 Bacterias entomopatógenas

El mayor éxito en el mundo el control microbiano de insectos en el mundo se ha conseguido mediante *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (*Bt*). Los cristales (Cry) que produce en condiciones de estrés son agregados de una proteína de gran tamaño (130-140 kDa) que en realidad no es activa por sí misma (es una protoxina), ya que es insoluble, (Galitsky *et al.*, 2001).

Cuando la protoxina se somete a condiciones muy básicas ($\text{pH} > 9.5$) como las existentes en el intestino de algunos insectos, se solubiliza y transforma, por medio de las proteasas del insecto, en una toxina activa de 60 kDa, (Galitsky *et al.*, 2001). La toxina activa se conoce con el nombre de “ δ -endotoxina de *Bt*”, la cual actúa al unirse a receptores de las células epiteliales del intestino del insecto, lo que conduce a la formación de poros y lisis osmótica de las células que finalmente provocan su muerte, (Galitsky *et al.*, 2001).

3.2.10 Género *Bacillus*

El género *Bacillus* fue descubierto por el botánico alemán Ferdinand Cohn (1828-1898), indicando que las endosporas bacterianas son estructuras muy resistentes al calor y recalca que es la más resistente de todas las formas microbianas si excluimos unas pocas bacterias que se desarrollan mejor a temperaturas altas, (Nagua, 2016).

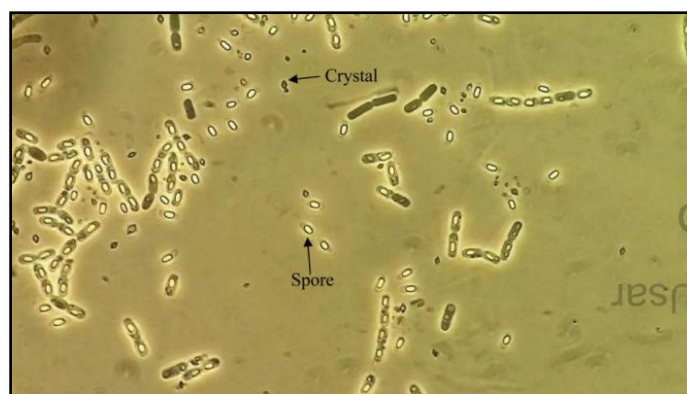
Según Nester *et al.*, (2002) citado por Delgado, (2011). En 1901, el investigador Japonés Shigetane Ishiwata identificó por primera vez a *Bacillus thuringiensis*, quien aisló a partir de una larva muerta del gusano de seda *Bombix mori* (L.) inicialmente denominándolo *soto bacillus* (“soto” significa muerte súbita en japonés), (Nagua, 2016).

En 1911, el investigador alemán Ernst Berliner aisló un organismo similar de la larva de la palomilla de los graneros *Anagasta kuehniella* (Zeller) en un granero ubicado en la provincia de Thuringia (Alemania), a partir de esta localidad se derivó el nombre de la especie *Bacillus thuringiensis*, (Nagua, 2016).

a) Características generales de (*Bacillus thuringiensis*)

Bacillus thuringiensis es una bacteria gram positiva, móvil por flagelación peritrica, con una medición de 3 a 5 μm de largo por 1 a 1,2 μm de ancho que posee las particularidades de generar esporas de resistencia elipsoidales los cuales no ocasionan el hinchamiento del cuerpo bacilar, (Sauka y Benintende, 2008).

Una de las características distintivas de *Bacillus thuringiensis* es que durante el proceso de esporulación produce una inclusión parasporal formada por cuerpos cristalinos de naturaleza proteica, estas inclusiones contienen toxinas activas que resultan letales para larvas de insectos susceptibles. Estas proteínas se denominan Cry (del inglés, Crystal) y son la base del insecticida biológico de mayor difusión global, (Sauka & Benintende, 2008).



Claves

Crystal	Cristal
Spore	Espora

NOTA

Se muestra las características de la bacteria *Bacillus thuringiensis*

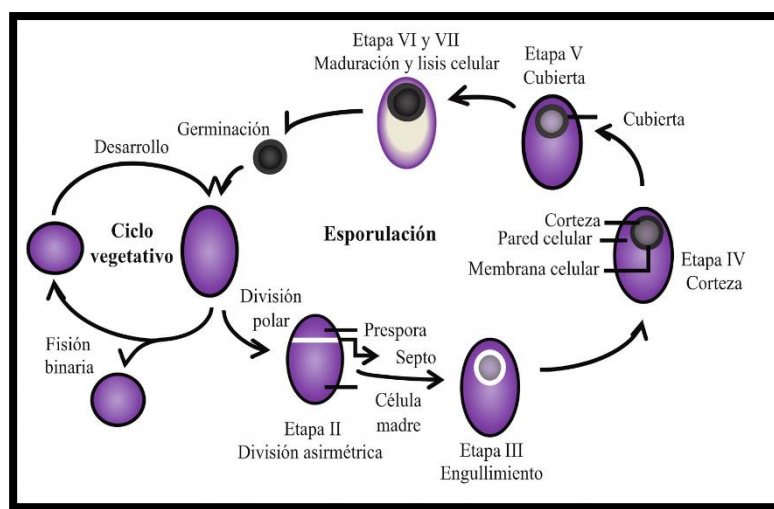
FUENTE: AWASTHI, 2021.

Figura 15 — Cristales y esporas de *Bacillus thuringiensis*

b) Ciclo de vida del género *Bacillus*

El ciclo de vida de *Bacillus thuringiensis* se divide en dos fases: La primera fase de crecimiento vegetativo: Una fase de esporulación, a lo largo de la primera etapa, la bacteria se desarrolla de manera exponencial mediante fisión binaria, ya que se encuentra en un medio con las condiciones favorables para su desarrollo, (Tejera & Rojas, 2011).

La segunda fase de esporulación: se da inicio como una estrategia de supervivencia en presencia de algún tipo de estrés (alta densidad de población, escasez de nutrientes, factores externos como salinidad, temperatura, pH, entre otros), así la célula vegetativa inicia la formación de la endospora, lo cual implica la división celular asimétrica, dando lugar a la formación de dos compartimentos, célula madre y la inmersión de una preespora, seguidamente la preespora es engullida, formando una célula dentro de la célula madre, (Tejera & Rojas, 2011).



Claves

NOTA

La figura muestra el ciclo vegetativo y las etapas de esporulación bacteriana, desde la división celular inicial hasta la formación, maduración y germinación de la espora.

FUENTE: ERRINGTON, 2003.

Figura 16 — Ciclo biológico de *Bacillus thuringiensis*

c) El género *Bacillus* como agente de control biológico

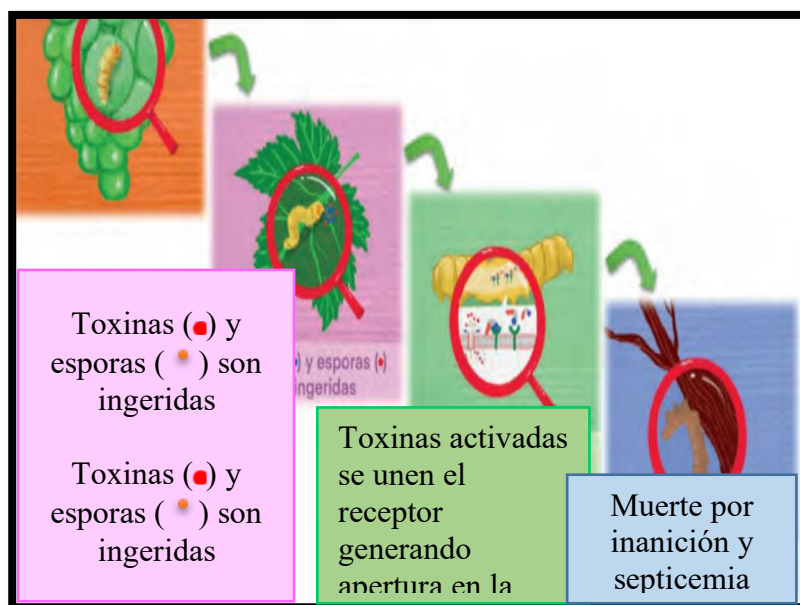
El género *Bacillus* posee una gran diversidad de especies que han confirmado tener actividad antagónica contra diversos microorganismos fitopatógenos de cultivos agrícolas, tales como maíz, arroz, frutales, entre otros, (Villarreal et al., 2018).

El estudio de esta capacidad de *Bacillus* se inició por el hallazgo de la actividad insecticida de las proteínas Cry producidas por *Bacillus thuringiensis*; en la actualidad diversas especies del género *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. licheniformis*) son ampliamente estudiadas para mitigar la incidencia de enfermedades de

importancia agrícola, (Raajimakers & Mazzola, 2012) citado por (Villarreal et al., 2018).

d) Mecanismo de acción del género *Bacillus*

Bacillus thuringiensis, es una insecticida microbiano de mayor éxito hasta la fecha esta bacteria entomopatógena genera diferentes tipos de proteínas cuya toxicidad específica se ha demostrado contra una amplia gama de órdenes de insectos, nematodos, ácaros y otros, (Hernández & Martínez, 2020). Estas proteínas se acumulan en cristales paraesporales durante la fase de esporulación (proteína Cry y Cyt), mientras que otras proteínas se secretan en la fase vegetativa de crecimiento (toxinas Vip y Sip), las proteínas pertenecientes al grupo de proteínas Cry son ampliamente aplicadas para el control de plagas de insectos en pulverizaciones formuladas, (Hernández & Martínez, 2020).



Claves

Bt *Bacillus thuringiensis*

NOTA

La figura muestra la acción y el comportamiento de *Bacillus thuringiensis* desde su ingestión hasta la muerte de la larva.

FUENTE: ALTAMIRA, 2020.

Figura 17 — Actividad insecticida de Bt sobre larva de *L. botrana*.

3.2.11 Modo de acción de las proteínas *Bacillus thuringiensis*

Los procesos de acción de *Bacillus thuringiensis* sobre el insecto ocurre de la siguiente forma según (Pinos y Hernandez, 2019).

a) Ingestión:

Como primer paso es la ingestión por parte de las especies susceptibles a su acción. Se diferencia de otros insecticidas ya que tanto *Bt* como sus proteínas actúan exclusivamente previa ingestión del insecto y no por contacto en superficie, (Pinos & Hernandez, 2019).

b) Solubilización:

En el segundo paso tras la ingestión es la solubilización de los cristales. Este proceso se da mediante la rotura de la estructura cristalina y la liberación de las protoxinas presentes en el cristal. La solubilización es un factor importante en la especificidad de las proteínas Cry ya que para que suceda este proceso y se liberen las protoxinas son necesarios factores apropiados para ello en el intestino medio de los insectos, por ejemplo, el Ph, (Pinos & Hernandez, 2019).

c) Activación:

Las proteínas Cry son procesadas por enzimas proteasas endógenas localizadas en los fluidos intestinales, produciendo una toxina activa. La variación de la toxicidad entre especies se atribuye a diferencias en la capacidad de activación de dichas toxinas, (Pinos & Hernandez, 2019).

d) Atravesar la membrana del intestino:

Para ejecutar su acción las toxinas deben atravesar la membrana del intestino medio, compuesta por una matriz abundante en quitina la cual actúa como una barrera entre el contenido alimenticio y las células epiteliales, (Pinos & Hernandez, 2019).

e) Interacción con el intestino medio:

Superada las barreras de la membrana peritrófica las proteínas Cry se fijan a las células del intestino medio que constituyen su principal blanco de acción, (Pinos & Hernandez, 2019).

f) Muerte del insecto y dispersión de *Bacillus thuringiensis*:

La acción toxina de las proteínas de *Bacillus thuringiensis* se basa principalmente en su habilidad para perforar la membrana de las células epiteliales del intestino medio. Al unirse a los receptores específicos de la



membrana, las toxinas sufren un reordenamiento estructural que se inserta en la membrana de las células intestinales constituyendo un poro, (Pinos & Hernandez, 2019).

Esta pérdida de la integridad de la membrana produce un desequilibrio osmótico que culmina en la lisis de las células intestinales. Como consecuencia las esporas de *Bt* así mismo de todas las bacterias oportunistas y patógenos presentes en el bolo alimentario atraviesan el epitelio y alcanzan la hemolinfa desencadenando una septicemia que ocasiona la muerte de la larva, (Pinos & Hernandez, 2019).

Los principales determinantes de las propiedades insecticidas de las bacterias *Bt* son las endotoxinas δ producidas durante la esporulación bacteriana, que forman dos grupos mutagénicos, Cry y Cyt, las proteínas Cry son específicamente tóxicas para diferentes órdenes de insectos como lepidópteros, coleópteros, hemípteros y dípteros, (Pardo et al., 2013).

La característica principal de la bacteria *Bacillus thuringiensis* es la producción de cuerpos paraesporales (cristales proteicos), los cuales constituyen el principio activo de bioinsecticidas comerciales, (Carreras et al., 2008).

En estudios recientes de patogenicidad in vitro se demostró la toxicidad de tres cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* (LBT-87, LBT-99 y LBT-111). La cepa LBT-87 resultó tóxica contra la mosca *Drosophila melanogaster*, insecto díptero extremadamente prolífero y contaminante; la cepa LBT-99, contra el nemátodo formador de agallas, *Meloidogyne incognita*, (Carreras et al., 2008).

La morfología de los cuerpos paraesporales estuvo en correspondencia con la actividad biológica informada para cada cepa. La cepa LBT-87, tóxica contra el insecto díptero *D. melanogaster*, presentó cristales irregulares con inclusiones en forma de barra. La cepa LBT-111, tóxica contra el insecto lepidóptero *H. virescens*, presentó cristales bipiramidales y cúbicos. La cepa



LBT-99, tóxica contra el nemátodo *M. incognita*, presentó un cristal muy pequeño adherido a la espora, (Carreras et al., 2008).

Las proteínas Cry han sido ampliamente empleadas debido a su eficacia en el control biológico de insectos, su acción comienza una vez que las proteínas Cry son procesadas proteolíticamente a través de las proteasas del intestino medio del huésped, liberando así fragmentos activos y tóxicos que interactúan con las proteínas receptoras presentes en células intestinales, (Villarreal et al., (2018).

3.2.12 Clasificación taxonómica

Según Villarreal et al. (2018) citado por Parra et al. (2024), en estudios recientes se señala que la clasificación taxonómica de *Bacillus thuringiensis* corresponde a la siguiente estructura.

Reino : *Monera*

Filo : *Firmicutes*

Clase : *Bacilli*

Orden : *Bacillales*

Familia : *Bacillaceae*

Género : *Bacillus*

Especie: *thuringiensis*

Nombre binomial: *Bacillus thuringiensis*, Berliner 1915.

Bacillus thuringiensis pertenece al grupo I del género *Bacillus*, en donde se encuentran aquellas especies con espora elipsoidal que no provocan hinchamiento en forma bacilar”, (Sneath et al., 1986) citado por (Delgado, 2011).

3.2.13 Aplicación de las bacterias entomopatógenas

Gutierrez (2017), afirma que efectuó la evaluación después de los 28 días después de la siembra, en esta primera etapa se identificó larvas neonatas de cogollero presentes en las hojas del maíz. Fue en ese instante que se dio inicio a la primera aplicación de los tratamientos bajo estudio.



3.3 Marco conceptual

- a) **Alojamiento:** Lugar o espacio donde la plaga vive, se esconde, se reproduce o se protege de condiciones desfavorables.
- b) *Bacillus thuringiensis*: Es un bacilo Gram positivo formador de esporas. Este organismo es reconocido por su actividad como biocontrolador debido a que produce unos cristales durante la fase de esporulación, (López, 2013).
- c) **Bioinoculante:** Son microorganismos vivos que se agregan a las semillas o a las plantas de cultivos estos microorganismos exhiben actividad antagónica contra varios patógenos agrícolas.
- d) **Cogollero del maíz:** Es la plaga más importante del maíz, ataca las plantas desde que estas tienen entre 10 a 15 cm de altura; sus daños pueden afectar todas las plantas, las larvas pequeñas producen raspados en las hojas; y a partir del 3er. estadio “mascan” y perforan el “cogollo”, afectando la densidad y los rendimientos.
- e) **Concentraciones:** Las concentraciones se refieren a la cantidad de microorganismos presentes en un volumen de suspensión bacteriana.
- f) **Control aumentativo:** Una estrategia de control biológico que reside en liberar de manera periódica o masiva organismos benéficos para incrementar temporalmente su población.
- g) **Control biológico:** De manera natural o mediante su diseminación controlada, aplicando o liberando predadores, parásitos, antagonistas, entomopatógenos como hongos, bacterias, virus y nematodos.
- h) **Control clásico:** Consiste en introducir enemigos naturales ya sea parasitoides, depredadores o patógenos con la finalidad de establecer una población permanente que mantenga a la plaga en niveles bajos.
- i) **Control por conservación:** Consiste en proteger y favorecer a los enemigos naturales que ya se encuentran en el ecosistema, manteniendo o mejorando las condiciones del ambiente para que estos organismos puedan sobrevivir, reproducirse y controlar la plaga de manera natural.
- j) **Depredador:** Son enemigos naturales que ayudan a reducir las poblaciones de insectos dañinos.
- k) **Efecto significativo:** hace referencia a un resultado que no es producto del azar, sino que tiene una influencia real y consistente sobre las variables que se están estudiando.



- l)** Entomopatógeno: Microorganismo que es capaz de causar una enfermedad al insecto plaga, conduciéndolo a su muerte después de un corto período de incubación, (INTA, 2018).
- m)** Factores aleatorios: Son aquellos elementos o variables que no se pueden controlar ni predecir con certeza y que pueden influir en los resultados del estudio.
- n)** Incidencia: Es la cantidad de daño o presencia de plagas en un área específica.
- o)** Indicador: Es una medida o parámetro que se utiliza para evaluar, monitorear o describir una situación, proceso o resultado de la investigación.
- p)** Índice: Se refiere a una medida o indicador cuantitativo que se utiliza para evaluar.
- q)** Larvas: las larvas se refieren a la fase inmadura de ciertos insectos u organismos, estas larvas pueden ser tanto agentes benéficos como perjudiciales.
- r)** Mortandad: Tasa de muerte de los organismos plaga que afectan al cultivo de maíz como resultado de estrategias de manejo implementadas para su control.
- s)** Parasitoides: Organismo que vive a expensas de otro insecto al completar su ciclo de vida lo mata al insecto.
- t)** Patógenos: Organismos (como bacterias, hongos, virus o nematodos) que causan enfermedades en las plagas.
- u)** Plaga: se define como plaga a cualquier animal, microorganismo, planta, entre otros, que genere un impacto adverso contra la producción agrícola.
- v)** Plantas afectadas: Se refieren a aquellas que han sido dañadas, infectadas o impactadas por la actividad de organismos considerados plagas, como larvas de insectos.
- w)** Porcentaje: Es una medida que indica el porcentaje de individuos de una población de plagas que han muerto debido a la aplicación de un tratamiento.
- x)** Proteínas Cry: Una proteína Cry es una inclusión parasporal proteínica de Bt que presenta efectos tóxicos verificables experimentalmente sobre un organismo susceptible, (López, 2015).
- y)** Sistema integrado: El manejo integrado de plagas es “Mantener el nivel del daño de enfermedades y plagas por debajo del límite económico aceptable, combinando varias formas de control”, como el control químico, control mecánico, control biológico, control del cultivo, estos métodos se aplican en tres etapas: Prevención, observación y aplicación.
- z)** UFC: Es una medida utilizada en microbiología para estimar la cantidad de microorganismos viables presentes en una muestra.



- aa)** Variable dependiente: Es el factor o fenómeno que se está midiendo o evaluando como resultado de los cambios realizados.
- bb)** Variable independiente: Es aquella que el investigador manipula o controla deliberadamente para observar y analizar su efecto sobre otra variable.
- cc)** Variable: Es cualquier característica, factor, o condición que puede cambiar o variar y que se estudia o se mide para comprender su efecto.
- dd)** Variaciones significativas: Son aquellas que tienen una probabilidad baja de ser el resultado de factores aleatorios y se pueden atribuir a una causa específica.



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo; orientado a determinar el efecto de la actividad de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*), (Hernandez et al., 2015).

- a) De acuerdo a los objetivos planteados, la investigación es de tipo aplicada (ya que el objetivo del estudio de investigación se orienta a resolver una problemática local en el ámbito de análisis), (Hernandez et al., 2015)
- b) De acuerdo con el alcance de las variables, la investigación se clasifica como cuantitativa, ya que las variables de estudio: mortalidad, incidencia del gusano cogollero y rendimiento del cultivo de maíz, se evaluarán mediante mediciones numéricas expresadas en porcentajes y toneladas por hectáreas (t/ha), (Hernandez et al., 2015).
- c) Según la operacionalización de las variables, es una investigación experimental puro (considerando las variables dependientes: mortalidad, incidencia y rendimiento del cultivo de maíz, frente a la variable independiente: Concentración de aplicación del bioinoculante *Bacillus thuringiensis*), (Hernandez et al., 2015)
- d) Por la duración del estudio, es investigación transversal (el estudio de investigación se realizó durante el periodo de duración del cultivo, campaña 2024).

4.1.2 Nivel de investigación

Según la finalidad de la investigación, esta fue de nivel explicativo, ya que permitió comprender y explicar las causas de los efectos observados, es decir, que los tratamientos elaborados con diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* tuvieron influencia significativa en la reducción de larvas de *Spodoptera frugiperda*.



En función de las hipótesis, la investigación fue de tipo descriptiva, ya que, mediante la observación y el registro de datos en campo, se describió el comportamiento de la plaga *Spodoptera frugiperda* y la respuesta del cultivo de maíz frente a los tratamientos con diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis*.

