



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**BIOCONTROL DE PULGONES, GUSANO ALAMBRE Y
MINADORES DE LAS HOJAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.)
MEDIANTE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS**

**AUTORA
TAMAYO OCHOA ROSA MARÍA**

**TUTOR
ING. PEÑA HARO CÉSAR ANTONIO, MSC.**

MILAGRO - ECUADOR

2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMIA

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: "BIOCONTROL DE PULGONES, GUSANO ALAMBRE Y MINADORES DE LAS HOJAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.) MEDIANTE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS" realizado por la estudiante TAMAYO OCHOA ROSA MARIA; con cédula de identidad N° 0921381018 de la carrera AGRONOMÍA, Ciudad Universitaria Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. PEÑA HARO CÉSAR, M.Sc
TUTOR

Milagro, 18 de agosto del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "BIOCONTROL DE PULGONES, GUSANO ALAMBRE Y MINADORES DE LAS HOJAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.) MEDIANTE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS", realizado por la estudiante TAMAYO OCHOA ROSA MARIA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,



ING. CRUZ ROMERO COLÓN, M.Sc
PRESIDENTE



ING. TAPIA YANEZ LUIS, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL



ING. PEÑA HARO CESAR, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Milagro, 18 de agosto del 2026

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a ti mi Dios me diste esa sabiduría para entender cada concepto, la fortaleza para seguir adelante cuando el camino se hacía difícil y la paz para enfrentar las dudas y los desafíos. En cada paso de este trayecto académico y en mi vida diaria. Senti tu presencia gracias por tu providencia. a mis padres por guiarme des el cielo a mi esposo Dr. Fernando Gilces por su gran apoyo incondicional por creer en mí y por eso grande consejo de motivación que mediste a mis hijos Sebastián, mae y nikolay por ser mi fortaleza para conseguir mis sueños y que cada estudio lo hice por ustedes para demostrarle que lo sueño se cumple y que todo lo que se proponga en la vida se puede conseguir los amo mucho familia.

AGRADECIMIENTO

Con gratitud, agradezco a Dios por otorgarme sabiduría y salud en los momentos más difícil de mi vida, guiándome para alcanzar uno de mis mayores metas. A mi esposo por todo su apoyo y a mis hijos por ser mi fortaleza a cada persona que me ayudaron en este proceso a mis compañeros que me ayudaron avanzar. Y a los ingenieros que estuvieron dispuesto a su experta orientación, paciencia y dedicación, que fueron fundamentales en el desarrollo, investigación y elaboración de este proyecto de tesis.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **TAMAYO OCHOA ROSA MARÍA**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“BIOCONTROL DE PULGONES, GUSANO ALAMBRE Y MINADORES DE LAS HOJAS DE ACELGA (*Beta vulgaris* L.) MEDIANTE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS”**, para optar el título de **INGENIERA AGRÓNOMA**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6; 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Milagro, 21 de agosto del 2026

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rosa Tamayo', is written over a horizontal line.

TAMAYO OCHOA ROSA MARÍA

C.I. 0921381018

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el manejo de insectos plaga y su efecto sobre el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*). El estudio se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar, conformado por cuatro tratamientos y cinco repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en la aplicación de *Beauveria bassiana* (T1), *Metarhizium anisopliae* (T2), la combinación de ambos hongos entomopatógenos (T3) y un testigo absoluto (T4). Se evaluaron el porcentaje de hojas sanas, la incidencia de insectos, el número de insectos muertos, el rendimiento y la rentabilidad económica. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 presentó el mayor porcentaje de hojas sanas (97,64 %), la menor incidencia de insectos (12,68 %) y el mayor número de insectos muertos (171,80), superando significativamente a los tratamientos individuales y al testigo absoluto. Asimismo, este tratamiento alcanzó el mayor rendimiento, con 6872 kg ha⁻¹, mientras que el testigo registró únicamente 2920 kg ha⁻¹. Desde el punto de vista económico, la aplicación conjunta de ambos hongos obtuvo el mayor ingreso bruto (USD 3.401,64), un beneficio neto de USD 1.604,64 y una relación beneficio/costo de 1,9, constituyéndose en la alternativa de mayor rentabilidad. Se concluye que la aplicación combinada de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* constituye una estrategia eficiente para el manejo de insectos plaga en el cultivo de acelga, al mejorar la sanidad del cultivo, incrementar el rendimiento y generar mayores beneficios económicos en comparación con las aplicaciones individuales y el testigo absoluto.

Palabras clave: *Beta vulgaris* var. *cicla*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, control biológico, rendimiento, rentabilidad.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the effectiveness of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for insect pest management and their effect on the yield and profitability of Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*). The study was conducted using a randomized complete block design with four treatments and five replications, resulting in a total of 20 experimental units. The treatments consisted of the application of *Beauveria bassiana* (T1), *Metarhizium anisopliae* (T2), a combination of both entomopathogenic fungi (T3), and an untreated control (T4). The evaluated variables included the percentage of healthy leaves, insect incidence, number of dead insects, crop yield, and economic profitability. The results showed statistically significant differences ($p \leq 0.05$) among the evaluated treatments. Treatment T3 achieved the highest percentage of healthy leaves (97.64%), the lowest insect incidence (12.68%), and the greatest number of dead insects (171.80), significantly outperforming the individual applications and the untreated control. Furthermore, this treatment recorded the highest yield, reaching 6,872 kg ha⁻¹, whereas the control treatment produced only 2,920 kg ha⁻¹. From an economic perspective, the combined application of both fungi generated the highest gross income (USD 3,401.64), a net profit of USD 1,604.64, and a benefit-cost ratio of 1.9, making it the most profitable alternative. It is concluded that the combined application of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* is an effective strategy for insect pest management in Swiss chard, improving crop health, increasing yield, and generating greater economic returns compared with the individual