Los resultados obtenidos son verificables y medidos objetivamente mediante técnicas estadísticas, como el análisis de varianza (ANOVA), lo que permite establecer relaciones de causalidad, (Hernandez et al., 2015).

4.2 Diseño de investigación

El estudio se enmarca dentro de un diseño experimental, a través de este procedimiento se logró alcanzar las respuestas a las preguntas establecidas para el estudio, por tanto, para el presente estudio se desarrolló el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) de acuerdo a las condiciones de la zona de estudio y del cultivo, para el cual se distribuyó tres (03) tratamientos en las 12 unidades experimentales (03 tratamientos y 04 bloques o repeticiones).

Diseño estadístico:

El modelo lineal aplicado a la investigación es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- ✓ y_{ij} : Es la variable de respuesta observada en el j-ésimo bloque que recibe el i-ésimo tratamiento. μ : Es la media general de la variable respuesta.
- ✓ τ_i : Es el efecto del i-ésimo tratamiento, el cual es constante para todas las observaciones dentro del i-ésimo tratamiento
- ✓ β_j : Es el efecto debido del j-ésimo bloque.
- ✓ ϵ_{ij} : Es el error aleatorio atribuible a la medición

Asignación de los bloques de forma aleatoria.

Bloque I T2	Bloque I T1	Bloque I T3
Bloque II T1	Bloque II T3	Bloque II T2
Bloque III T3	Bloque III T1	Bloque III T2
Bloque IV T3	Bloque IV T2	Bloque IV T1

Claves

T Tratamientos

NOTA

El texto muestra la distribución de los tratamientos en cada bloque

FUENTE

Figura 18 — Asignación de los bloques y tratamientos

4.3 Población y muestra

Población

La población total en el presente estudio estuvo constituida por 2,016 plantas de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Gigante Cusco, que fueron instaladas en las doce unidades experimentales que comprende el diseño.

Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el método probabilístico considerando un margen de error de 5% y un nivel de confianza al 95 % poniendo en consideración una población total de 2,016 plantas.

Para el cálculo del número de muestras se empleó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{N * e^2 + z^2 * p * q}$$

Donde:

- ✓ N: Población de estudio 2016 plantas
- ✓ n: Muestra

- ✓ $p = q$: variabilidad positiva y negativa para optimizar los errores tipo I y II es igual al 50 %. (0.5)
- ✓ Z : nivel de confianza para el 95 % de probabilidades= 1.96
- ✓ e : error igual al 5 %.

Con los datos se realiza la operación matemática, en ella se determinó 323 unidades de plantas de maíz en los 12 UE.

$$n = \frac{2016 \cdot (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.05)^2 \cdot (2016 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

$$n = \frac{2016 \cdot 3.8416 \cdot 0.25}{0.0025 \cdot 2015 + 3.8416 \cdot 0.25}$$

$$n = \frac{1934.6}{5.0375 + 0.9604}$$

$$n = \frac{1934.6}{5.9979} \approx 322.5$$

$n \approx 323 \text{ plantas}$

4.4 Procedimiento

ETAPA I: Descripción de instalación del cultivo

Localización del área experimental:

- ✓ Departamento : Apurímac
- ✓ Provincia : Cotabambas
- ✓ Distrito : Coyllurqui
- ✓ Comunidad : Manasqui
- ✓ Latitud sur : 13° 54' 21"
- ✓ Latitud oeste : 72° 27' 19"
- ✓ Altitud : 2,929.88 msnm

Preparación y trazos del campo experimental

- a) Limpieza y acondicionamiento del terreno: Se realizó la limpieza en un área de 472.68 m² esta actividad consiste en la remoción, desmalezado, nivelación y protección del cerco perimétrico del área de estudio.
- b) Trazado del área experimental: La delimitación del área experimental consistió en parcelación del área experimental tomando como referencia el croquis de las unidades experimentales, las cuales estuvieron orientados de acuerdo a las condiciones topográficas del terreno.
- c) Análisis de suelo: Del área experimental se obtuvo las muestras representativas del suelo, mismas que se llevaron al laboratorio de análisis químico y físico de

suelos, aguas y plantas, en la ciudad del Cusco, teniendo como resultado un suelo franco arenoso.

d) Diseño del área experimental

- ✓ Largo de la parcela experimental: 23.40 m
- ✓ Ancho de la parcela experimental: 20.20 m
- ✓ Área total parcela experimental: 472.68 m²
- ✓ Número de bloques: 04 bloques
- ✓ Número de unidades experimentales: 12 UE

Para el estudio de investigación se consideró el siguiente diseño para cada unidad experimental:

- ✓ Largo de la unidad experimental: 5.40 m
- ✓ Ancho de la unidad experimental: 4.60 m
- ✓ Área de la unidad experimental: 24.84 m²
- ✓ Área útil de la unidad experimental: 20.00 m²
- ✓ Distancia entre líneas: 0,60 m
- ✓ Distancia entre golpes: 0,40 m
- ✓ Número de líneas por unidad experimental: 7
- ✓ Número de golpes por línea: 12
- ✓ Número de semillas por unidad experimental (2 semillas por golpe): 168.

ETAPA II: Acondicionamiento del suelo y siembra de semillas de maíz

- ✓ Riego: Considerando que en la comunidad donde se desarrolló la investigación el riego es muy importante, esta actividad se realizó un día antes del laboreo aplicando riego por gravedad.
- ✓ Barbecho: Remoción y mullido del terreno.
- ✓ Surcado: Esta actividad se desarrolló en un día, realizando 07 surcos o líneas por cada unidad experimental de cada bloque, con un distanciamiento de 0.60 m entre surcos, siendo un total de 84 surcos en toda la parcela experimental.
- ✓ Abonamiento: El abonamiento se realizó en cada surco (aplicación localizada) con estiércol de cuy antes de la siembra de la semilla.
- ✓ Siembra: Ya preparados los surcos, se procedió a sembrar las semillas de maíz variedad Blanco Gigante del Cusco (BGC), considerando la siguiente densidad de siembra: distancia entre golpes 0.40 m a una profundidad al doble del tamaño de la semilla.



ETAPA III: Obtención del bioinoculante *Bacillus thuringiensis*

Instrumentos:

- Placas de Petri
- Probeta milimétrica
- Vaso precipitado
- Frascos
- Mechero de Bunsen
- Tubo de ensayo
- Gradilla
- Cucharas y espátula metálica
- Escobilla de laboratorio
- Espátula de Drigalsky
- Punteras de 1ml y 0.1 ml
- Micropipetas automáticas

Insumos:

- Agar tripticasa de soya
- Agua destilada

Equipos:

- Balanza analítica
- Autoclave
- Estufa de incubación
- Frigorífico o cámaras refrigeradas

✓ **Preparación de materiales y medios de cultivo**

Las cepas de *Bacillus thuringiensis*, y las concentraciones del mismo fueron adquiridos del banco de cepario del laboratorio de Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAMBA. La bacteria se sometió a conservación bajo condiciones de refrigeración en el medio de cultivo tripticasa de soya.

✓ **Preparación de materiales**

Las mesas y pisos del ambiente de preparación de muestras deben estar limpios y desinfectados.

Las placas de Petri, tubos de ensayo y espátula de Drigalski antes de su uso se acondicionaron con papel craft.

Los materiales de vidrio se prepararon anticipadamente, antes del trabajo experimental, para esto se realizó un estricto lavado, secado y acondicionamiento de los tubos de ensayo, placas Petri, espátulas de drigalski y frascos tapa rosca de 500 ml y 100 mL.

Los materiales de vidrio antes de su esterilización en autoclave a 121°C/15 lb/15 min, fueron envueltos con papel craff para ser protegidos de la contaminación.

✓ **Preparación del medio de cultivo**

El medio de cultivo se preparó de acuerdo a las indicaciones e instrucciones del frasco y mediante una regla de tres simple se elaboró de acuerdo a las necesidades y se disolvió en agua destilada antes de ser esterilizado en autoclave.

Usualmente se pesó en la balanza analítica 10 gr de Agar Tripticasa de Soya (TSA) se agregó 200 ml de agua destilada, con una varilla de vidrio hasta su homogenización.

✓ **Esterilización de medio de cultivo e instrumentos de laboratorio**

Teniendo todos los instrumentos e insumos ya preparados, se prosigue a encender la autoclave hasta que llegue a 90°C, tomando en cuenta siempre las instrucciones de uso del equipo, posteriormente se colocaron en la canastilla todo los materiales y el medio de cultivo esterilizado a 121°C/15 lb/15 min.

✓ **Plaqueo y entubado del medio de cultivo**

Para realizar el acondicionamiento del medio de cultivo en las placas de Petri, el medio TSA se sometió a enfriamiento a una temperatura aproximado de 40-50 °C; posteriormente en condiciones asépticas y con el uso del mechero de bunsen, con flama alta se procedió al vertido de cultivo a las placas de Petri y tubos de ensayo, los cuales se rotularon con fecha de preparación y nombre del medio de cultivo. Los tubos de ensayo con medio de cultivo fueron colocados en una superficie inclinada con el objeto de que el medio de cultivo se solidifique.



✓ Siembra de *Bacillus thuringiensis*

La siembra de la bacteria a partir de los tubos de ensayo, se realizó mediante un asa de siembra, previamente esterilizada a fuego cerca al mechero bunsen, siempre tomando en cuenta condiciones de asepsia.

La siembra se realizó por diseminación mediante estrías en superficie de las placas tomando una porción de la colonia de *Bacillus thuringiensis*, posteriormente se dejó en la incubadora a 25 °C durante 48 horas.

ETAPA IV: Preparación del bioinoculante

✓ Preparación de las concentraciones

A las 48 horas de incubación a 25 °C, se observó crecimiento abundante de las colonias de bacterias y con la ayuda de una espátula cuchara estéril se realizó la cosecha de las colonias bacterianas por raspado, las colonias bacterianas se colocaron en frascos que contenían 90 ml de caldo tripticasa de soya, a partir de los cuales se realizaron la numeración de bacterias. El procedimiento de numeración de las bacterias en UFC/ml, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3 — Concentraciones de *Bacillus thuringiensis* en UFC.

Número de aplicaciones	Número de placas con <i>B. thuringiensis</i>		Volumen de agua mL
	Concentración 1	Concentración 2	
Primera aplicación	2.95x10 ⁷ UFC/ml	3.00x10 ⁸ UFC/ml	2000
Segunda aplicación	2.95x10 ⁷ UFC/ml	3.00x10 ⁸ UFC/ml	3000
Tercera aplicación	2.95x10 ⁷ UFC/ml	3.00x10 ⁸ UFC/ml	4400
NOTA El texto muestra las diferentes concentraciones que fueron disueltas en diferentes volúmenes de agua para las tres aplicaciones. FUENTE Claves UFC Unidad formadora de colonias mL Mililitros <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i>			

En la tabla 03, se presenta el número de aplicaciones del bioinsecticida *Bacillus thuringiensis*, indicando las concentraciones utilizadas y el volumen de suspensión preparado para cada aplicación. Se realizaron tres



aplicaciones durante el ensayo, utilizando dos concentraciones diferentes: 2.95×10^7 UFC/mL (Concentración 1) y 3.00×10^8 UFC/mL (Concentración 2).

En la primera aplicación, se prepararon 2 litros de suspensión bacteriana de *Bacillus thuringiensis*; en la segunda 3 litros; y en la tercera aplicación 4.4 litros, ajustando el volumen según el requerimiento del cultivo y la cobertura foliar necesaria.

El volumen de agua se determinó en base al requerimiento de la planta mediante una prueba en blanco, la cual permitió estimar la cantidad de solución necesaria para lograr una cobertura completa del follaje sin generar escurrimientos excesivos.

ETAPA V: Aplicación de *Bacillus thuringiensis*

La primera aplicación del bioinoculante se realizó a los 27 días después de la siembra del maíz, durante la fase II del cultivo; en esta etapa se observó la presencia de daño por cortes, agujeros en hojas y la presencia de larvas de segundo estadio del gusano cogollero en las plántulas del maíz.

Tabla 4 — Primera aplicación de *Bacillus thuringiensis*

N° Aplicación	Tratamientos	MI/P Requerido	Concentración final UFC/MI	Cultivo de <i>Bt</i> MI	Agua destilada (MI)	Volumen Final MI
Primera aplicación	T1	18	2.95×10^7	19.7	1980.3	2000
	T2	18	3×10^8	20	1980	2000
	T3		-	-	-	-
NOTA El texto muestra la preparación de las dos concentraciones de <i>Bt</i> en 2000 mL de agua destilada, esto de acuerdo al requerimiento del cultivo para la primera aplicación. FUENTE Claves UFC Unidades Formadoras de Colonias mL Mililitro <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> T Tratamiento N° Número						

En la tabla 4, se presentan los volúmenes de suspensión bacteriana y agua destilada utilizados para preparar las soluciones de *Bacillus thuringiensis* aplicadas en el campo durante la primera aplicación.

Para la preparación de las soluciones se emplearon dos concentraciones finales:

- ✓ T1C1: 19.7 mL de *Bt* + 1980.3 mL de agua destilada
- ✓ T2C2: 20 mL de *Bt* + 1980 mL de agua destilada

Los valores de cultivo de *Bt* (mL) y agua destilada (mL) se calcularon aplicando la fórmula de dilución:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

donde:

C_1 es la concentración del cultivo madre (3×10^9 UFC/mL),

V_1 es el volumen del cultivo necesario,

C_2 es la concentración deseada, y

V_2 es el volumen final de la solución.

De esta forma, para lograr una concentración final de 2.95×10^7 UFC/mL (T1) se mezclaron 19.7 mL de cultivo madre con 1980.3 mL de agua destilada, obteniendo un volumen total de 2000 mL.

Del mismo modo, para la concentración de 3×10^8 UFC/mL (T2) se mezclaron 20 mL de cultivo madre con 1980 mL de agua destilada, completando también 2000 mL de volumen final.

Tabla 5 — Segunda aplicación de *Bacillus thuringiensis*

Nº Aplicación	Tratamientos	mL/P Requerido	Concentración final UFC/mL	Cultivo de <i>Bt</i> mL	Agua destilada (mL)	Volumen Final mL
Segunda aplicación	T1	28	2.95×10^7	29.5	2970.5	3000
	T2	28	3×10^8	30	2970	3000
	T3		-	-	-	-
NOTA El texto muestra la preparación de las dos concentraciones de <i>Bt</i> en 3000 mL de agua destilada, esto de acuerdo al requerimiento del cultivo para la segunda aplicación. FUENTE Claves UFC Unidades Formadoras de Colonias mL Mililitro <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> T Tratamiento Nº Número						

En la tabla 5, se muestran las concentraciones finales de *Bacillus thuringiensis* utilizadas en la segunda aplicación, así como los volúmenes de cultivo bacteriano y de agua destilada empleados para obtener las soluciones correspondientes.

- ✓ T1C3: 29.5 mL de *Bt* + 2970.5 mL de agua destilada
- ✓ T2C4: 30 mL de *Bt* + 2970 mL de agua destilada

De igual manera, en el Tratamiento 2 (T2), con concentración final de 3×10^8 UFC/mL, se mezclaron 30 mL de cultivo de *Bt* con 2970 mL de agua destilada, obteniendo también 3000 mL de volumen final.

El Tratamiento 3 (T3) se consideró testigo, sin aplicación del biocontrolador (sin control). Cabe precisar que el volumen final de cada tratamiento corresponde al volumen total de suspensión preparada y aplicada en el campo, determinado según el requerimiento del cultivo (28 mL por planta).

Tabla 6 — Tercera aplicación de *Bacillus thuringiensis*

Nº Aplicación	Tratamientos	mL/P Requerido	Concentración final UFC/mL	Cultivo de <i>Bt</i> mL	Agua destilada (mL)	Volumen Final mL
Tercera aplicación	T1	40.7	2.95×10^7	43.2	4356.8	4400
	T2	40.7	3×10^8	44	4356	4400
	T3		-	-	-	-
NOTA El texto muestra la preparación de las dos concentraciones de <i>Bt</i> en 4400 mL de agua destilada, esto de acuerdo al requerimiento del cultivo para la tercera aplicación. FUENTE Claves UFC Unidades Formadoras de Colonias mL Mililitro <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> T Tratamiento Nº Número						

En la tabla 6 se detallan las concentraciones finales de *Bacillus thuringiensis* utilizadas en la tercera aplicación, junto con los volúmenes de cultivo bacteriano y agua destilada empleados para obtener la solución total.

- ✓ T1C5: 43.2 mL de *Bt* + 4356.8 mL de agua destilada
- ✓ T2C6: 44 mL de *Bt* + 4356 mL de agua destilada

En el Tratamiento 2 (T2), con una concentración final de 3×10^8 UFC/mL, se mezclaron 44 mL de cultivo de *Bt* con 4356 mL de agua destilada, alcanzando igualmente un volumen total de 4400 mL. El Tratamiento 3 (T3) se consideró testigo, sin aplicación del biocontrolador (sin control); asimismo, se precisa que el volumen final corresponde a la cantidad total de suspensión preparada y aplicada en campo, establecida en función del requerimiento del cultivo (40.7 mL por planta).

Tabla 7 — Volumen de solución bacteriana de *Bacillus. thuringiensis*

Aplicaciones	T1		T2		T3	
	Cultivo de <i>Bt</i> (mL)+ agua destilada (mL)	Volumen bacteriano mL	Cultivo de <i>Bt</i> (mL) +agua destilada (mL)	Volumen bacteriano mL	Sin Aplicación	
	1ra aplicación	19.7 + 1980.3	2000	20 + 1980		2000
	2da aplicación	29.5+ 2970.5	3000	30+ 2970		3000
	3ra aplicación	43.2+ 4356.8	4400	44+ 4356		4400
NOTA El texto muestra la preparación de las diferentes concentraciones para las tres aplicaciones, cada una de acuerdo al requerimiento del cultivo de maíz.						
FUENTE						
Claves						
UFC	Unidades Formadoras de Colonias					
mL	Mililitro					
<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>					
T	Tratamiento					
Nº	Número					

La tabla 7 presenta las cantidades de cultivo de *Bacillus thuringiensis* (en mL) y agua destilada que se mezclaron para preparar las soluciones aplicadas en cada tratamiento.

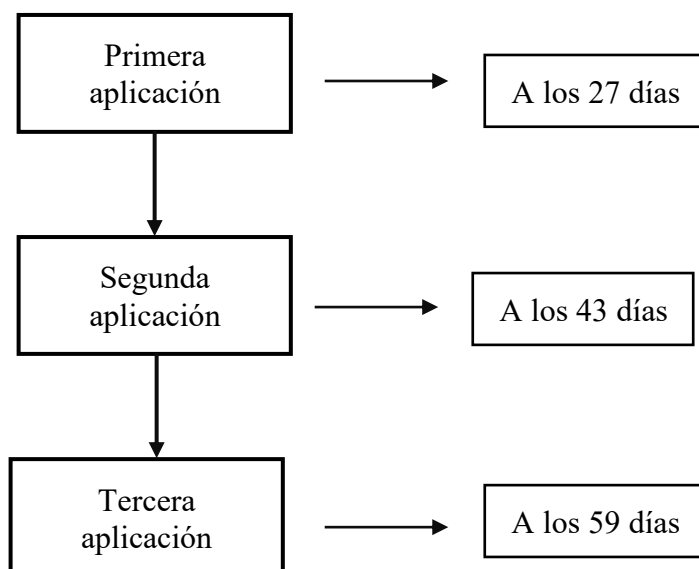
En el Tratamiento 1 (T1) se usaron volúmenes menores de cultivo de *Bacillus thuringiensis*, mientras que en el Tratamiento 2 (T2) se emplearon volúmenes ligeramente mayores, de acuerdo con la concentración deseada. El Tratamiento 3 (T3) fue el testigo, sin aplicación.

Los volúmenes finales de mezcla (2000, 3000 y 4400 mL) corresponden a la cantidad total de solución preparada y aplicada en campo, determinada según el requerimiento de agua del cultivo. En cada aplicación, se mezcló una cantidad específica de cultivo de *Bacillus thuringiensis* (entre 19.7 y 44 mL) con agua destilada, logrando la dosis adecuada para proteger las plantas de manera uniforme.

ETAPA VI: Evaluaciones

El periodo de las repeticiones de las aplicaciones se realizó de acuerdo al nivel de daño generado por las larvas del gusano cogollero.

Flujograma de aplicaciones



Claves

NOTA

El texto muestra los días de las tres aplicaciones

FUENTE

Figura 19 — Días de aplicación de *Bacillus thuringiensis*

El flujograma de aplicaciones comenzó una vez que se ha observado la presencia de larvas de *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) en el cultivo. Tras esta observación, se aplicó la suspensión bacteriana de *Bacillus thuringiensis* sobre las plantas. Las evaluaciones se realizaron tres días después de cada aplicación basándose en los estudios realizados por González et al. (2015).

Identificación del gusano cogollero

- a) Primer paso:** Selección de las masas de huevo: Se seleccionó únicamente masas íntegras, no parasitadas ni deterioradas, con coloración amarillenta a crema, así mismo se realizó la extracción de las masas de huevo donde se efectuó corte cuidadosa del fragmento de hoja que contiene la masa de huevos con ayuda de tijeras estériles.

Materiales:

- ✓ Bolsas plásticas limpias o frascos entomológicos ventilados.
- ✓ Tijeras o bisturí.
- ✓ Pinzas finas.
- ✓ Papel manteco o papel encerado (para trasladar huevos).
- ✓ Guantes de látex.
- ✓ Rotulador permanente o etiquetas autoadhesivas.

- b) Segundo paso:** Colocación de las masas de huevo de *Spodoptera frugiperda* en frascos plásticos: Para garantizar condiciones adecuadas para la eclosión de los huevos de *Spodoptera frugiperda* y el desarrollo inicial de las larvas en un ambiente controlado.

Materiales:

- ✓ Tres frascos plásticos transparentes con tapa perforada para ventilación.
- ✓ Pinzas finas.
- ✓ Papel absorbente o filtro.
- ✓ Hojas frescas de maíz (*Zea mays*), pequeña cantidad de tierra esterilizada.
- ✓ Etiquetas autoadhesivas y rotulador permanente, y guantes de látex

Procedimiento

- a) Preparación de los frascos y colocación de los huevos:** Se acondicionaron tres frascos plásticos con su rótulo, colocando en cada uno una fina capa de papel absorbente y una pequeña porción de tierra esterilizada.

Se transfirieron cuidadosamente las masas de huevos recolectadas, las cuales dieron lugar a la eclosión de cuatro larvas por frasco.

- b) Alimentación:** A cada frasco se le proporcionaron fragmentos de hojas frescas de maíz, las cuales fueron reemplazadas diariamente para mantener la frescura y calidad del alimento.

- c) Observación y registro:**

Las observaciones se realizaron periódicamente en frascos individuales con hojas frescas de hospedero, registrando cambios en tamaño, coloración, patrones característicos, consumo foliar, lo que permitió identificar y diferenciar los estadios larvales de *Spodoptera frugiperda*.

- ✓ **Larva (L1):** 3–4 días tras la eclosión alcanzó un tamaño de 1–2 mm, muy móviles, de color verde claro o translúcido con la cabeza negra brillante,

presentando un comportamiento activo de desplazamiento y raspado superficial de la hoja.

- ✓ **Larva (L2):** Tuvo una duración de 2–3 días, alcanzó un tamaño de 3–5 mm, presentando un cuerpo más robusto de color verde amarillento con la cabeza café oscura, mostrando un comportamiento caracterizado por la formación de pequeñas perforaciones en la hoja.
- ✓ **Larva (L3):** Duración de 2–3 días, con un tamaño de 6–9 mm, presentó un color verde con líneas longitudinales débiles y un cuerpo más activo, mostrando un comportamiento caracterizado por la formación de orificios visibles en las hojas.
- ✓ **Larva (L4):** duración de 3 días, con un tamaño de 10–14 mm, presentó un cuerpo de color verde oscuro a grisáceo con líneas dorsales claras y cápsula cefálica café oscuro, alimentándose de manera más agresiva y consumiendo los bordes de la hoja.
- ✓ **Larva (L5):** duración de 3–4 días, con un tamaño de 15–20 mm, presentó un cuerpo de tonalidad marrón verdosa con franjas claras y oscuras en el dorso, robusto y con la cabeza más grande y oscura, mostrando una alimentación intensa con defoliación evidente en las hojas de maíz.
- ✓ **Larva (L6):** duración de 4–5 días, con un tamaño de 25–35 mm, presentó un cuerpo marrón oscuro con bandas dorsales y laterales bien definidas, voluminoso y de movimiento más lento, alimentándose de manera intensa hasta consumir casi por completo el follaje y dejando únicamente las nervaduras.
- ✓ **Pupa:** duración de 7–10 días, con un tamaño de 15–20 mm, de color marrón rojizo, permaneció inmóvil y localizada en el sustrato con restos de tierra del frasco, presentando un estado de reposo sin alimentación.
- ✓ **Adulto:** Tuvo una duración esperada de 12 días; se observó la emergencia de la mariposa con las características: Alas anteriores de color gris parduzco con manchas oscuras irregulares.

Incidencia de larvas

a) Metodología

La evaluación de la incidencia de *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) en el cultivo de maíz se efectuó siguiendo la metodología propuesta por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA (2017), tomando en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Reconocimiento de la plaga y del órgano vegetal afectado
- ✓ Unidad de muestreo



- ✓ Parámetro de evaluación
- ✓ Unidad de medida
- ✓ Patrón de muestreo

De acuerdo con SENASA (2017), la unidad muestral corresponde al órgano de la planta donde se realiza la evaluación. En este estudio, se consideraron como unidades muestrales las plantas de maíz, ya que en ellas se manifiestan los daños característicos producidos por las larvas de *S. frugiperda*, el parámetro de evaluación se definió como la característica observable de la plaga o el efecto ocasionado en la planta.

En la presente investigación se calculó la incidencia de la plaga, entendida como el porcentaje de plantas con presencia de larvas o afectadas por *S. frugiperda*.

El cálculo de la incidencia se realizó aplicando la fórmula planteada por Ogawa (1986), citada por Ramírez (2005), expresada en porcentaje:

$$I = \frac{N}{Ti} \times 100$$

Donde:

- **I** = Incidencia (%)
- **N** = Número plantas con presencia de larvas
- **Ti** = Total de hojas de maíz evaluadas

La identificación de la plaga y la determinación de la incidencia se complementaron mediante el uso de fichas técnicas de reconocimiento, construidas con base en los aportes de, Jiménez (2016) y Suasnabar *et al.* (2021), las cuales se incluyen en los anexos de la presente investigación.

Se evaluó número de unidades de plantas (hojas, tallos) afectados por cada unidad experimental, mismas que fueron expresadas en porcentajes, para determinar se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ de incidencia} = \frac{\text{Número de plantas afectadas}}{\text{Número de plantas evaluadas}} \times 100$$

La incidencia se evaluó después de la tercera semana después de la siembra, ya que a partir de esta semana inicia la aparición de daños del gusano cogollero, y así mismo se evaluó antes de cada aplicación del bioinoculante.

Rendimiento

La evaluación del rendimiento del cultivo de maíz se efectuó en la etapa de cosecha, a los 120 días después de la siembra (DDS). Para ello, se recolectaron las mazorcas de cada unidad experimental correspondiente a los tratamientos establecidos.

Posteriormente, se realizó el pesado de los granos secos del maíz, empleando una balanza calibrada con precisión de 0,01 kg. El rendimiento del cultivo se calculó en toneladas por hectárea (t/ha), a partir del peso total de grano seco registrado en cada tratamiento y ajustándolo al área de la parcela útil.

4.5 Técnicas e instrumentos

4.5.1 Procesamiento y análisis de datos

En la elaboración del informe final del estudio de investigación, se emplearon programas informáticos como: Excel, Word y Minitab Static.

- ✓ Recolección y registro de datos en campo.
- ✓ Comprobación y validación de la información obtenida.
- ✓ Descripción detallada de las características y procedimientos empleados en el proceso de investigación.
- ✓ Análisis, discusión de resultados y elaboración de documento final.

4.5.2 Técnicas estadísticas

Para evaluar las relaciones de causa-efecto entre las variables estudiadas en la investigación, se comprueba la hipótesis y las relaciones de causalidad; para estos procedimientos se aplicaron técnicas estadísticas que aseguraron homogeneidad y normalidad de los datos, los mismos que fueron validados con las siguientes pruebas:

- a) Homogeneidad de varianza: La homogeneidad de varianzas se evaluó mediante la prueba de Levene, para lo cual se adoptó el criterio de rechazo de la hipótesis de la homogeneidad, cuando el valor de $p(\text{Sig.})$ es menor a 0.05, lo que indica diferencias significativas entre grupos.
- b) Normalidad de datos: La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba del estadístico Shapiro Wilk, considerando el criterio de rechazo de la hipótesis de normalidad si el valor de $p(\text{Sig.})$ es menor a 0.05.

4.5.3 Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se aplicó el análisis de varianza, utilizando la prueba F de Fisher, para contrastar la igualdad de medias entre tratamientos.

Tabla 8 — Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Fc
Bloques	r-1	$\sum y^2 j, /t-F.C$	SCBloq/ (r-1)	$\frac{CMBloq}{CME}$
Tratamientos	t -1	$\sum y^2 j, /r-F.C$	SCTrat/ (t-1)	$\frac{CM\ Trat}{CME}$
Error experimental	(t -1) (r-1)	Por diferencia	SCE/gle	
Total	Tr-1	$\sum \sum y^2 ij-F.C$		

NOTA
El texto muestra la estructura del análisis de varianza (ANOVA) para un diseño de bloques completos al azar, mostrando la descomposición de la variabilidad total en bloques, tratamientos y error.

FUENTE

Claves
 SCBloq Suma Cuadrado de bloques
 SCTrat Suma Cuadrado de tratamientos
 SCE Suma cuadrado de error
 Fc Estadístico de F de Fisher calculado
 CMBloq Cuadrado media de bloques
 CME Cuadrado media de error
 CM Trat Cuadrado media de tratamientos
 Tr Tratamientos
 t Total
 r Error

Donde:

- ✓ $F.C. = (Y..)^2 /rt$
- ✓ $SC\ Total = \sum \sum Y^2 ij - F.C.$
- ✓ $SC\ Tratamiento = \sum Y^2 i./r - F.C.$
- ✓ $SC\ Bloque = \sum Y^2 .j/t - F.C.$
- ✓ $SC\ Error = SC\ Total - SC\ Tratamiento - SC\ Bloque$
- ✓ $Fc = \text{Estadístico de F de Fisher calculado.}$

4.5.4 Hipótesis estadística

La hipótesis nula propone que todas las medias de la población (medias de los niveles de factor) no presentan diferencias significativas; en cambio la hipótesis

alterna indica que existe al menos una media diferente. En este estudio se plantearon de la siguiente forma:

a) Hipótesis: para los tratamientos

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$; (No existe efecto de los tratamientos sobre la variable Xi)

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$; (Existe efecto de los tratamientos sobre la variable Xi)

Donde:

Ha: Hipótesis alterna

Ho: Hipótesis nula

μ_1 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 1

μ_2 : promedio de la variable Xi en el tratamiento 2

μ_3 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 3

b) Hipótesis para el bloque

Ha: $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$; (Existe un efecto significativo atribuido a los bloques sobre la variable Xi)

Ho: $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$; (No existe un efecto significativo atribuido a los bloques sobre la variable Xi)

Donde:

β_1 : El promedio de la variable Xi en el bloque 1

β_2 : El promedio de la variable Xi en el bloque 2

β_3 : El promedio de la variable Xi en el bloque 2

c) Nivel de significancia

El nivel de significancia establecido para la prueba de hipótesis fue de 0.05 (5%) valor conocido como alfa (α) el cual presenta la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis. Para la comparación múltiple de medias se aplicó la prueba de Tukey manteniendo el mismo nivel de significancia será del 0.05 (5%).

d) Región crítica o regla de decisión

Se estableció la región crítica para el rechazo de la hipótesis nula mediante una prueba bilateral (dos colas). Dado que las hipótesis se formularon considerando la posibilidad de diferencias en ambos sentidos. Por tanto, se plantearon de la siguiente manera:

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (No existe diferencias significativas entre las medias poblacionales).



Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (Existe diferencias significativas entre las medias poblacionales).

4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Estadístico

Puesto que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* sobre diversas variables dependientes, y considerando que se trabajó con datos cuantitativos, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) utilizando el estadístico F de Fisher. Este análisis se desarrolló bajo un nivel de significancia del 95%, lo que implica una probabilidad del 5% de cometer un error de tipo I. Posteriormente, al identificarse diferencias significativas, se procedió a la comparación de medias mediante pruebas de comparación múltiple.

4.6.2 Nivel de significancia

Para el análisis del nivel de significancia estadística, se adoptó un valor de 0.05 (5%), en la prueba de hipótesis correspondiente a cada factor. Asimismo, para la comparación de medias, se aplicó el método de Tukey considerando un nivel de significancia del 0.05 (5%).

4.6.3 Condiciones para aceptar o rechazar la hipótesis

Cuando el valor de F calculado en el análisis de varianza (ANOVA) supera al valor crítico de F, y el nivel de significancia (p-valor) es inferior a 0,05, se procede a rechazar la hipótesis nula (H_0), mostrando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados.

4.6.4 Prueba de normalidad

Para evaluar la normalidad de los datos se empleó el estadístico de Shapiro Wilk ($n \leq 50$) el cual determina si los datos provienen de una distribución normal. Se estableció como criterio de rechazo de la hipótesis de normalidad si el valor p(Sig) es menor que 0.05.

T= prueba de normalidad

Hipótesis de normalidad

H_0 : Los datos se ajustan a una distribución normal

H_1 : Los datos no se ajustan a una distribución normal.



Tabla 9 — Prueba de normalidad de las variables

Variables	Aplicación	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Mortandad	Primera aplicación	,849	12	,655
	Segunda aplicación	,871	12	,722
	Tercera aplicación	,802	12	,578
Incidencia	Primera aplicación	,358	12	,392
	Segunda aplicación	,521	12	,146
	Tercera aplicación	,603	12	,090
Rendimiento	Tratamiento 1	,961	12	,100
	Tratamiento 2	,961	12	,100
	Tratamiento 3	,961	12	,100
NOTA El texto muestra la prueba de normalidad de los tratamientos para cada variable. FUENTE Claves Gl Grados de libertad Sig Significancia				

La tabla 9, muestra los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, aplicada a las variables mortandad, incidencia y rendimiento.

Mortandad:

En las tres aplicaciones (primera, segunda y tercera), los valores de significancia ($p > 0.05$) fueron de 0.655, 0.722 y 0.578 respectivamente. Estos resultados indican que la variable mortandad presenta una distribución normal en todas las aplicaciones, lo cual valida el uso de pruebas paramétricas para su análisis.

Incidencia:

En la variable incidencia, los valores de significancia fueron 0.392, 0.146 y 0.090 para la primera, segunda y tercera aplicación, respectivamente. Aunque el valor p en la tercera aplicación se aproxima al límite (0.090), sigue siendo mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la normalidad de los datos.

Rendimiento:

Los valores obtenidos para los tres tratamientos (T1, T2 y T3) fueron idénticos: 0.100. Todos superan el umbral de 0.05, lo que confirma que la variable rendimiento también sigue una distribución normal en cada tratamiento.



Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk indican que todas las variables evaluadas presentan distribución normal ($p > 0.05$), por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0), y se rechaza la hipótesis alterna (H_1) el cual indica que los datos provienen de una distribución normal.

4.6.5 Homogeneidad de varianza

Se empleó el estadístico de Levene, con el propósito de evaluar la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos. El criterio de decisión establece que para rechazar la hipótesis de homogeneidad fue si el valor $p(\text{Sig})$ es menor que 0.05.

Hipótesis de homogeneidad:

- ✓ H_0 : La varianza de las variables en estudio no presentan diferencias significativas entre los tratamientos.
- ✓ H_1 : La varianza de las variables en estudio difieren significativamente entre los tratamientos.

Tabla 10 — Prueba de homogeneidad de varianza

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^{a,b}		Estadístico de Levene	Sig.
% de Mortandad	Se basa en la media	,611	,581
	Se basa en la mediana	,733	,320
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,358	,708
	Se basa en la media recortada	,327	,731
Incidencia	Se basa en la media	,351	,220
	Se basa en la mediana	,403	,205
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,285	,195
	Se basa en la media recortada	232	,100
Rendimiento	Se basa en la media	,711	,105
	Se basa en la mediana	,624	,072
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,524	,064
	Se basa en la media recortada	,724	,087
NOTA El texto muestra la prueba de igualdad de Levene para cada variable, lo cual indica el supuesto de igualdad de varianza. FUENTE Claves % Porcentaje Sig Significancia			

La prueba de Levene se aplicó para verificar la homogeneidad de varianzas en las variables mortandad, incidencia y rendimiento, requisito fundamental para el uso de pruebas paramétricas como el ANOVA.

En todos los casos, los valores de significancia (Sig.) fueron mayores a 0.05, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los grupos. Por lo tanto, se cumple el supuesto de igualdad de varianzas para todas las variables analizadas, esto valida el uso de análisis estadísticos paramétricos.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

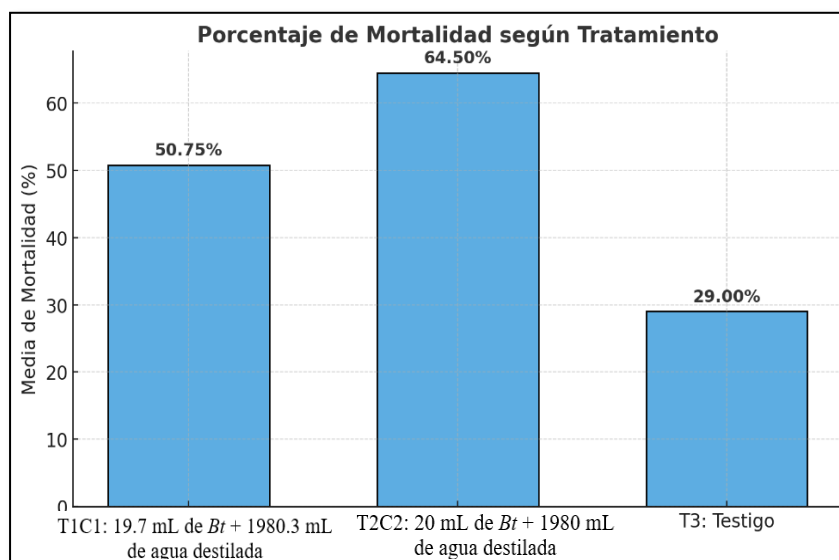
5.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos fueron descritos y analizados en atención a los objetivos de la investigación, evaluando los efectos diferenciales generados por cada tratamiento aplicado sobre las variables en estudio.

5.1.1 Evaluación de la mortalidad del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Tabla 11 — Estadístico descriptivo porcentaje de mortandad primera evaluación.

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef. Var.	Mínimo	Máximo
% Mortalidad	T1C1: 19.7 mL de <i>Bt</i> + 1980.3 mL de agua destilada	50.75	2.29	4.521	46.00	55.00
	T2C2: 20 mL de <i>Bt</i> + 1980 mL de agua destilada	64.50	2.58	4.123	59.00	70.00
	T3: Testigo	29.00	1.16	4.002	27.00	31.00
NOTA El texto muestra los valores descriptivos del porcentaje de mortalidad registrados en la primera evaluación para cada tratamiento en evaluación. FUENTE Claves Desv. Est. Desviación estándar Coef. Var. Coeficiente de variación Mín. Mínimo Máx. Máximo mL Mililitros <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración T Tratamiento						



Claves

T1C1 Tratamiento 1; Concentración 1
 T2C2 Tratamiento 2; Concentración 2
 T3 Tratamiento 3 y/o testigo
 Bt *Bacillus thuringiensis*
 mL Mililitro

NOTA

La figura muestra la comparación de medias de la mortalidad de los tres tratamientos.

FUENTE

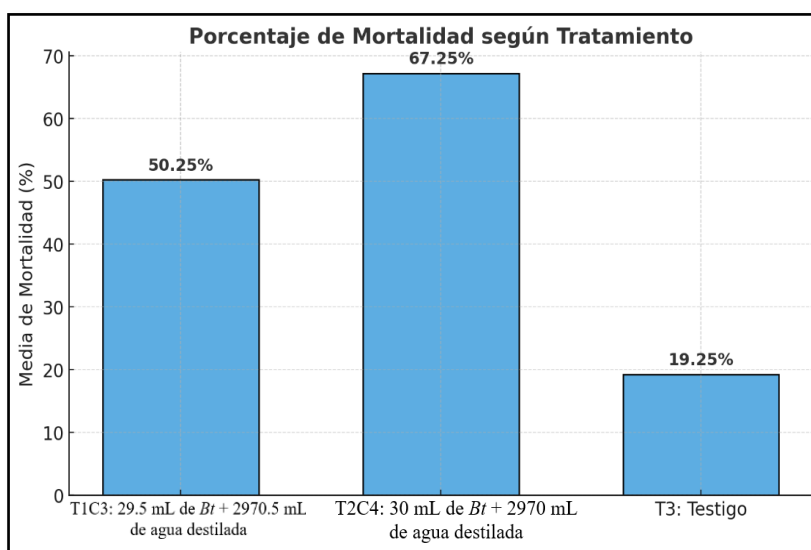
Figura 20 — Barras de porcentaje de mortalidad

En la tabla 11 y la figura 20 se registra mayor porcentaje de mortalidad con una media de 64.50 %, desviación estándar de 2.58 y una variabilidad de 4.12 % el cual corresponde al tratamiento T2C2, y en la secuencia descendente ocupa la posición siguiente el T1C1 con una media de 50.75 % , desviación estándar de 2.29 y una variabilidad de 4.52 %, finalmente el testigo (sin control) T3 con un porcentaje promedio de 29 %, , desviación estándar de 1.16 y una variabilidad de 4.00 %.

La media representa el porcentaje promedio de mortalidad alcanzado por cada tratamiento, evidenciando que T2C2 fue el más eficaz (64.50 %). La desviación estándar indica el grado de dispersión de los datos respecto al promedio; en este caso, los valores relativamente bajos (2.58, 2.29 y 1.16) reflejan que los resultados fueron consistentes y cercanos a la media en todos los tratamientos. Por su parte, la variabilidad muestra la estabilidad de la respuesta obtenida, donde los porcentajes registrados (entre 4.00 % y 4.52 %) confirman un comportamiento uniforme, siendo más estable el tratamiento T2C2 en comparación con el testigo.

Tabla 12 — Estadístico descriptivo de mortandad segunda evaluación.

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef. Var	Mínimo	Máximo
Mortalidad	T1C3: 29.5 mL de Bt + 2970.5 mL de agua destilada	50.25	2.26	4.50	46.00	55.00
	T2 C4: 30 mL de Bt + 2970 mL de agua destilada	67.25	2.69	4.00	62.00	73.00
	T3: testigo	19.25	0.77	4.00	18.00	21.00
NOTA El texto muestra los estadísticos descriptivos de la mortalidad registrados en la segunda evaluación para cada uno de los tratamientos en evaluación. FUENTE Claves Desv. Est. Desviación estándar Coef. Var. Coeficiente de variación mL Mililitros Bt <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración T Tratamiento						



Claves

T1C3 Tratamiento 1; Concentración 3

T2C4 Tratamiento 2; Concentración 4

T3 Tratamiento 3 y/o testigo

Bt *Bacillus thuringiensis*

mL Mililitro.

NOTA

La figura muestra la comparación de medias de la mortalidad de los tres tratamientos.

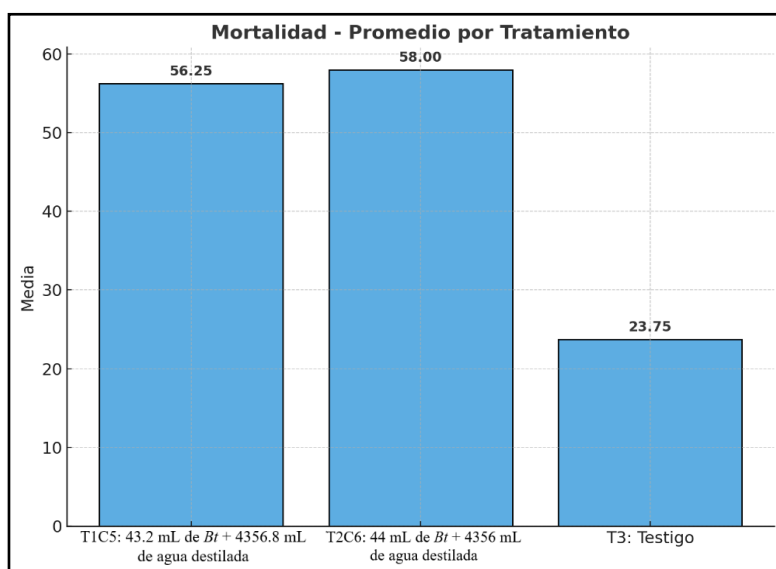
FUENTE

Figura 21 — Barras de mortalidad por tratamiento

En la tabla 12 se observa mayor porcentaje de mortalidad con una media de 67.25 %, , desviación estándar de 2.69 y una variabilidad de 4.00% el cual corresponde al tratamiento T2C4, y en orden decreciente, le sigue el tratamiento T1C3, con media de 50.25 %, desviación estándar de 2.26 y una variabilidad de 4.50 %, finalmente el testigo (sin control) T3 con porcentaje promedio de 19.25 %, desviación estándar de 0.77 y una variabilidad de 4.00 %.

Tabla 13 — Estadístico descriptivo porcentaje de mortalidad tercera evaluación.

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef Var	Mínimo	Máximo
Mortalidad	T1C5: 43.2 mL de <i>Bt</i> + 4356.8 mL de agua destilada	56.25	2.53	4.5011	51.00	60.00
	T2C6: 44 mL de <i>Bt</i> + 4356 mL de agua destilada	58.00	2.32	4.0100	53.00	62.06
	T3: testigo	23.75	0.95	4.0000	22.00	26.75
NOTA El texto muestra los estadísticos descriptivos del porcentaje de mortalidad registrados en la tercera evaluación para los distintos tratamientos. FUENTE Claves Desv. Est. Desviación estándar Coef. Var. Coeficiente de variación Mín. Mínimo Máx. Máximo mL Mililitros <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración T Tratamiento						



Claves

T1C5	Tratamiento 1; Concentración 5
T2C6	Tratamiento 2; Concentración 6
T3	Tratamiento 3 y/o testigo
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
mL	Mililitros

NOTA

La figura muestra la comparación de medias de la mortalidad de los tres tratamientos.

FUENTE

Figura 22 — Barras de mortalidad por tratamiento

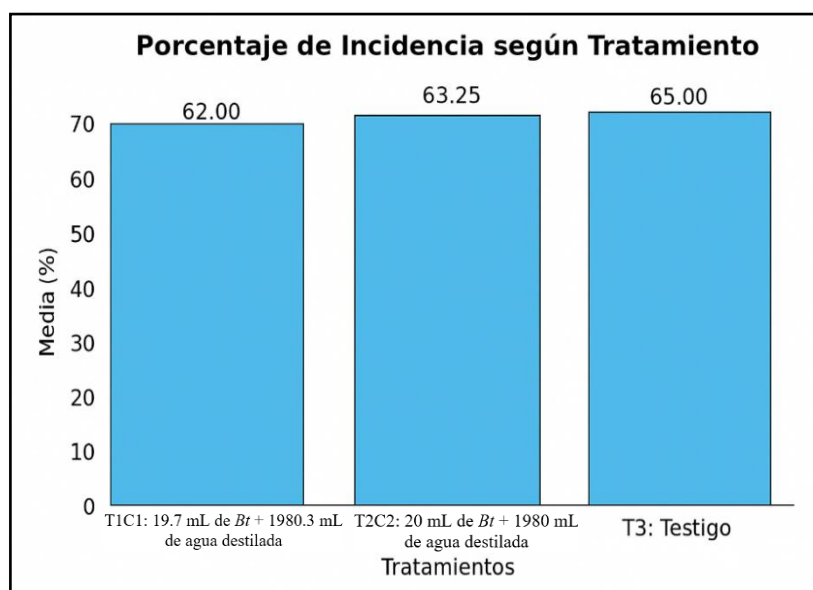
En la tabla 13 se registra mayor porcentaje de mortalidad con una media de 58.00 %, , desviación estándar de 2.32 y una variabilidad de 4.01 % el cual corresponde al tratamiento T2C6, y en orden decreciente continua el tratamiento T1C5 con una media de 56.25 %, , desviación estándar de 2.53 y una variabilidad de 4.50 %, finalmente el testigo (sin control) T3 con un porcentaje promedio de 23.75 %, , desviación estándar de 0.95 y una variabilidad de 4.00 %.

5.1.2 Evaluación de incidencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Tabla 14 — Estadístico descriptivo porcentaje de incidencia primera evaluación.

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef Var	Mínimo	Máximo
Incidencia	T1C1: 19.7 mL de Bt + 1980.3 mL de agua destilada	62.00	1.1404	1.84	60	64
	T2C2: 20 mL de Bt + 1980 mL de agua destilada	63.25	1.2513	1.98	61	66
	T3: testigo	65.00	2.0192	3.11	61	69
NOTA El texto resume los valores descriptivos correspondientes al porcentaje de incidencia obtenido en la primera evaluación de los tratamientos. FUENTE Claves Desv. Est. Desviación estándar Coef. Var. Coeficiente de variación Mín. Mínimo Máx. Máximo mL Mililitros Bt <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración T Tratamiento						





Claves

T1C1 Tratamiento 1; Concentración 1

T2C2 Tratamiento 2; Concentración 2

T3 Tratamiento 3 y/o testigo

Bt *Bacillus thuringiensis*

mL Mililitros

NOTA

La figura muestra la comparación de medias de la incidencia de los tres tratamientos.

FUENTE

Figura 23 — Barras de incidencia por tratamiento

En la tabla 14 se registra mayor porcentaje de incidencia con una media de 65 %, desviación estándar de 2.01 y una variabilidad de 3.11 % el cual corresponde al tratamiento T3, seguido por el T2C2 que presentó una media de 63.25 % , desviación estándar de 1.25 y una variabilidad de 1.98 %, y finalmente se tuvo al T1C1 con una baja incidencia a comparación de los anteriores tratamientos la media que presenta es 62% de incidencia, una desviación estándar de 1.14 y una variabilidad de 1.84%.

La media indica el nivel promedio de incidencia de la plaga, siendo mayor en el tratamiento T3 (65 %), seguido de T2C2 (63.25 %) y T1C1 (62 %). La desviación estándar, con valores bajos (entre 1.14 y 2.01), muestra que los datos se mantuvieron cercanos al promedio, reflejando resultados consistentes. Asimismo, la variabilidad reducida (1.84 % – 3.11 %) evidencia un comportamiento uniforme de la incidencia en los tratamientos evaluados.

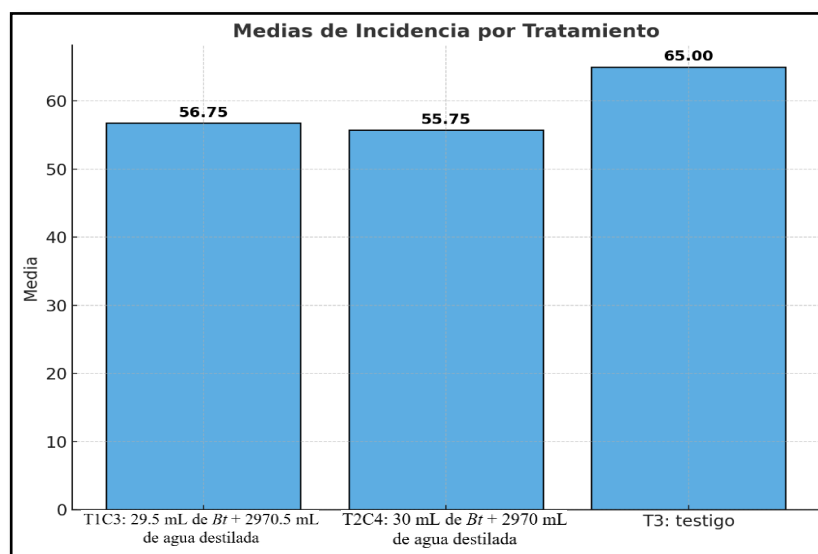
Tabla 15 — Estadístico descriptivo porcentaje de incidencias segunda evaluación

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef Var	Mín.	Máx.
Incidencia	T1C3: 29.5 mL de <i>Bt</i> + 2970.5 mL de agua destilada	56.75	3.30	5.81	50	63
	T2C4: 30 mL de <i>Bt</i> + 2970 mL de agua destilada	55.75	1.70	3.05	52	59
	T3: testigo	65	1.20	1.85	63	67

NOTA:
El texto muestra el resumen descriptivo de los porcentajes de incidencia registrados en la segunda evaluación para los diferentes tratamientos.

FUENTE

Claves
 Desv. Est. Desviación estándar
 Coef. Var. Coeficiente de variación
 Mín. Mínimo
 Máx. Máximo
 mL Mililitros
Bt *Bacillus thuringiensis*
 C Concentración
 T Tratamiento



Claves
 T1C3 Tratamiento 1; Concentración 3
 T2C4 Tratamiento 2; Concentración 4
 T3 Tratamiento 3 y/o testigo
Bt *Bacillus thuringiensis*
 mL Mililitro

NOTA
La figura muestra la comparación de medias de la variable incidencia de los tres tratamientos.

FUENTE

Figura 24 — Barra de incidencia por tratamiento

En la tabla 15 se registra en el tratamiento T3 testigo mayor porcentaje de incidencia con una media de 65 %, desviación estándar de 1.20 y una variabilidad de 1.85 % seguido por el T2C4 con una media de 55.75 %, , desviación estándar de 1.70 y una variabilidad de 3.05 %, y finalmente se tuvo al T1C3 con una baja incidencia a comparación de los anteriores tratamientos la media que presenta es 56.75 % de incidencia, desviación estándar de 3.30 y una variabilidad de 5.81%.

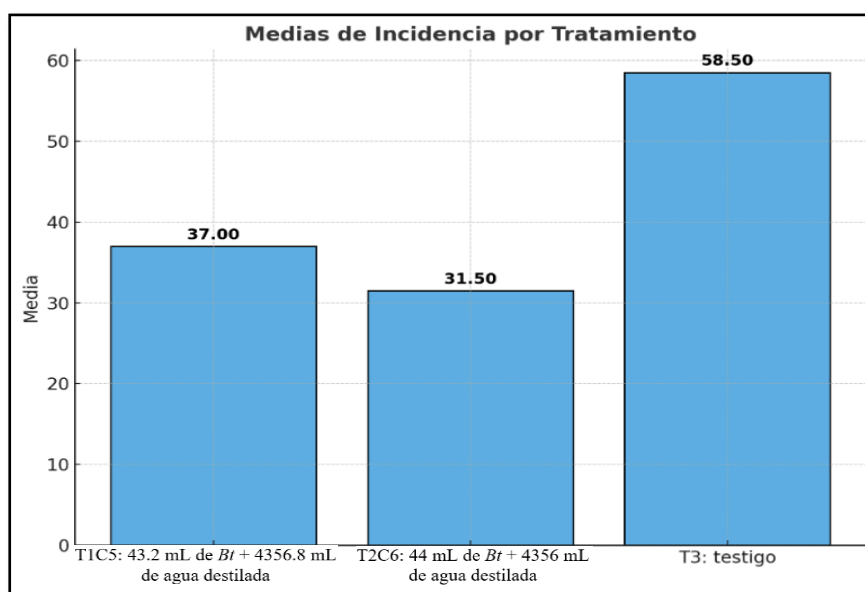
Tabla 16 — Estadísticos descriptivos porcentaje de incidencia tercera evaluación.

Variable	Tratamiento	Media	Desv. Est.	Coef Var	Mín.	Máx.
Incidencia	T1C5: 43.2 mL de <i>Bt</i> + 4356.8 mL de agua destilada	37	0.57154	1.54	36	38
	T2C6: 44 mL de <i>Bt</i> + 4356 mL de agua destilada	31.5	0.46547	1.48	31	33
	T3: testigo	58.5	0.33166	0.58	58	60

NOTA
El texto muestra los valores del porcentaje de incidencia obtenidos en la tercera evaluación para cada uno de los tratamientos.

FUENTE

Claves
 Desv. Est. Desviación estándar
 Coef. Var. Coeficiente de variación
 Mín. Mínimo
 Máx. Máximo
 mL Mililitros
Bt *Bacillus thuringiensis*
 C Concentración
 T Tratamiento



Claves

T1C5	Tratamiento 1; Concentración 5
T2C6	Tratamiento 2; Concentración 6
T3	Tratamiento 3 y/o testigo
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
mL	Mililitros

NOTA

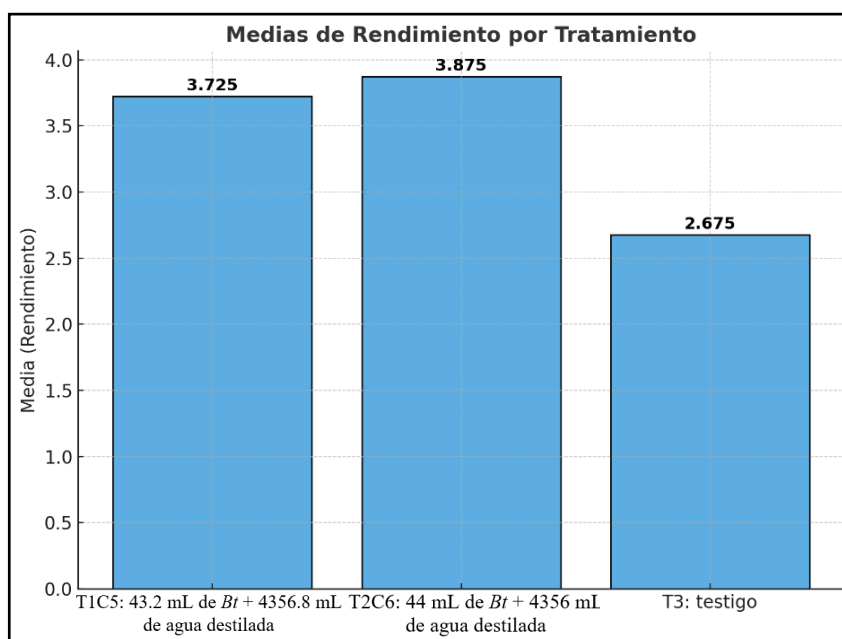
La figura muestra la comparación de medias de la variable incidencia de los tres tratamientos.

FUENTE**Figura 25 — Barras de incidencia por tratamiento**

En la tabla 16 se registra mayor porcentaje de incidencia con una media de 58.5 %, , desviación estándar de 0.33 y una variabilidad de 0.58 % el cual corresponde al tratamiento T3, seguido por el T2C6 con una media de 31.5 %, desviación estándar de 0.46 y una variabilidad de 1.48 %, y finalmente se tuvo al T1C5 con una baja incidencia a comparación de los anteriores tratamientos la media que presenta es 37 % de incidencia , desviación estándar de 0.57 y una variabilidad de 1.54%.

5.1.3 Análisis para el rendimiento del maíz**Tabla 17 — Estadístico descriptivo para rendimiento del cultivo de maíz**

Variable	Tratamientos	Media	Desv. Est.	Coef Var.	Mín.	Máx.
Rendimiento	T1C5: 43.2 mL de <i>Bt</i> + 4356.8 mL de agua destilada	3.725	0.337	9.07	3.05	4.4
	T2C6: 44 mL de <i>Bt</i> + 4356 mL de agua destilada	3.875	0.239	6.19	3.40	4.35
	T3: testigo	2.675	0.25	9.35	2.18	3.18
NOTA El texto muestra resultados del estadístico descriptivo del rendimiento del cultivo de maíz obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados.						
FUENTE						
Claves Desv. Est. Desviación estándar Coef. Var. Coeficiente de variación Mín. Mínimo Máx. Máximo mL Mililitros <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración T Tratamiento						



Claves

T1C5	Tratamiento 1; Concentración 5
T2C6	Tratamiento 2; Concentración 6
T3	Tratamiento 3 y/o testigo
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
mL	Mililitros

NOTA

La figura muestra la comparación de medias de la variable rendimiento de los tres tratamientos.

FUENTE

Figura 26 — Barras de rendimiento por tratamiento

En la tabla 17 nos muestra el resultado del rendimiento a los 120 días después de la siembra, con la aplicación del tratamiento T1C5 se obtuvo una media de 3.72 t/ha, desviación estándar de 0.33, y una variabilidad de 9.07, mientras con la aplicación del T2C6 obtuvo una media 3.87, desviación estándar de 0.23 y una variabilidad de 6.19, y finalmente el T3 tuvo una media de 2.67 t/ha, desviación estándar de 0.25 y una variabilidad de 9.35 %.

- ✓ En conclusión, el tratamiento T2C6 presenta la mayor media de rendimiento (3.875), lo que indica que es el más eficaz para aumentar el rendimiento.
- ✓ El tratamiento T1C5 también mejora el rendimiento respecto al testigo, aunque ligeramente por debajo de T2C6 (3.725 frente a 3.875).
- ✓ El testigo (T3) muestra el rendimiento más bajo (2.675), confirmando que la aplicación de microorganismos tuvo un efecto positivo significativo.

5.2 Contratación de hipótesis

5.2.1 Contratación de hipótesis general

Con el propósito de validar la hipótesis estadístico general, se plantea de la siguiente forma, asimismo para la contratación de las hipótesis se tomaron en cuenta las consideraciones metodológicas pertinentes:

- a) Nivel de confianza al 95%
- b) Planteamiento de hipótesis nula (H_0) y alterna (H_1)
 - ✓ $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$
 - ✓ Las medias de los tratamientos no muestran diferencias significativas.
 - ✓ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10}$
 - ✓ Al menos una de las medias de los tratamientos difiere significativamente de los demás.

Toma de decisión: si Sig. < 0.05 se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Toma de decisión: si Sig. > 0.05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

Tabla 18 — Contratación de hipótesis, a través de ANOVA

Característica		p-value	
		Tratamiento	Bloque
Mortandad	Aplicación 1	0.013	0.885
	Aplicación 2	0.001	0.329
	Aplicación 3	0.010	0.127
Incidencia	Aplicación 1	0.900	0.125
	Aplicación 2	0.013	0.364
	Aplicación 3	0.000	0.312
Rendimiento	Aplicación de <i>Bt</i>	0.001	0.156
NOTA El texto muestra la tabla que presenta los valores (p) para cada variable evaluada, mostrando que los tratamientos ejercieron un efecto significativo sobre la mortandad, incidencia y rendimiento, mientras los bloques no registraron efectos significativos en ninguno de los casos.			
FUENTE			
Claves p-value Valor de p <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i>			

La Tabla 18, muestra los valores p (*p-value*) obtenidos en la contratación de hipótesis para tres variables dependientes: mortandad, incidencia y rendimiento, analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA):



Mortandad

Tratamiento: Aplicación 1: $p = 0.013 < 0.05 \rightarrow$ existe evidencia significativa de que el tratamiento tiene un efecto sobre la mortandad, aplicación 2: $p = 0.001 < 0.05 \rightarrow$ evidencia altamente significativa, aplicación 3: $p = 0.010 < 0.05 \rightarrow$ evidencia significativa. Por lo tanto, se rechaza H_0 para todas las aplicaciones tratamiento en vista de que tiene efecto significativo sobre la mortandad.

Bloque: En todas las aplicaciones, los valores son mayores a 0.05, lo cual indica que el efecto del bloque no es significativo en la variable mortandad.

Incidencia

Tratamientos: Aplicación 1: $p = 0.900 > 0.05 \rightarrow$ no hay efecto significativo del tratamiento, aplicación 2: $p = 0.013 < 0.05 \rightarrow$ sí hay efecto significativo, aplicación 3: $p = 0.000 < 0.05 \rightarrow$ muy significativo, misma indica que se rechaza H_0 en las aplicaciones 2 y 3, y se acepta H_0 en la aplicación 1, ya que solo las aplicaciones 2 y 3 muestran significancia estadística.

Bloque: Ninguno de los valores de p en esta sección es menor a 0.05, por lo que el bloque no afecta significativamente la incidencia.

Rendimiento

Tratamiento: Aplicación de *Bacillus thuringiensis*: $p = 0.001 < 0.05 \rightarrow$ El tratamiento tiene un efecto altamente significativo sobre el rendimiento. Por lo mismo que se rechaza H_0 y se acepta H_1 , porque el tratamiento tiene un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo, el tratamiento aplicado influye de manera significativa en el rendimiento del cultivo, mientras que el bloque no representa una fuente de variación relevante. Bloque: $p = 0.156 \rightarrow$ No significativo.

5.2.2 Contrastación de hipótesis específica 1

a. Contrastación para la mortalidad del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Tabla 19 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad primera evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	4288.7	4388.7	21.28	0.002
Tratamiento	2	2563.17	1281.58	9.71	0.013
Bloque	3	83.58	27.86	0.21	0.885
Error	6	792.17	132.03		
Total	11	3438.92			

NOTA
El texto muestra resultados del ANOVA para la mortalidad en la primera evaluación, detallando la contribución del modelo, tratamientos, bloques y el error.

FUENTE

Claves
 GL Grados de libertad
 SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
 MC Ajust. Media cuadrática ajustado
 Valor F Estadístico F de Fisher
 Valor p Nivel de significancia observado

Modelo general

Valor $p = 0.002 < 0.05$ por tanto se rechaza H_0 . El modelo es significativo, lo que indica que al menos uno de los factores (tratamiento o bloque) explica la variabilidad en la mortalidad, como $p < 0.05$, hay evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo en conjunto tiene poder explicativo sobre la variable dependiente (porcentaje de mortalidad) mismas que indican que el modelo general es lineal.

Efecto del tratamiento

El valor $p = 0.013 < 0.05$, misma indica que se rechaza H_0 . El tratamiento tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de mortalidad, esto significa que los diferentes tratamientos aplicados generan cambios medibles en la respuesta (mortalidad).

Efecto del bloque

El valor $p = 0.885 > 0.05$, por lo que se acepta H_0 . El bloque no tiene un efecto significativo sobre la mortalidad, esto indica que las diferencias entre bloques (repeticiones) no contribuyen de forma estadística a la variación de la mortalidad.

Se realiza la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad, para determinar cuál de los tratamientos tiene mayor efecto en la mortalidad de gusano cogollero.

Tabla 20 — Prueba de Tukey para mortalidad primera evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T2C2: 20 mL de <i>Bt</i> + 1980 mL de agua destilada	4	64.50	a	
T1C1: 19.7 mL de <i>Bt</i> + 1980.3 mL de agua destilada	4	50.75	a	
T3: Testigo	4	29.00		b
NOTA El texto indica que las letras en la agrupación indican qué tratamientos son estadísticamente similares; aquellos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí según la prueba de Tukey. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentraciones mL Mililitros N Numero de datos T Tratamientos				

En la tabla 20 respecto a la mortalidad de larvas del gusano cogollero, la prueba de Tukey indica que los tratamientos T1C1: 19.7 mL de *Bt* + 1980.3 mL de agua destilada y T2C2: 20 mL de *Bt* + 1980 mL de agua destilada, presentan medias de mortalidad de 50.75% y 64.50%, respectivamente, y comparten la misma letra 'a' en la columna de agrupación. Esto indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos, el tratamiento T3 (testigo), con una media de 29.00%, aparece con la letra 'B', lo que significa que es estadísticamente diferente de los tratamientos T1 y T2 en comparación con T3), esto implica que tanto T1 como T2 aumentan significativamente la mortalidad en comparación con el testigo sin tratamiento

que ocupó el último lugar con 29 % de larvas muertas en promedio, este resultado en el testigo se debe a causas naturales.

b. Contrastación para mortalidad de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Tabla 21 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad segunda evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	6394.93	6384.93	45.05	0.000
Tratamiento	2	4738.7	2369.33	33.85	0.001
Bloque	3	296.3	98.75	1.41	0.329
Error	6	420.0	70.00		
Total	11	5454.9			

NOTA
El texto muestra resultados del ANOVA para la mortalidad en la segunda evaluación, detallando la contribución del modelo, tratamientos, bloques y el error.

FUENTE
Claves
GL Grados de libertad
SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
MC Ajust. Media cuadrática ajustado
Valor F Estadístico F de Fisher
Valor p Nivel de significancia observado

Modelo general

En la tabla 21 se observa que el valor de p- valor es inferior al nivel de significancia asumida, es decir ($\text{sig}=0.000 < \alpha = 0.05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, por lo que indica que al menos uno de los factores considerados (tratamiento o bloque) explica la variabilidad observada en la mortalidad, del mismo modo los resultados obtenidos evidencian que el modelo general es lineal, de tal forma se cumple con los supuestos formulados para un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Efecto del tratamiento

En la segunda aplicación de Bt, se observa que el valor -p es inferior al valor del nivel de significancia asumida ($\text{Sig.} = 0.001 < \alpha = 0.05$), por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), lo que indica

que existe efecto atribuible a los tratamientos sobre la mortalidad de larvas del gusano cogollero en la primera aplicación.

Efecto del bloque

Se observa que el valor $p = 0.329$ el cual es superior a $\alpha = 0.05$. esto demuestra que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo que no existe diferencias significativas entre bloques, esto indica que no hay diferencias importantes entre las unidades experimentales agrupadas por bloque (repeticiones), lo que demuestra homogeneidad experimental.

Se realiza la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad, para determinar cuál de los tratamientos tiene mayor efecto en la mortalidad de gusano cogollero.

Tabla 22 — Prueba de Tukey para mortalidad segunda evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T2C4: 30 mL de Bt + 2970 mL de agua destilada	4	67.25	a	
T1C3: 29.5 mL de Bt + 2970.5 mL de agua destilada	4	50.25	a	
T3: testigo	4	19.25		b
NOTA El texto muestra la agrupación de las letras indicando la similitud estadística entre tratamientos; aquellos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentraciones ML Mililitros N Número de datos T Tratamientos				

En la prueba de Tukey tabla 22, respecto a la mortalidad de larvas del gusano cogollero el tratamiento T2 ocupa el primero lugar con 67.25 % de individuos muertos, seguido por el tratamiento T1 con 50.25 % de mortalidad, mientras que el tratamiento T3 testigo ocupó el último lugar con 19.25 % de larvas muertas en promedio, este resultado en el testigo se debe a causas naturales, enemigos naturales (depredadores), canibalismo, condiciones ambientales,



entre otras. La prueba de Tukey indica que los tratamientos T1 y T2 son iguales estadísticamente pero numéricamente diferentes y superiores al tratamiento testigo. Por lo tanto, el bioinoculante *Bacillus thuringiensis* es eficiente y tiene efecto en el control de larvas del gusano cogollero.

c. Contratación para mortalidad de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Tabla 23 — Análisis de varianza porcentaje de mortalidad tercera evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	6000.1	6000.05	12.53	0.005
Tratamiento	2	2976.5	1488.3	11.04	0.010
Bloque	3	1156.7	385.6	2.86	0.127
Error	6	808.8	134.8		
Total	11	4942.0			
NOTA El texto muestra resultados del ANOVA para la mortalidad en la tercera evaluación, detallando la contribución del modelo, tratamientos, bloques y el error. FUENTE Claves GL Grados de libertad SC Ajust. Suma cuadrado ajustado MC Ajust. Media cuadrática ajustado Valor F Estadístico F de Fisher Valor p Nivel de significancia observado					

Modelo

En la tabla 23 se observa que p- valor es inferior con respecto al valor de significancia asumida, es decir ($\text{sig}=0.005 < \alpha = 0.05$), por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que al menos uno de los factores evaluados (tratamiento o bloque) explica la variabilidad observada en la mortalidad, mismas que indica que el modelo general presenta un comportamiento lineal, cumpliéndose los supuestos formulados para la aplicación de un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Tratamiento

En la tercera aplicación de *Bt*, se observa que el valor -p es inferior al valor del nivel de significancia asumida ($\text{Sig.} = 0.010 < \alpha = 0.05$), motivo por el cual



se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), este resultado demuestra que los tratamientos generaron diferencias significativas sobre la mortalidad de larvas del gusano cogollero, la diferencia entre los tratamientos no es producto del azar, lo que confirma que las distintas dosis aplicados generaron efectos diferenciales reales en la variable respuesta.

Para los bloques

Se observa que el valor $p = 0.127$ el cual es superior a $\alpha = 0.05$. esto evidencia que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, lo que implica que los bloques son homogéneos.

Se realiza la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad, para determinar cuál de los tratamientos tiene mayor efecto en la mortalidad de gusano cogollero.

Tabla 24 — Prueba de Tukey para mortalidad tercera evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T2C6: 44 mL de <i>Bt</i> + 4356 mL de agua destilada	4	58.00	a	
T1C5: 43.2 mL de <i>Bt</i> + 4356.8 mL de agua destilada	4	56.25	a	
T3: Testigo	4	23.75		b
NOTA El texto indica que las letras asignadas indican la comparación entre tratamientos; los que tienen la misma letra pertenecen al mismo grupo estadístico y no presentan diferencias significativas entre sí. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración ML Mililitros N Número de datos T Tratamientos				

La prueba de Tukey tabla 24, indicó respecto a la mortalidad de larvas del gusano cogollero el tratamiento T2 ocupa el primero lugar con 58.00 % de individuos muertos, seguido por el tratamiento T1 con 56.25 % de mortalidad, mientras que el tratamiento T3 testigo ocupó el último lugar con 23.75 % de larvas muertas en promedio, este resultado en el testigo se debe a causas naturales, enemigos naturales (depredadores), canibalismo, condiciones



ambientales, entre otras. La prueba de Tukey indica que los tratamientos T1 y T2 son iguales estadísticamente pero numéricamente diferentes y superiores al tratamiento testigo, lo cual valida la eficacia de los tratamientos biológicos aplicados.

En esta última aplicación el porcentaje de mortalidad ha bajado, debido a que la población del gusano cogollero ha bajado, por el mismo hecho que las plantas de maíz por su fenología van tomando mayor vigor, por ende, la ausencia de larvas.

5.2.3 Contrastación hipótesis específica 2

a. Contrastación para incidencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Tabla 25 — Análisis de varianza porcentaje de incidencia primera evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	654.001	654.502	8.8	0.010
Tratamiento	2	9.500	4.750	0.11	0.900
Bloque	3	380.250	126.750	2.88	0.125
Error	6	264.500	44.083		
Total	11	654.250			

NOTA
El texto muestra la tabla ANOVA de la incidencia en la primera evaluación, indicando que ni los tratamientos ni los bloques generaron diferencias significativas en la variable analizada.

FUENTE

Claves
GL Grados de libertad
SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
MC Ajust. Media cuadrática ajustado
Valor F Estadístico F de Fisher
Valor p Nivel de significancia observado

Modelo

En la tabla 25 analizamos que p- valor es inferior con relación al valor de significancia asumida, es decir ($\text{sig}=0.010 < \alpha = 0.05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, mismas que indican que el modelo general es lineal.

Tratamiento

En la tabla de análisis de varianza, reporta que el p valor (0.900) es superior a 0.05 por lo cual no se rechaza la H_0 y se rechaza la H_a , concluyendo que, después de la primera aplicación del bioinoculante *Bacillus thuringiensis*, no se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos en relación con la incidencia del gusano cogollero.

En esta etapa no hubo actividad de *Bt*, sin embargo, Drouet (2018), menciona que hay diferencias significativas de control a partir de los 30 días de emergencia de las plantas de maíz.

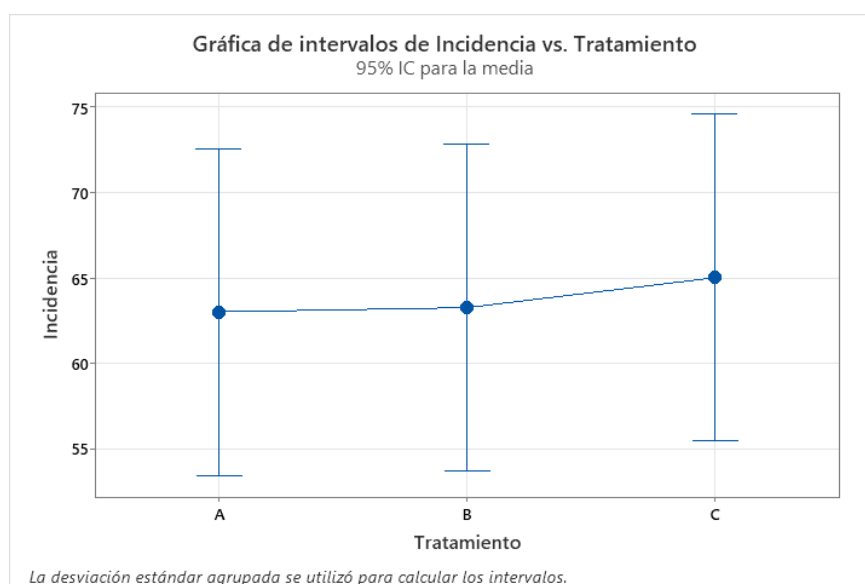
Bloque

En el caso del bloque, se obtuvo un valor de significancia de $p = 0.125$, el cual es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los bloques, por lo que la variación observada en la variable de estudio no se atribuye al efecto de los bloques.

Se aplicó la prueba de Tukey con la finalidad de determinar los tratamientos que difieren entre sí tras haberse comprobado en el ANOVA la existencia de diferencias significativas. Este análisis permitió comparar las medias de los tratamientos y establecer cuáles presentaron variaciones notables en relación con la variable estudiada.

Tabla 26 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia primera evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3: testigo	4	65.00	a
T2C2: 20 mL de <i>Bt</i> + 1980 mL de agua destilada	4	63.25	a
T1C1: 19.7 mL de <i>Bt</i> + 1980.3 mL de agua destilada	4	63.00	a
NOTA El texto muestra la agrupación de la similitud estadística entre tratamientos; aquellos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración mL Mililitro N Número de datos T Tratamiento			



Claves

- A Tratamiento 1
- B Tratamiento 2
- C Tratamiento 3

NOTA

El gráfico muestra las medias de la incidencia son similares entre tratamientos, los amplios intervalos indican alta variabilidad y ausencia de diferencias estadísticas significativas entre ellos.

FUENTE

Figura 27 — Intervalo de incidencia vs. Tratamiento

Mediante la prueba de Tukey al 5 % para los tratamientos en evaluación de porcentaje de incidencia del gusano cogollero, se obtuvieron los siguientes rangos de significancia, el mayor rango de incidencia de gusano cogollero se observó en el T3 (testigo) al ubicarse en el primer rango con 65 % de incidencia. Le siguen los tratamientos T2 con promedio de 63.25 % y T1 C1 con promedio de 63 %. La prueba de Tukey indica que los tratamientos T1, T2 y T3 son iguales estadísticamente por lo tanto no hubo significancia entre estos tratamientos.

b. Contrastación para incidencia del gusano cogollero

Tabla 27 — Análisis de varianza de porcentaje de incidencia segunda evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	136,125	136,125	7.84	0.019
Tratamiento	2	206.17	103.08	9.79	0.013
Bloque	3	40.33	13.44	1.28	0.364
Error	6	63.17	10.53		
Total	11	309.67			

NOTA
El texto muestra la tabla de ANOVA de la incidencia en la segunda evaluación, mostrando diferencias significativas entre tratamientos, mientras que los bloques no tuvieron significancia en la variable evaluada.

FUENTE

Claves
 GL Grados de libertad
 SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
 MC Ajust. Media cuadrática ajustado
 Valor F Estadístico F de Fisher
 Valor p Nivel de significancia observado

Modelo

En la tabla 27 analizamos que p- valor es inferior con respecto al valor de significancia asumida, es decir ($\text{sig}=0.019 < \alpha = 0.05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, mismas que indican que el modelo general es lineal, de tal forma se cumple con los supuestos formulados para un diseño de bloques completos al azar (DBCA)

Tratamiento

Después de la segunda aplicación de *Bt*, se observa que el valor -p es inferior al valor del nivel de significancia asumida ($\text{Sig.} = 0.013 < \alpha = 0.05$), por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), lo que indica que uno o más tratamientos son significativamente diferentes, respecto a la incidencia del gusano cogollero.

Bloque

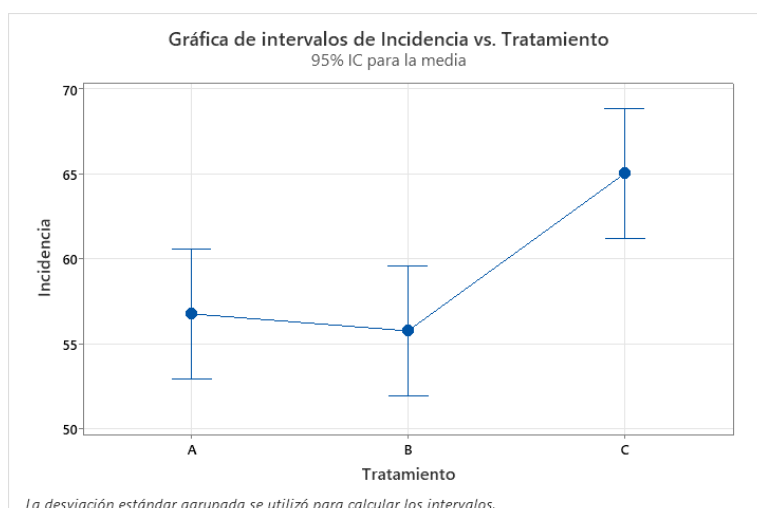
En el caso del factor bloque, el valor de significancia obtenido fue de $p = 0.364$, el cual es mayor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Esto indica

que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los bloques, por lo tanto, la variación observada en la variable de estudio no se debe al efecto de los bloques.

Se realizó la prueba de Tukey al 95 % de confianza con el propósito de identificar entre qué tratamientos se presentan diferencias significativas, luego de comprobar mediante el análisis de varianza (ANOVA) que existían diferencias globales. Esta prueba permitió comparar las medias de cada tratamiento y determinar cuáles de ellos mostraron efectos significativamente distintos sobre la variable evaluada.

Tabla 28 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia segunda evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T3: control	4	65.00	a	
T1C3: 29.5 mL de <i>Bt</i> + 2970.5 mL de agua destilada	4	56.75		b
T2C4: 30 mL de <i>Bt</i> + 2970 mL de agua destilada	4	55.75		b
NOTA El texto muestra la agrupación de los grupos estadísticos; tratamientos con letras distintas presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentraciones mL Mililitros N Número de datos T Tratamientos				



Claves

- A Tratamiento 1
- B Tratamiento 2
- C Tratamiento 3

NOTA

El gráfico muestra que los tratamientos A y B tienen incidencias similares, mientras que C es mayor.

FUENTE

Figura 28 — Intervalo de incidencia vs. Tratamiento

Mediante la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en la evaluación del porcentaje de incidencia de cogollero, se registraron tres rangos de significación. El menor porcentaje de incidencia se observó en el tratamiento T2, con media de 55,75%, al ubicarse en el primer rango, le sigue el tratamiento T1 con una media de 56,75 % estos tratamientos compartieron el primero y segundo rango, con incidencia promedio de 55,75% y 56,75 %, respectivamente. El tratamiento testigo, con el mayor porcentaje de incidencia de la plaga, con una media de 65,00%.

c. Contrastación para la incidencia del gusano cogollero, tercera aplicación

Tabla 29 — Análisis de varianza de porcentaje de incidencia tercera evaluación.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	924.50	924.500	10.27	0.009
Tratamiento	2	1628.67	814.33	43.37	0.000
Bloque	3	83.33	27.78	1.48	0.312
Error	6	112.67	18.78		
Total	11	1824.67			

NOTA

El texto muestra el ANOVA para la incidencia en la tercera evaluación, evidenciando diferencias significativas entre tratamientos, mientras que los bloques no influyeron significativamente en la variable analizada.

FUENTE

Claves

- GL Grados de libertad
- SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
- MC Ajust. Media cuadrática ajustado
- Valor F Estadístico F de Fisher
- Valor p Nivel de significancia observado



Modelo general

En la tabla 29, analizamos que p- valor es inferior con respecto al valor de significancia asumida, es decir ($\text{sig}=0.009 < \alpha = 0.05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, mismas que indican que el modelo general es lineal, de tal forma se cumple con los supuestos formulados para un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Efecto del tratamiento

Después de la tercera aplicación de *Bt*, se observa que el valor -p es inferior al valor del nivel de significancia asumida ($\text{Sig.} = 0.000 > \alpha = 0.05$), por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), lo que indica que uno o más tratamientos son significativamente diferentes, respecto a la incidencia del gusano cogollero.

Efecto del bloque

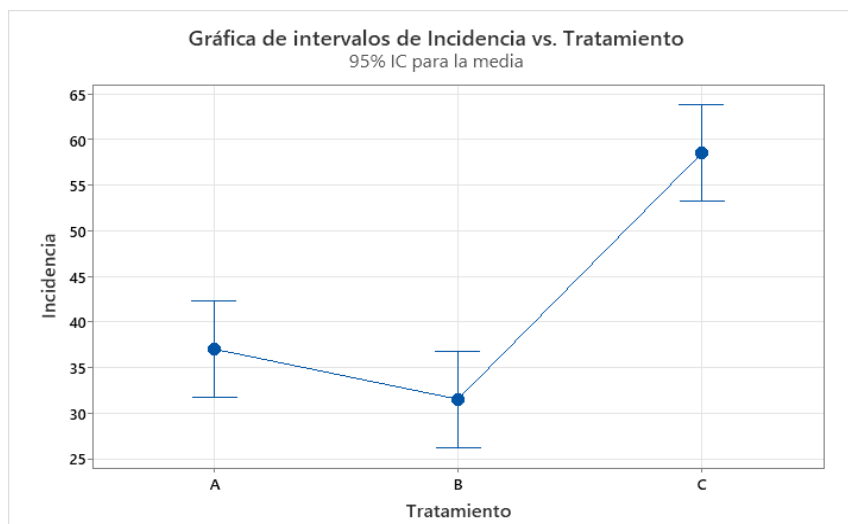
Analizamos la tabla 29, en ella se observa que el p – valor es mayor al nivel de significancia que sumimos ($\text{sig}=0.312 > \alpha = 0.05$), misma indica que aceptamos la hipótesis nula (H_0) y manifestamos que los bloques no influyen sobre la incidencia.

Se aplicó la prueba de Tukey con la finalidad de determinar los tratamientos que difieren entre sí tras haberse comprobado en el ANOVA la existencia de diferencias significativas.

Tabla 30 — Prueba de Tukey porcentaje de incidencia tercera evaluación.

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T3: testigo	4	58.50	a	
T1C5: 43.2 mL de <i>Bt</i> + 4356.8 mL de agua destilada	4	37.00		b
T2C6: 44 mL de <i>Bt</i> + 4356 mL de agua destilada	4	31.50		b
NOTA Las letras de la agrupación indican qué tratamientos difieren entre sí; aquellos con letras distintas presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey. FUENTE Claves <i>Bt</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración mL Mililitro N Número de datos T Tratamientos				





Claves

- A Tratamiento 1
- B Tratamiento 2
- C Tratamiento 3

NOTA

El gráfico muestra la incidencia promedio para los tratamientos A, B y C, se observa que el tratamiento B presenta la menor incidencia, el tratamiento A valores intermedios y el tratamiento C la mayor incidencia registrada.

FUENTE

Figura 29 — Intervalo de incidencia vs. tratamiento

La prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en la evaluación del porcentaje de incidencia de cogollero, se registraron tres rangos de significación. El menor porcentaje de incidencia se observó en el tratamiento T2, con una media de 31,50%, al ubicarse en el primer rango, le sigue el tratamiento T1 con una media de 37 % estos tratamientos compartieron el primero y segundo rango, con incidencia promedio de 31,50% y 37 %, respectivamente. El tratamiento testigo, con el mayor porcentaje de incidencia de la plaga, con una media de 58,50%. Por lo tanto, se puede deducir que la aplicación de *Bacillus thuringiensis* resultan más eficaces sobre la incidencia del gusano cogollero en vista de que reportaron menor incidencia que el testigo.

5.2.4 Hipótesis específica 3

a. Contrastación de hipótesis para el rendimiento del maíz a los 120 días

El tratamiento que mayor rendimiento recae en aquel donde las larvas del gusano cogollero fueron controladas de manera biológica.

Tabla 31 — Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de maíz

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	2.2050	2.20500	11.50	0.007
Bloque	3	0.390	0.130	2.51	0.156
Tratamiento	2	3.420	1.710	32.92	0.001
Error	6	0.311	0.051		
Total	11	4.122			

NOTA
El texto muestra la tabla ANOVA del rendimiento del maíz, mostrando que los tratamientos generaron diferencias significativas, mientras que los bloques no tuvieron un efecto relevante sobre la variable evaluada.

FUENTE

Claves
 GL Grados de libertad
 SC Ajust. Suma cuadrado ajustado
 MC Ajust. Media cuadrática ajustado
 Valor F Estadístico F de Fisher
 Valor p Nivel de significancia observado

La tabla 31 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la variable rendimiento del cultivo de maíz. Se evaluaron los efectos del tratamiento y del bloque sobre dicha variable, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre grupos.

Modelo general

El valor $p = 0.007 < 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0), el modelo es estadísticamente significativo, mismas que indican que el modelo general es lineal, lo que indica que al menos uno de los factores tiene un efecto sobre el rendimiento del cultivo, de tal forma se cumple con los supuestos formulados para un diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Efecto del tratamiento

El valor $p = 0.001 < 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 , el tratamiento tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento del cultivo de maíz, esto

sugiere que los diferentes tratamientos aplicados provocaron diferencias reales en el rendimiento, no atribuibles al azar.

Los bloques

En la tabla 31 se aprecia que el p-valor es mayor al nivel de significancia asumida ($\text{sig}=0.156 > \alpha=0.05$), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0) y concluimos que los bloques no afectan de manera significativa el rendimiento obtenido.

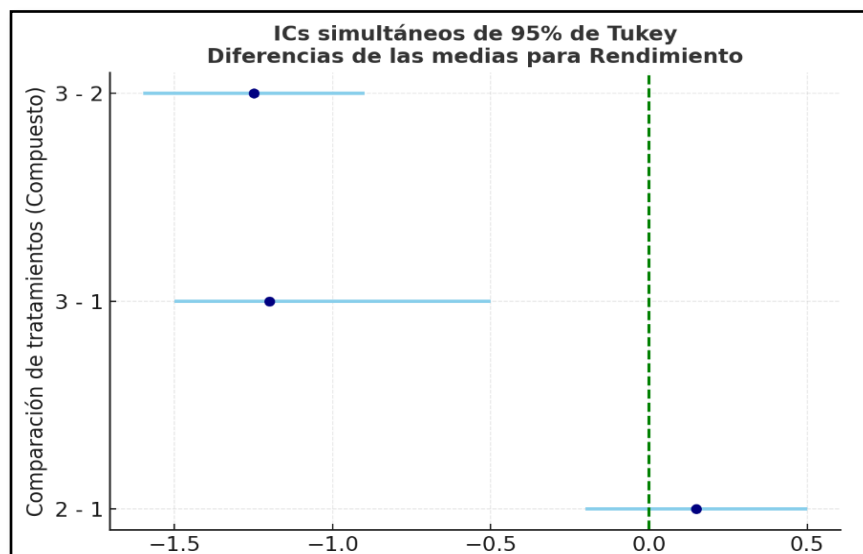
Tabla 32 — Prueba de Tukey para rendimiento del cultivo de maíz

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T2C6: 44 mL de Bt + 4356 mL de agua destilada	4	3.875	a	
T1C5: 43.2 mL de Bt + 4356.8 mL de agua destilada	4	3.725	a	
T3: testigo	4	2.675		b
NOTA Las letras en la agrupación indican los grupos estadísticamente similares; los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas en el rendimiento según la prueba de Tukey. FUENTE Claves Bt <i>Bacillus thuringiensis</i> C Concentración mL Mililitro N Número de datos T Tratamientos				

La prueba de Tukey en la tabla 32, muestra los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey aplicada al rendimiento del cultivo de maíz, el objetivo fue evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con bioinoculante (T1 y T2) y el tratamiento testigo (T3), tras confirmarse mediante ANOVA que el modelo general era significativo.

Los tratamientos con bioinoculante, T1C5: 43.2 mL de Bt + 4356.8 mL de agua destilada y T2C6: 44 mL de Bt + 4356 mL de agua destilada, obtuvieron rendimientos promedio de 3.725 T/Ha y 3.875 t/ha respectivamente, el tratamiento testigo (T3), sin aplicación de bioinoculante, registró un rendimiento significativamente menor: 2.675 t/ha, según la agrupación estadística reflejada en la columna 'Agrupación', los tratamientos T1 y T2 comparten la letra 'a', mientras que el testigo (T3) pertenece al grupo 'B', esto

indica que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos con bioinoculante de *Bt* y el testigo, pero no entre T1 y T2.



Claves

- 2-1 diferencia entre el tratamiento 2 y el tratamiento 1
- 3-1 diferencia entre el tratamiento 3 y el tratamiento 1
- 3-2 diferencia entre el tratamiento 3 y el tratamiento 2

NOTA

La figura muestra que cada comparación evalúa si las medias de rendimiento entre esos dos tratamientos son significativamente distintas.

FUENTE

Figura 30 — Comparaciones de promedios para rendimiento

La figura muestra los intervalos de confianza al 95% para las diferencias de medias entre tratamientos (T1, T2, T3):

- ✓ Los intervalos que no cruzan el cero indican diferencias significativas.
- ✓ En este caso, las comparaciones 3-1 y 3-2 no incluyen el cero → el tratamiento testigo (T3) difiere significativamente de T1 y T2.
- ✓ La comparación 2-1 incluye el cero → no hay diferencia significativa entre T1 y T2.

5.3 Discusión

La sección de la discusión se establece para contrastar los resultados obtenidos con hallazgos reportados por otros autores en función a los objetivos planteados en el presente estudio.

5.3.1 Discusiones sobre porcentaje de mortandad del gusano cogollero

En la presente investigación, *Bacillus thuringiensis* mostró un efecto significativo en la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* bajo condiciones de campo, alcanzando una mortalidad máxima de 67.25 % con el tratamiento T2C4 (30 mL de Bt + 2970 mL de agua destilada) y una mínima de 50.25 % con el tratamiento T1C3 (29.5 mL de Bt + 2970.5 mL de agua destilada), mientras que el testigo registró solo 19.25 %. La concentración madre utilizada en el presente estudio como tratamiento T1 fue de 2.95×10^7 UFC/mL, esta concentración se basó en la propuesta de **Bertel & Villero (2018)**, quienes demostraron que dicha concentración era letal para larvas de *Aedes aegypti*, provocando una mortalidad del 50 % en apenas 12 horas. Aunque el trabajo de Bertel y Villero se realizó en condiciones controladas de laboratorio, los resultados obtenidos en la presente investigación confirman la eficacia biocida del *Bacillus thuringiensis* a esa misma concentración, frente a una plaga de hábitos terrestres como *S. frugiperda*. La similitud en el comportamiento del biocontrolador demuestra que la concentración de 2.95×10^7 UFC/mL mantiene un poder entomopatógeno efectivo en distintos contextos biológicos, siempre que exista contacto directo del producto con las larvas, como se logró mediante la aspersión localizada en el cogollo de cada planta. Los valores obtenidos en el presente estudio confirman la eficacia de la solución bacteriana, aunque son ligeramente menores a los reportados por **Drouet (2018)**, quien aplicó *Bacillus thuringiensis* en dosis de 250 a 1250 mL/ha y obtuvo un control casi total de larvas y una reducción significativa del daño foliar, similar al efecto del control químico con cipermetrina, la diferencia entre ambos estudios puede deberse principalmente a la dosis aplicada y la escala experimental, ya que Drouet utilizó volúmenes mayores a nivel de campo, mientras que en el presente trabajo se aplicaron dosis más concentradas, pero en aspersión localizada sobre cada planta, con el propósito de lograr contacto directo de la solución bacteriana con las larvas presentes en el cogollo. Así mismo los resultados obtenidos son ligeramente inferiores a los reportados por **González et al. (2015)**, quienes en laboratorio obtuvieron una mortalidad del 70.66 % al aplicar *Bacillus*



thuringiensis a una concentración de 500 µg/mL, mientras que con 50 µg/mL la mortalidad fue del 20 %. Del mismo modo los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por **Polanczyk et al. (2013)**, quienes también identificaron que la concentración de 3×10^8 células/mL fue la más efectiva, logrando 80.40 % de mortalidad con la cepa *Bt thuringiensis* 4412 y 70 % con *Bt aizawai* HD-68, mientras que concentraciones menores, como 3×10^7 células/mL, redujeron la mortalidad entre 50 % y 60 %. Así mismo **Gutiérrez (2017)** obtuvo como resultado final de la evaluación con entomopatógenos en el control biológico de cogollero y mazorquero obtuvo una excelente alternativa de control mediante la aplicación de *Bacillus thuringiensis* logrando un porcentaje de eficiencia de 65.11% en la mortandad de larvas de mazorquero y un 68.33% en mortandad de larvas de cogollero. Finalmente, los datos se asemejan a los valores reportados por **Juárez (2021)**, quien registró mortalidades superiores al 80 % cuando se aplicó la combinación de *Metarhizium rileyi* con *Bacillus thuringiensis* en condiciones de laboratorio, alcanzando un 82 % como máximo. No obstante, es importante resaltar que Juárez (2021) trabajó bajo condiciones controladas.

5.3.2 Discusiones sobre la incidencia de gusano cogollero

Los resultados del presente estudio demostraron que la aplicación de *Bacillus thuringiensis* redujo significativamente la incidencia de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz, mostrando una tendencia decreciente a medida que se incrementó la concentración del bioinoculante. En la tercera aplicación, los tratamientos T1C5 (43.2 mL de *Bt* + 4356.8 mL de agua destilada) y T2C6 (44 mL de *Bt* + 4356 mL de agua destilada) registraron las incidencias más bajas, con 37.00 % y 31.50 %, respectivamente, frente al 58.50 % del testigo. Estos resultados reflejan la eficacia del *Bacillus thuringiensis* en la reducción de la población de la plaga, especialmente cuando se realizan aplicaciones continuas en intervalos de 15 días. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por **Hernández et al. (2019)**, quienes también observaron una disminución progresiva de la incidencia en campo con el uso de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, logrando reducirla desde 10 % hasta 1 % a lo largo del periodo de evaluación. En ambos estudios se evidencia que *Bacillus thuringiensis* es un entomopatógeno eficaz para disminuir la presencia de larvas en campo, aunque la magnitud de la reducción depende de factores como la concentración aplicada, frecuencia de aplicación. Mientras Hernández et al. (2019) obtuvieron reducciones más drásticas (hasta 1



% de incidencia), en el presente trabajo la mayor disminución se registró en la tercera aplicación (31.50 %), confirmando que la eficacia del bioinoculante aumenta con aplicaciones sucesivas y que su uso permite mantener la plaga en niveles inferiores al testigo.

5.3.3 Discusiones sobre el rendimiento del cultivo de maíz

En el presente estudio se observó que la aplicación de *Bacillus thuringiensis* influyó positivamente en el rendimiento del cultivo de maíz, alcanzando 3.875 t/ha con el tratamiento T2C6 (44 mL de *Bt* + 4356 mL de agua destilada) y 3.725 T/ha con T1C5 (43.2 mL de *Bt* + 4356.8 mL de agua destilada), superando ampliamente al testigo absoluto (2.675 t/ha). Estos resultados guardan coherencia con los resultados obtenidos por **Salguero (2021)**, quien al aplicar *Bacillus thuringiensis* en diferentes dosis (100, 150 y 200 mL por mochila de 16 L) registró rendimientos de 3.81, 4.57 y 4.57 t/ha, respectivamente. La similitud entre ambos estudios demuestra que el incremento de la dosis de *Bt* se asocia directamente con un mayor rendimiento del cultivo, ya que una mayor concentración del bioinoculante mejora la eficacia en el control de *Spodoptera frugiperda*, reduciendo el daño foliar y favoreciendo el desarrollo vegetativo del maíz. Finalmente, los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por **Hernández et al. (2019)**, quienes aplicaron *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* a una dosis de 40 gr/20L de agua, realizando aplicaciones cada 15 días, lo que permitió registrar rendimiento de 4,533 kg/ha, evidenciando que concentraciones más altas también generaban mejores respuestas productivas, similar a lo observado en este estudio.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Primero: El estudio permitió evaluar el efecto de diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* sobre la mortalidad de *Spodoptera frugiperda* durante la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, evidenciándose que las aplicaciones del bioinoculante ejercieron un control efectivo sobre la plaga en las tres evaluaciones realizadas, los tratamientos con *Bacillus thuringiensis* (T1C1, T1C3, T1C5, T2C2, T2C4 y T2C6) mostraron porcentajes de mortalidad superiores al testigo, alcanzando valores entre 50.25 % y 67.25 %, mientras que el control sin aplicación registró mortalidades considerablemente menores, entre 19.25 % y 29 %, de forma consistente, las concentraciones más altas aplicadas (T2C2, T2C4 y T2C6) lograron los mejores niveles de control, superando el 58 y 67 % de mortalidad. Si bien los tratamientos con *Bacillus thuringiensis* presentaron rangos de control similares entre sí, todos mostraron una clara ventaja respecto al tratamiento testigo, en conjunto, los resultados confirman que *Bacillus thuringiensis* tiene un efecto favorable sobre la mortalidad del cogollero, validando el cumplimiento del objetivo planteado y posicionándolo como una alternativa viable para el manejo de *Spodoptera frugiperda* durante la fase vegetativa del maíz en la zona de estudio. Asimismo, cabe señalar que la mortalidad encontrada en el testigo (sin control), se debe al factor ambiental y/o causas naturales como (enemigos naturales y canibalismo).

Segundo: En cumplimiento al objetivo específico 2, se determinó que la aplicación de diferentes concentraciones de *Bacillus thuringiensis* influyó positivamente en la reducción de la incidencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) durante la fase vegetativa del maíz. Si bien en la primera aplicación los tratamientos con *Bacillus thuringiensis* no mostraron diferencias significativas entre sí, estos mantuvieron valores de incidencia ligeramente menores en comparación con el testigo. En las evaluaciones posteriores, esta tendencia se hizo más evidente: los tratamientos con *Bacillus thuringiensis* registraron incidencias progresivamente más bajas respecto al control, destacando en la tercera aplicación los tratamientos T1C5 (37.00 %) y T2C6 (31.50 %), frente al 58.50 % del testigo. Estos resultados indican que *Bacillus thuringiensis* contribuyó a disminuir la presencia de la plaga en campo, logrando un mejor control en



función de aplicaciones sucesivas y mayores concentraciones, cumpliendo así con el objetivo de evaluar su efecto en la incidencia del gusano cogollero.

Tercero: En cumplimiento del objetivo específico 3, se concluye que la aplicación de *Bacillus thuringiensis* incrementó de manera significativa el rendimiento del cultivo de maíz en comparación con el tratamiento testigo. Los tratamientos T2C6 (44 mL de *Bt* + 4356 mL de agua) y T1C5 (43.2 mL de *Bt* + 4356.8 mL de agua) alcanzaron rendimientos de 3.875 t/ha y 3.725 t/ha, respectivamente, siendo estadísticamente similares entre sí. Esto indica que ambas concentraciones fueron efectivas en el control del gusano cogollero, lo que se reflejó directamente en un mayor rendimiento del cultivo. En contraste, el tratamiento testigo (T3) obtuvo un rendimiento de 2.675 t/ha, valor claramente inferior debido a su mayor incidencia de *S. frugiperda*, lo que generó un mayor daño al cultivo, por ende, una menor producción. Estos resultados demuestran que el uso de *Bacillus thuringiensis* constituye una alternativa eficiente para mejorar el rendimiento del maíz bajo condiciones de campo.

6.2 Recomendaciones

Replicar los resultados obtenidos en toda la microcuenca de la comunidad campesina de Manasqui, con el fin de consolidar el uso del control biológico en la cadena productiva del maíz variedad Blanco Urubamba del Cusco. Esto permitirá validar su eficacia en diferentes condiciones agroecológicas y contribuir al incremento sostenible de los rendimientos y de los ingresos de los productores.

Profundizar en estudios de investigación que integren el control biológico con factores climáticos y el ciclo de vida de *Spodoptera frugiperda*, a fin de optimizar las concentraciones, momentos y métodos de aplicación del bioinoculante, garantizando su efectividad y sostenibilidad en el tiempo.

Se recomienda fomentar la aplicación de buenas prácticas agrícolas basadas en el control biológico, dado que constituyen una alternativa sostenible, segura para la salud humana, amigable con el medio ambiente y eficaz para prevenir la resistencia de las plagas a los insecticidas.

Se recomienda, para la mejorar el rendimiento del cultivo de maíz, la aplicación de los tratamientos T2C6: 44 mL de *Bt* + 4356 mL de agua destilada o T1C5: 43.2 mL de *Bt* +

4356.8 mL de agua destilada, dado que ambos presentaron una eficacia comparable sin diferencias estadísticas significativas entre sí. Estos tratamientos mostraron un control efectivo de *Spodoptera frugiperda* frente al testigo, evidenciado en la reducción de la incidencia larval y, en consecuencia, en el incremento del rendimiento del cultivo. La elección de cualquiera de estas concentraciones permite una estrategia de manejo integrado de plagas sostenible, favoreciendo la productividad agrícola.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, R., (2009) El cultivo del maíz, su origen y clasificación el maíz en cuba. revista "Cultivos Tropicales", Volumen vol. 30, p. 8.
- ALTAMIRA, F. (2020) 'Microorganismos con actividad entomopatógena', pp. 35–51. Obtenido de <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3iss11.2018pp18-23p>.
- AWASTHI, L.P. (2021) 'Biopesticides in Organic Farming', Biopesticides in Organic Farming [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003027690>.
- BABATIVA , C. A., (2017) Investigación Cuantitativa. Volumen Primera edición: noviembre de 2017, pp. 1-143.
- BARRAGAN, R., (2011) “Capacidad reproductiva de hembras de *Spodoptera frugiperda* provenientes de larvas tratadas con altas dosis de cipermetrina y deltametrina”.
- BARRETO-BARRIGA, O. et al. (2021) 'Differential biocontrol efficacy of the parasitoid wasp *Campoletis sonorensis* on the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* feeding on landrace and hybrid maize', Biocontrol Science and Technology, 31(7), pp. 713–724. Available at: <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1882386>.
- BERTEL AGUAS, P. y VILLERO MEZA, H., (2018) Evaluación de la eficiencia del *Bacillus thuringiensis* var. *Israelensis* cultivado en agua de coco intacto para el control de larvas del mosquito *Aedes aegypti*. Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Programa de Biología con Énfasis en Biotecnología, Sincelejo. Trabajo de grado.
- CABRERIZO , C., (2012) El maíz en la alimentación Humana”. Disponible en: www.infoagro.com. Consultado el 17/08/2012. s.l.:s.n.



- CARRERA, M. d. L., (2009) Producción De *Bacillus Thuringiensis*, Berliner A Nivel De Laboratorio. Riobamba- Ecuador: s.n.
- CARRERAS, B. et al. (2008) ‘La morfología de los cuerpos paraesporales y su relación con la actividad biológica en cepas cubanas de *Bacillus Thuringiensis*’, Revista CENIC .Ciencias Biológicas, 39(2), pp. 105–108.
- CIAT (2005) Manual para el manejo integrado de plagas en maíz.
- DAVALOS, A. (2013) ‘Diversidad de maíz en la selva peruana’.
- Day, R. et al. (2017) ‘Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa’, Outlooks on Pest Management, 28(5), pp. 196–201. Available at: https://doi.org/https://doi.org/10.1564/v28_oct_02.
- DELGADO, J. (2018) ‘Evaluación agronómica, morfológica y aptitud harinera de variedades tradicionales de maíz (*Zea mays* L.)’, Escuela Politécnica Superior De Ingeniería Sección De Ingeniería Agraria Grado En Ingeniería Agrícola Y Del Medio Rural, p. 202.
- DELGADO, J. R., (2011) “Aislamiento y Caracterización de Cepas de *Bacillus Thuringiensis* Con actividad Mosquitocida Nativas de Oaxaca”, Mexico: S.N.
- DROUET CANDELL, A. (2018) ‘Efecto de la aplicación de *Bacillus Thuringiensis* en el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) del híbrido de Maíz (*Zea mays*) INIAP H-551 en la comuna Río Verde provincia de Santa Elena’, Revista Científica y Tecnológica UPSE, 5(1), pp. 47–56. Available at: <https://doi.org/10.26423/rctu.v5i1.312>.
- ERRIGTON, J., (2003) Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. Nature Reviews Microbiology, pp. 1:117-126.
- FERNÁNDEZ, L. (2009): Identificación de razas de maíz (*Zea mays* L.) presentes en el germoplasma cubano. La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. INIFAT.



- GALITSKY, N. y otros, (2001) Structure of the insecticidal bacterial d-endotoxin Cry3Bb1 of *Bacillus Thuringiensis*. Acta Cryst. 2001; D57:1101–1109. Pangborn W, English L.
- GARCIA MENDOZA, P.J. (2017) ‘El cultivo del maíz en el mundo y en Perú “The cultivation of corn in the world and in Peru”’, Peru, 1(0), pp. 1–7. Available at: file:///C:/Users/DELL/Downloads/65-Texto del artículo-557-1-10-20200609 (2).pdf.
- GARCIA, P. J., (2017) El cultivo del maíz en el mundo y en Perú - “The cultivation of corn in the world and in Peru”. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas en el estado portuguesa (INIA –portuguesa), Venezuela, especialista en el área de Mejoramiento Genético de Plantas., p. 7.
- GONZÁLEZ, M., Gurrola, J.N. and Chaírez, I. (2015) ‘Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)’, Revista Colombiana de Entomología, 41(2), pp. 200–204.
- GUACHO, E. F., (2014) “Caracterización Agro-Morfológica Del Maíz (*Zea Mays* L.) De La Localidad San José De Chazo.”. Riobamba Ecuador: s.n.
- GUTIERREZ, E.B. (2017) “Control Biológico De Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) Y Mazorquero (*Heliothis* *Zea*) En El Cultivo De Maíz Amiláceo (*Zea Mays* L.), En La Localidad De Maucacalle Abancay – Apurímac. Abancay-Apurímac: S.N.”
- GUZMAN, D. A., RODRIGUEZ, J., & Valencia, S. J. (2016) “Identificación de Estadios Larvales de Lepidópteros Plaga de Maíz. CIAT, Colombia”.
- HARDKE JT, GM, L. & R., L., (2015) Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in Southeastern cotton. Journal of Integrated Pest Management, 6(1): 10.
- HERNANDEZ, R., FERNANDEZ COLLADO, C. & BAPTISTA, P., (2015) Metodología de la investigación. Volumen 6ta edición.
- HERNANDEZ, A., ESTRADA, B., RODRIGUEZ, R. & PATIÑO, J. M., (2020) Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=2007-



0934&lng=es&nrm=iso, Volumen ev. Mex. Cienc. Agríc vol.10 no.4 Texcoco may./jun. 2019 Epub 22-Mayo-2020.

HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, P. Bel, Y., Ferré, J. (2020) “*Bacillus Thuringiensis* Toxins: Functional Characterization and Mechanism of Action.”, Toxins. Switzerland. Available at: <https://doi.org/10.3390/toxins12120785>.

HERNÁNDEZ-TREJO, A. et al. (2019) ‘Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.)’, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(4), pp. 803–813. Available at: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>.

IICA (2018). Lineamientos técnicos para el monitoreo de *Spodoptera frugiperda* en maíz.

INDECOPI (2005) ‘Indecopi maíz blanco.pdf’.

INIA, (2013) Manual Técnico Maiz Blanco Urubamba (Blanco Gigante Cusco). Primera Edición Ed. Cusco: Programa Nacional de Medios y Comunicación Técnica.

INTA, (2018) Los Entomopatógenos, Control Biológico de Plagas.

JIMÉNEZ, J., (2016) Manual de identificación de plagas agrícolas. Lima: Editorial Agraria.

JUAREZ, P., (2021) Actividad Bioinsecticida del Hongo Entomopatógeno *Metarhizium rileyi* y de la Bacteria *Bacillus Thuringiensis*, Contra Larvas de Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en Condiciones de Laboratorio.

LOPEZ, S. (2013). Modelo de acción de proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* basado en señalización celular.

LOPEZ, S. A., (2015). modelo de acción de proteínas Cry DE *Bacillus Thuringiensis* basado en señalización celular.

MAKGOBA, M.C. et al. (2021) ‘Impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J.E. Smith) on small-scale maize farmers and its control strategies in the Limpopo



province, South Africa', Jamba: Journal of Disaster Risk Studies, 13(1), pp. 1–9.
Available at: <https://doi.org/10.4102/JAMBA.V13I1.1016>.

MAMANI, N. B. Z., (2020) Control Biológico Del Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) Lepidóptera: Noctuidae) con dos Concentraciones de *Beauveria Bassiana* En Tres Variedades De Maíz (Zea Mays L.) En La Estacion Experimental De Sapecho. La Paz – Bolivia: s.n.

MARTINEZ (2021) 'Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J . E . Smith)', Dirección General De Sanidad Vegetal Centro Nacional De Referencia Fitosanitaria, p. 25p.

NAGUA (2016) 'Unidad académica de ciencias agropecuarias carrera de ingeniería agronómica'.

NAVARRO GLADYS, R.H. (2011) 'Estudio de caso Denominación de Origen del maíz blanco gigante Cusco', p. 31. Available at: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/89251>.

OGAWA, K., 1986. *Métodos de evaluación de incidencia en plagas agrícolas*. Tokio: Universidad de Agricultura de Tokio.

PARDO, L., SOBERON, M. & BRAVO, A., (2013) Toxinas Cry insecticidas de tres dominios de *Bacillus Thuringiensis* : modo de acción, resistencia de insectos y consecuencias para la protección de cultivos. 37(1), p. 3–22.

PARRA, COTA, B., GARCIA, M., GONZALES, VILLAREAL, S., & VILLARREAL, DELGADO, S. (2024). El género *Bacillus* como agente de control biológico de plagas y patógenos para una agricultura sostenible. doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-34

PERALTA, R. & LUNA, M., (2019) Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz Bases para su manejo y control en sistemas de producción.

PINOS, D. & HERNANDEZ, P., (2019) Modo de acción de las proteínas Insecticidas De *Bacillus Thuringiensis*.



- PIONNER, (2015) Crecimiento y desarrollo del maíz-Pioneer Hi-Bred International, obtenido de: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central
- POLANCZYK, RICARDO ANTONIO , DA SILVA, OGÉRIO FERNANDO PIRES Y FIUZA, LIDIA MARIANA. (2013). Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* strains against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). BARASIL : Brazilian Journal of Microbiology, 2013. págs. 31(3), 165–169.
- PROAIN. (2020). Ciclo biológico del gusano cogollero. Obtenido de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/ciclo-biologico-del-gusano-cogollero>.
- QUEVEDO, S., (2013). Manual Técnico Maíz Blanco Urubamba (Blanco Gigante Cusco).
- RAAJIMAKERS, J. & Mazzola, M., (2012). Diversity and Natural Functions of Antibiotics Produced by Beneficial and Plant Pathogenic Bacteria. Annual Review of Phytopathology. pp. 50, 403-424.
- RAMÍREZ, R., (2005). *Metodologías de evaluación de plagas agrícolas en cultivos andinos*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- REYES, P. J., (2021). Actividad Bioinsecticida del Hongo Entomopatógeno *Metarhizium rileyi* y de la Bacteria *Bacillus Thuringiensis*, Contra Larvas de Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en Condiciones de Laboratorio, Mexico: s.n.
- RIVERA, G. & RIVEROS , H., (2008). Estudio de caso sobre el proceso de obtención de la Denominación de Origen del Maíz Blanco Gigante Cusco – Perú y principales logros alcanzados. (FAO, Ed.) Perú p. 48 P.
- SALGUERO, S. M., (2021). Determinación de la eficacia de *Bacillus thuringiensis* para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz en aldea las trochas, Nueva Concepcion, Escuintla.
- SÁNCHEZ, I. (2014) ‘Maíz I (*Zea mays*)’, Reduca (Biología). Serie Botánica, 7(2), pp. 151–171.



- 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*, 40-124-140.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ – SENAMHI SENAMHI, (2012). Manual de observaciones fenológicas. Lima -Peru.
- SENASICA, (2015). Estrategia Estatal Para El Control De Gusano Cogollero En Guanajuato. Guanajuato-Mexico: s.n.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD AGRARIA (SENASA), (2017). Manual de procedimientos para la evaluación de plagas agrícolas. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- SNEATH, Williams & Wilkins & Baltimore, 1986. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Williams & Wilkins. Baltimore. Volumen Vol.2, pp. pp. 1105, 1106, 1135.
- SUASNABAR, J., QUISPE, A. y HUAMÁN, L., (2021). Fichas técnicas de reconocimiento de plagas agrícolas. Cusco: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- TEJERA, B. & ROJAS, M., (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 42(núm. 3), pp. , pp. 131-138. www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf
- VALDEZ TORRES, J. B., SOTO LONDEROS, F., OSUNA ENCISO, T. & BAEZ SAÑUDO, M. A., (2012). Modelos De Predicción Fenológica Para Maíz Blanco (*Zea Mays* L.) Y Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith. Phenological Prediction Models For White Corn (*Zea Mays* L.) And Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), mayo-junio, vol. 46(núm. 4), pp. pp. 399-410.
- VALVERDE, A., CORNEJO, A., CARBAJAL, K. K., CORDOVA, H., & JACOBO, S. S. (2020). Importancia de los entomopatógenos en el control de la plaga *Spodoptera*



frugiperda (smith) en el cultivo del maíz morado Rebiol 42(2):206-217. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.02.08>.

VILLARREAL, M. F., VILLA, E. D., CIRA, L. A. & ESTRADA, M. I., (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. Revista Mexicana de FITOPATOLOGÍA, p. 36. pp. 95–130. Available at: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1706-5>.

YZARRA, W. J., (2012). Manual De Observaciones Fenológicas. Peru: s.n. Zanga, N.B. (2020) 'Universidad mayor de san andrés facultad de agronomía carrera de ingeniería agronómica tesis de grado'.

GOOGLE EARTH. *Google Earth* [en línea]. Vista en: (2024). Coordenadas consultadas: 0°, -42.8931°. Disponible en: <https://earth.google.com/web/>



ANEXOS



ANEXO 1 — Cuantificación y registro de *Spodoptera frugiperda* en el área experimentalTabla 33 — Larvas de *Spodoptera frugiperda* primera evaluación a los 27 días

BLOQUES	T1: C1 19.7 mL de Bt + 1980.3 mL de agua destilada			T2: C2 20 mL de Bt + 1980 mL de agua destilada			Testigo (sin control)		
	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación
I	10	9	4	8	6	3	7	3	8
II	7	6	4	7	7	3	6	2	8
III	9	7	5	9	7	3	8	2	7
IV	6	6	4	7	6	3	9	3	8
	32	28	17	31	26	12	30	10	31

NOTA

El texto reporta los datos de campo sobre la densidad larval de *Spodoptera frugiperda* antes y después de la aplicación de *Bacillus thuringiensis*. Se registraron únicamente larvas de segundo estadio a los 27 días.

FUENTE

Claves

T Tratamiento
C Concentración
mL Mililitro
Bt *Bacillus thuringiensis*

Tabla 34 — Larvas de *Spodoptera frugiperda* en la segunda evaluación.

BLOQUES	T1: C3 29.5 mL de Bt + 2970.5 mL de agua destilada			T2: C4 30 mL de Bt + 2970 mL de agua destilada			Testigo (sin control)		
	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación
I	7	5	2	9	3	2	6	0	6
II	12	5	5	4	5	1	5	2	5
III	11	8	3	6	5	1	6	0	4
IV	5	5	2	9	5	3	11	2	11
Total	35	23	12	28	18	7	28	4	26

NOTA

El texto presenta los datos de campo sobre larvas de *Spodoptera frugiperda* registradas antes y después de la aplicación de *Bacillus thuringiensis*. Las observaciones corresponden a larvas en estadios II y III, evaluadas a los 43 días después de la siembra.

FUENTE

Claves

T Tratamiento
C Concentración
mL Mililitro
Bt *Bacillus thuringiensis*



Tabla 35 — Larvas de *Spodoptera frugiperda* en la tercera evaluación.

BLOQUES	T1: C5 43.2 mL de Bt + 4356.8 mL de agua destilada			T2: C6 44 mL de Bt + 4356 mL de agua destilada			Testigo (sin control)		
	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación	Larvas antes de la aplicación	Larvas muertas después de la aplicación	Larvas vivas después de la aplicación
I	5	2	1	9	2	1	3	1	2
II	6	1	1	7	1	1	2	0	1
III	3	2	1	4	2	1	3	2	2
IV	5	2	2	3	2	1	2	0	2
Total	19	7	5	23	7	4	10	3	7

NOTA
El texto presenta los datos de campo sobre el número de larvas a los 59 días después de la siembra.

FUENTE

Claves
T Tratamiento
C Concentración
mL Mililitro
Bt *Bacillus thuringiensis*

ANEXO 2 — Operacionalización de variables**Tabla 36 — Operacionalización de variables**

Variables	Definición	Indicadores	Índices
Variable independiente: Bioinoculante <i>Bacillus thuringiensis</i> .	Suspensión bacteriana que contiene microorganismo biológico (<i>Bacillus thuringiensis</i>), empleado para el control del gusano cogollero.	Aplicación 1: C1 y C2 Aplicación 2: C3 y C4 Aplicación 3: C5 y C6	mL mL mL
Variables dependientes: Mortalidad de gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).	Porcentaje de larvas muertas en el cultivo de maíz como resultado del efecto del <i>Bacillus thuringiensis</i> ,	Larvas muertas	%
Incidencia del gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Plantas de maíz afectadas por las larvas de gusano cogollero, misma que se expresa “número de unidades en una muestra”	Plantas afectadas y no afectadas	%
Rendimiento del maíz	Cantidad producida en la parcela de maíz en un período expresado en términos de toneladas por hectárea (t/ha) indicador clave para los agricultores.	Peso en grano	t/ha

NOTA
El texto muestra la operacionalización de las variables del estudio, detallando sus definiciones, indicadores e índices para medir.

FUENTE

Claves
% Porcentaje
T/ha Toneladas por hectárea
mL Mililitro



ANEXO 3 — Matriz de consistencia

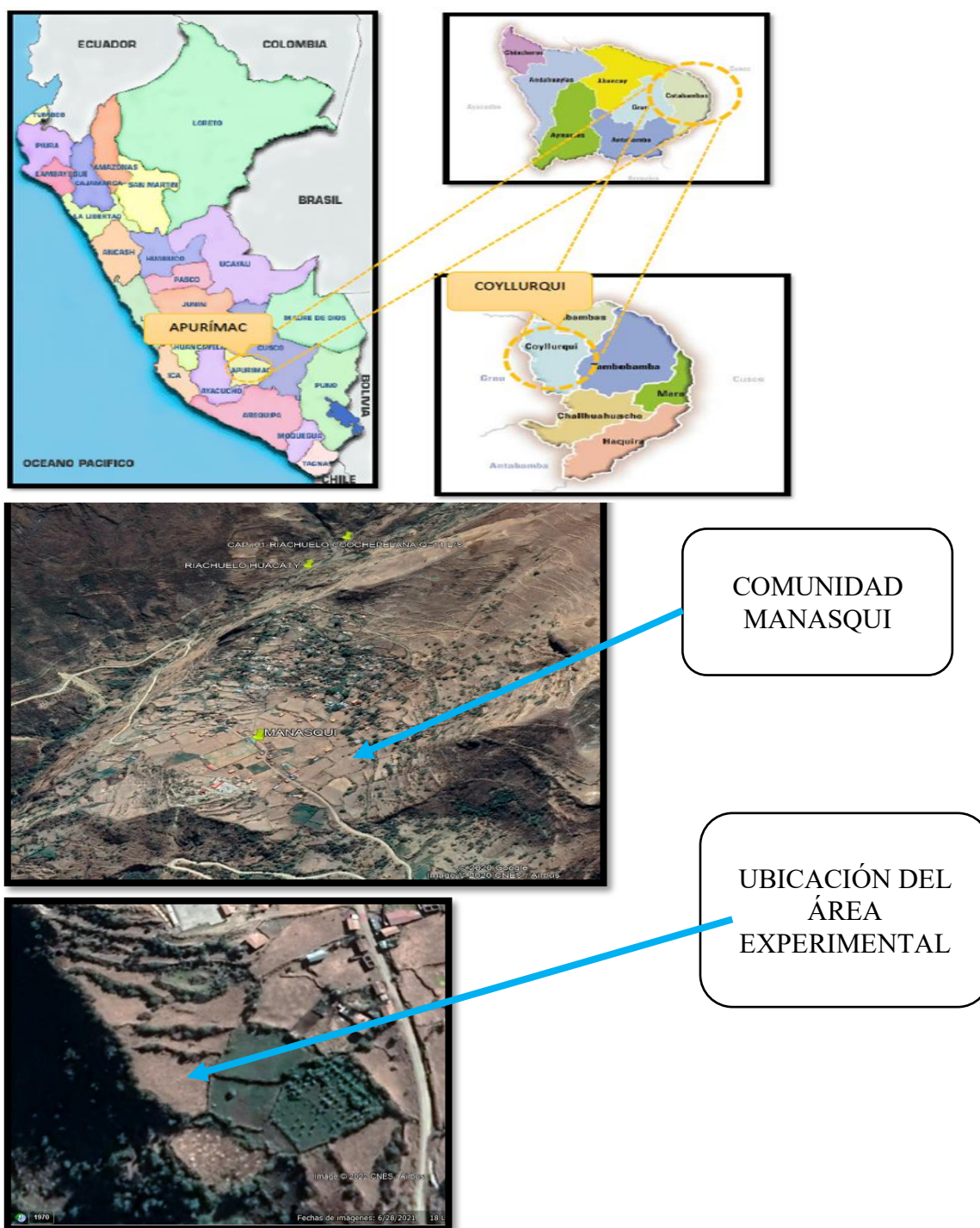
Título: Efecto de la actividad biológica de *Bacillus thuringiensis* en el control del cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en la fase vegetativa del maíz, en la comunidad de Manasqui – Coyllurqui -Cotabambas -Apuímac.

Tabla 37 — Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema general ¿Qué efecto tiene la actividad biológica de <i>Bacillus thuringiensis</i> en el control del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, Coyllurqui?	Objetivo general Evaluar el efecto de la actividad biológica de <i>Bacillus thuringiensis</i> en el control del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito de Coyllurqui	Hipótesis general La aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i> tiene un efecto biológico significativo en el control del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Variable independiente: Bioinoculante <i>Bacillus thuringiensis</i> .
Problemas específicos 1 ¿Cuál es el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la mortalidad del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?	Objetivos específicos 1 Evaluar el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la mortalidad del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Hipótesis específicas 1 La aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i> a diferentes concentraciones presenta variaciones significativas en la mortalidad del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Variable dependiente: Mortalidad del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).
Problemas específicos 2 ¿Cuál es el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la incidencia del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?	Objetivos específicos 2 Determinar el efecto de la actividad biológica de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la incidencia del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Hipótesis específicas 2 Al menos una de las concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> tuvo mayor efecto en la incidencia del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en la fase vegetativa del maíz en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Incidencia del cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)
Problemas específicos 3 ¿Cuál es el rendimiento del maíz como efecto de la aplicación de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui?	Objetivos específicos 3 Determinar el rendimiento de la producción de maíz por medio de la aplicación de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Hipótesis específicas 3 Existen diferencias significativas en el rendimiento de la producción de maíz, por medio de la aplicación de las diferentes concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i> en la comunidad de Manasqui, distrito Coyllurqui.	Rendimiento del cultivo de maíz
NOTA El texto muestra la matriz de consistencia, la relación entre los objetivos, las variables y los métodos empleados en el estudio. FUENTE Claves			



ANEXO 4 — Mapa de ubicación geográfica de la investigación



Claves

NOTA

La figura muestra el mapa nacional, regional, provincial, distrital y comunal que ubica geográficamente el área donde se desarrolló la investigación.

FUENTE: Extraído de Google Earth (2024).

Figura 31 — Mapa de ubicación geográfica de la investigación

ANEXO 5 — Ubicación hidrográfica

Tabla 38 — Ubicación hidrográfica del estudio

Ubicación	Localidad
Zona agroecológica	Sierra sub tropical
Cuenca hidrográfica	Rio Vilcabamba – Rio Palcca
Clima	Semi seco
Latitud	13° 54' 21"
Longitud	72° 27' 19"
NOTA El texto presenta la ubicación hidrográfica correspondiente al área donde se llevó a cabo la investigación, detalla el entorno hídrico que caracteriza la zona de estudio. FUENTE: Plan de desarrollo concertado Coyllurqui (2022). Claves ° Grados ' Minutos " Segundos	

ANEXO 6 — Coordenadas geográficas

Tabla 39 — Coordenadas geográficas del estudio

CORDENADAS GEOGRAFICAS			
LUGAR	ESTE	NORTE	ALTITUD
Comunidad de Manasqui	774980.94 m	8461297.67 m	2950 msnm
NOTA El texto presenta las coordenadas geográficas correspondientes al espacio geográfico donde se desarrolló el estudio. Fuente: Plan de desarrollo concertado Coyllurqui (2022). Claves M Metro msnm Metros sobre el nivel del mar			

ANEXO 7 — Cronograma de actividades

Tabla 40 — Cronograma de actividades de la investigación

Descripción de las etapas de la investigación	Fecha
ETAPA I ubicación e instalación	
Diseño y trazado del área experimental	20/06/2024
ETAPA II labores culturales	
Limpieza y acondicionamiento del terreno	15/06/2024
Riego	15/06/2024
Barbecho	17/06/2024
ETAPA III siembra	
Surcado y abonado	1/07/2024
Siembra	26/07/2024
ETAPA III obtención del bioinoculante <i>Bacillus thuringiensis</i>	
Obtención del bioinoculante	15/08/2024
Preparación de materiales	15/08/2024
Preparación del medio de cultivo	15/08/2024
Esterilización del medio de cultivo e instrumentos del laboratorio	15/08/2024
Plaqueo y entubado de medio de cultivo	15/08/2024
Siembra del medio de cultivo	15/08/2024
Cosecha de microorganismos de <i>Bacillus thuringiensis</i>	17/08/2024
ETAPA IV preparación del bioinoculante <i>Bacillus thuringiensis</i>	
Preparación de las concentraciones de <i>Bacillus thuringiensis</i>	18/08/2024
ETAPA V aplicaciones de <i>Bacillus thuringiensis</i>	
Primera aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>	19/08/2024
Segunda aplicación <i>Bacillus thuringiensis</i>	4/09/2024
Tercera aplicación <i>Bacillus thuringiensis</i>	20/09/2024
ETAPA VI evaluaciones	
Mortalidad de larvas	
Primera evaluación	22/08/2024
Segunda evaluación	7/09/2024
Tercera evaluación	23/09/2024
Incidencia de larvas	
Primera evaluación	14/08/2024
Segunda evaluación	3/09/2024
Tercera evaluación	14/09/2025
Rendimiento	27/11/2024
NOTA El texto presenta el cronograma de actividades ejecutadas durante el desarrollo de la investigación, organizado según el calendario establecido. FUENTE Claves	

ANEXO 8 — Presupuesto bienes, servicios, insumos, equipos y/o materiales

Tabla 41 — Presupuesto de bienes, servicios e insumos empleados en la investigación.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Parcial
1	BIENES				S/ 1,170.00
2	Material biológico				
3	Semilla de maíz (Var. BGC)	Kg	15	10	S/ 150.00
4	Cepas de (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	Pqt	3	200	S/ 600.00
5	Insumos				S/ -
6	Estiércol de cuy	Saco/ 50 kg	3	30	S/ 90.00
7	Herramientas				S/ -
8	Asperjadoras	Und	10	5	S/ 50.00
9	Balde de 4 L	Und	2	5	S/ 10.00
10	Balde de 20 L	und	2	8	S/ 16.00
11	Herramientas manuales	Gbl	1	100	S/ 100.00
12	Materiales de escritorio				S/ -
13	Papel bond	millar	1	36	S/ 36.00
14	Cuaderno de campo	und	3	5	S/ 15.00
15	Bolígrafo	und	5	2.5	S/ 12.50
16	Plumón indeleble	und	5	3	S/ 15.00
17	Tablero	und	2	5	S/ 10.00
18	Fólder manila	pqt	1	8	S/ 8.00
19	Micas transparentes	und	15	1.5	S/ 22.50
20	Memoria USB 16 GB	und	1	35	S/ 35.00
21	SERVICIOS				S/ 2,425.00
22	Ser. transporte provincial	ser.	6	200	S/ 1,200.00
23	Ser. transporte local	ser.	4	100	S/ 400.00
24	Instalación de programas estadísticos	gbl	1	200	S/ 200.00
25	Impresión de tesis	anillado	5	45	S/ 225.00
26	Empastado de tesis	empastado	2	80	S/ 160.00
27	Mano de obra	ser.	6	40	S/ 240.00
Fuente de financiamiento		Autofinanciado por la tesista			S/ -
TOTAL					S/ 3,595.00
NOTA					
El texto muestra el presupuesto destinado a los bienes, servicios, insumos, equipos y materiales empleados en la ejecución de la investigación.					
FUENTE					
Claves					

ANEXO 9 — Registro fotográfico de trabajos en campo

Fotografía 01— Trazado del campo experimental (parcela experimental)



Fotografía 02 — Acondicionado del suelo o barbecho



Fotografía 04 — Surcado de las unidades experimentales



Fotografía 05 — Abonamiento de fondo con fuentes orgánicas (estiércol de cuy)



Fotografía 06 — Siembra del cultivo de maíz



Fotografía 7 — Codificación de los tratamientos y los bloques en el área experimental



Fotografías 8 — Planta con corte de cogollo en el tratamiento testigo



Fotografía 11 — Primera aplicación del bioinoculante de *Bacillus thuringiensis*



Fotografía 12 — Evaluación y registro de larvas encontradas



Fotografía 13 — Larvas vivas encontradas antes de la segunda aplicación



Fotografía 14 — Segunda aplicación del bioinoculante *Babacillus thuringiensis*



Fotografía 15 — Larvas muertas después de la segunda aplicación



Fotografía 16 — Larvas vivas antes de la tercera aplicación



Fotografía 17 — Tercera aplicación del bioinoculante *Bacillus thuringiensis*



Fotografía 18 — Larvas muertas después de la tercera aplicación



Fotografía 19 — Larvas de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* de segundo estadio



Fotografía 20 — Larvas de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* de tercer estadio



Fotografía 21 — Larvas de de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* cuarto estadio



Fotografía 22 — Larvas de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* mimetizado en el suelo



Fotografía 23 — Larvas muertas del gusano cogollero con la aplicación *Bacillus thuringiensis*



Fotografía 24 — Cosecha del cultivo de maíz



Fotografía 25 — Cosecha del cultivo de maíz



Fotografía 26 — Cosecha del cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 01



Fotografía 27 — Cosecha del cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 02



Fotografía 28— Cosecha del cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 03



Fotografía 29 — Pesado del maíz (kg)



ANEXO 8 — Registro fotográfico de trabajo en laboratorio

Fotografía 01 — Pesado de medio de cultivo Agar Tripticasa de Soya (ATS)



Fotografía 02 — Preparación del medio de cultivo y otros materiales para el autoclavado



Fotografía 03 — Autoclavado de los materiales



Fotografía 04 — Materiales auto clavados listos para el siguiente procedimiento



Fotografía 05 — Plaqueo del medio de cultivo



Fotografía 07 — Siembra (método por estrías) de *Bacillus truringiensis* en medio de cultivo



Fotografía 08 — Incubación a 25°C de cultivo de *Bacillus truringiensis* en medio de cultivo



Fotografía 09 — Preparación de *B.thuringiensis* después 48 horas



ANEXO 10 — Identificación de larvas de *Spodoptera frugiperda*

Fotografía 01 — Materiales



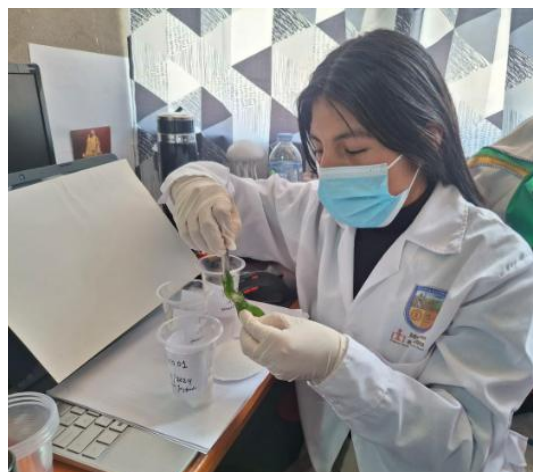
Fotografía 02 — Rotulado



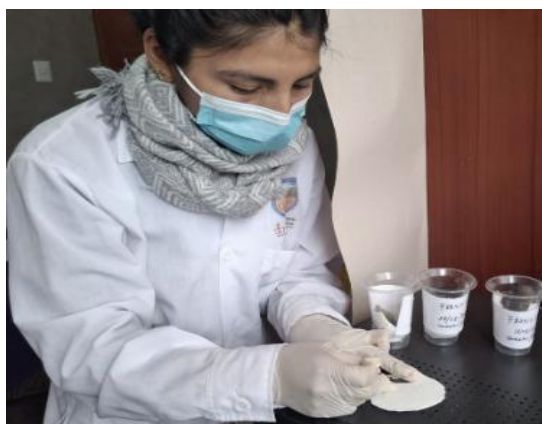
Fotografía 03 — Colocación de huevos *Sf*



Fotografía 04 — Colocación de huevos *Sf*



Fotografía 05 — Observación de las larvas



Fotografía 06 — Restos fecales de *Sf*



Fotografía 07 — Observación de las larvas



Fotografía 08 — Observación de las larvas



Fotografía 09 — Observación de las larvas



Fotografía 10 — Observación de las larvas



Fotografía 11 — Pupa



Fotografía 12 — Adultos



ANEXO 11 — Fichas de evaluación



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE
APURÍMAC
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

EVALUACIONES

Estudio de Investigación:

Cultivo: _____ Variedad: _____

Fecha de siembra: _____

Evaluación de la población de cogollero: larvas juveniles

Parte de la planta con presencia de la plaga: _____

Fecha primera aplicación: _____

Días después de la siembra: _____

Días después de la emergencia: _____

Bloques	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Testigo		
	N° LAA	N° LMDA	N° LP	N° LAA	N° LMDA	N° LP	N° L	N° L	N° L
I									
II									
III									
IV									

Elaboración: Equipo investigador.

Leyenda:

N° LAA: número larvas antes de la aplicación.
 N° LMDA: número larvas muertas después de la aplicación.
 N° LP: número larvas en la planta.
 N° L: número larvas (sin evaluación).

Claves

N° LAA Número de larvas antes de la aplicación
 N° LMDA Número de larvas muertas después de la aplicación
 N° LP Número de larvas en la planta
 N° L Número de larvas

NOTA

La figura muestra la ficha de evaluación empleada para recolectar, de forma resumida, los datos de campo obtenidos en cada aplicación de *Bacillus thuringiensis*.

FUENTE

Figura 32 — Ficha de evaluación resumido



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL



FICHA DE EVALUACION

Estudio de Investigación:

Cultivo: _____ Variedad: _____

Fecha de siembra: _____ Días después de la siembra: _____ Días después de emergencia: _____

Fase fenológica: _____

Fecha de la primera aplicación del bioinoculante: _____

Bloque: _____

Tratamiento: _____

Época de aplicación: _____ Fecha de evaluación: _____

N° DE PLANTAS	LAA	N° LMDA	N° LP	Cogollos cortados	Hojas agujeradas	Tallos agujerados
P1 BI T1						
P2 BI T1						
P3 BI T1						
P4 BI T1						
P5 BI T1						
P6 BI T1						
P7 BI T1						
P8 BI T1						
P9 BI T1						
P10 BI T1						
P11 BI T1						
P12 BI T1						
P13 BI T1						
P14 BI T1						
P15 BI T1						
P16 BI T1						
P17 BI T1						
P18 BI T1						
P19 BI T1						
P20 BI T1						
P21 BI T1						
P22 BI T1						
P23 BI T1						
P24 BI T1						
P25 BI T1						
P26 BI T1						
P27 BI T1						
P28 BI T1						

OBSERVACIONES:

Claves

P Plantas
 B Bloques
 T Tratamientos

NOTA

La figura presenta la ficha de evaluación utilizada para registrar de manera completa los datos de campo de cada unidad experimental.

FUENTE

Figura 33 — Ficha de evaluación general

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRICOLA Y
DESARROLLO RURAL
"NACION DEL FORTALECIMIENTO DE LA ECONOMIA NACIONAL"
FICHA DE EVALUACION

Estado de Investigación: **Variedad: *Gran cacaotero (CC)***

Cultivo: **café** Variedad: **Gran cacaotero (CC)**

Fecha de siembra: **11/01/12** Días después de la siembra: **12** Días después de emergencia: **12**

Fase fenológica: **Desarrollo vegetativo**

Fecha de la primera aplicación del biotoculante: **05-12-2012**

Bloque: **01**

Tratamiento: **T2**

Epoca de aplicación: **12**

Fecha de evaluación: **12**

N° DE PLANTAS	LAA	N° LMDA	N° LP	Cogullos cortados	Hojas agujeradas	Tallos agujerados
01 01 T2					1	
02 01 T2	01		01		1	
03 01 T2		01			1	
04 01 T2	01				1	1
05 01 T2	01	02		01	1	1
06 01 T2						
07 01 T2					1	
08 01 T2		01	01			
09 01 T2				01	1	1
10 01 T2						
11 01 T2	01				1	
12 01 T2		01				
13 01 T2						
14 01 T2					1	
15 01 T2	02					
16 01 T2						
17 01 T2			01		1	
18 01 T2					1	
19 01 T2	01	01				
20 01 T2						
21	3	4	3	2	11	3
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						

OBSERVACIONES:

Claves

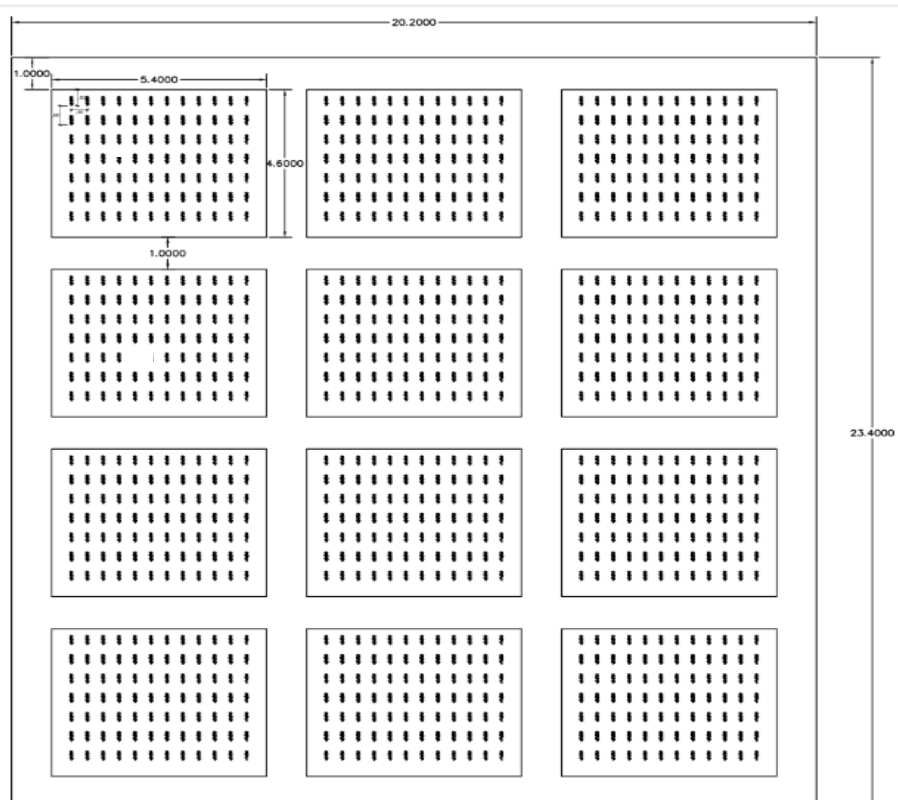
- N° LAA Número de larvas antes de la aplicación
 N° LMDA Número de larvas muertas después de la aplicación
 N° LP Número de larvas en la planta
 B Bloques

NOTA

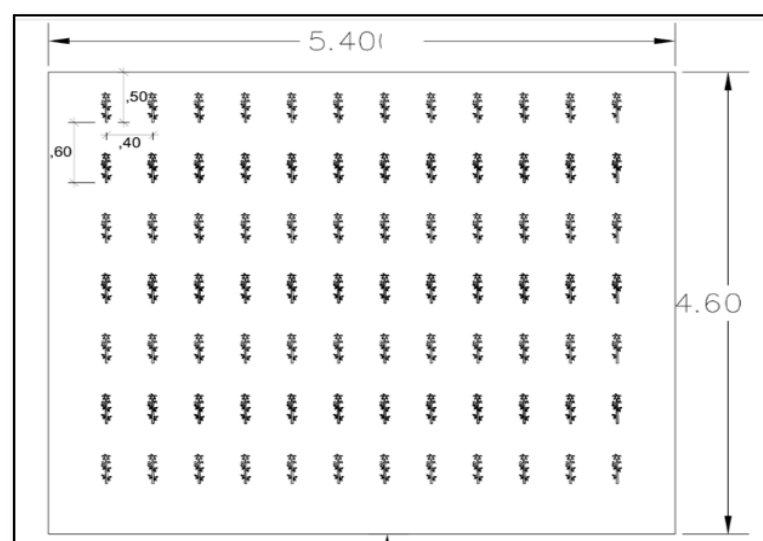
La figura presenta la ficha de evaluación utilizada para registrar los datos de campo correspondientes a cada unidad experimental de las plantas codificadas.

Figura 34 — Ficha de evaluación con datos de campo

ANEXO 12 — Croquis del campo experimental



Croquis de la unidad experimental



Claves

Entre bloques 1.00 metros
Entre unidades experimentales 1.00 metros

NOTA

La imagen presenta el diseño del área experimental, organizada en cuatro bloques y doce unidades experimentales.

FUENTE

Figura 35 — Croquis del campo experimental

ANEXO 13 — Análisis de suelo


**LABORATORIO DE ANALISIS
QUIMICO, FISICO DE SUELOS
AGUAS Y PLANTAS**

CALLE ALMAGRO N° 190
TELF. 277471 - CEL. 984 163025
SAN JERÓNIMO - CUSCO


INFORME DE ANÁLISIS

TIPO DE ANÁLISIS : FERTILIDAD Y MECÁNICO.
PROCEDENCIA DE MUESTRA : COMUNIDAD DE MANASQUI - DISTRITO DE COYLLURQUI - COTABAMBAS.
INSTITUCION SOLICITANTE : DALILA MARTÍNEZ OCAÑA

ANÁLISIS DE FERTILIDAD:

N°	Clave	mmhos/cm C.E.	PH	% CaCO ₃	% M. ORG.	% N. TOTAL	Ppm P205	Ppm K20
01	C. Manasqui	0.64	6.43	-	4.56	0.32	3.5	480

ANÁLISIS MECÁNICO:

N°	Clave	% Arena	% Limo	% Arcilla	CLASE - TEXTURAL
01	C. Manasqui	29.66	30.24	28.00	Franco arenoso

Cusco, 12 de febrero del 2025


ING. AGRO. Marco Antonio Yapura Cuyo
CIP - 217901
ESP. QUIMICA DE SUELOS Y FERTILIZANTES




HAUSTO YAPURA CONDORI
ANALIST. QUIMICA DE SUELOS AGUAS Y PLANTAS

ANEXO 14 — Ficha técnica de evaluación del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Nombre común: Gusano Cogollero	Nombre científico: <i>Spodoptera frugiperda</i>
Descripción: El gusano cogollero es una especie polífaga, genera daños esencialmente a los cultivos de maíz y sorgo. (QUEVEDO, 2013) Hospederos: Se reporta un total de 186 hospedantes para <i>S. frugiperda</i>, repartidos en 42 familias. Entre ellas la familia poaceae (35.5%), seguida de las familias fabaceae (11.3%), solanaceae (4.3), asteraceae (4.3%), Rosaceae (3.7 %) y Chenopodiaceae (3.7%).(Martínez, 2021). Comportamiento: las larvas de mayor estadio presentan comportamiento caníbal intraespecífico sobre las de menor tamaño. Larvas: Desde emergidas hasta el segundo estadio generan raspaduras en la epidermis de las hojas y causar defoliaciones leves. Las larvas, del tercero en adelante ocasionan defoliaciones de leves a severas, realizan cortes a las plantas pequeñas de maíz, En infestaciones múltiples de <i>Spodoptera frugiperda</i> en una misma planta.	Morfología: Estadio larval 1: Presentan la cabeza más grande que el resto de su cuerpo. Además, las setas (vellosidades) en todo su cuerpo son muy perceptibles. Estadio larval 2: Lucen completamente hialinas, y los tubérculos de donde se despegan las setas se hacen más notorios. Estadio larval 3: En este estadio, se inicia a desarrollar una coloración rojiza por todo su cuerpo. Estadio larval 4: La larva presenta tubérculos casi incoloros, de la misma forma, su cabeza muestra una tonalidad clara, se define completamente la “Y” invertida o sutura epicraneal de la cabeza. Estadio larval 5: La larva toma un color café oscuro, al tiempo que sus setas son muy poco visibles. Estadio larval 6: En este estadio las larvas presentan una apariencia robusta, con una tonalidad brillante. Adulto (macho) ♂: El macho se identifica por tener coloraciones en sus alas anteriores. Adulto (hembra): La hembra se caracteriza por poseer mayor tamaño que el macho y su coloración es parda. GUZMAN, et al., 2016.
Ciclo de Desarrollo: El gusano cogollero tiene varias generaciones por año, su ciclo biológico consiste en huevo, seis o siete estadios larvarios, pupa y adulto, mismas que tienen la siguiente duración: Pupa: de 7 a 13 días; larvas tiene 6 instares: 14 a 22 días; Adulto: Hembras de 10 a 12 días; Huevecillos: 3 a 5 días, PROAIN, 2020.	
Estado fenológico del maíz que afecta: En los primeros días de desarrollo de la planta, la larva puede actuar cortando la planta cerca del suelo (como cortadora), o defoliándola parcial o por completo, de tal forma puede causar la muerte de la planta. (QUEVEDO, 2013)	Daños: El daño que ocasiona <i>Spodoptera frugiperda</i> en el cultivo de maíz se caracterizarse por corte de plantas tiernas, defoliación, perforaciones en tallos o daño en espigas, habiendo una marcada preferencia por los cogollos de plantas tiernas. Las más jóvenes comen durante el día mientras que en los últimos estadios son más activas de noche. (PERALTA & LUNA, 2019)
	
MORFOLOGIA	
DAÑOS	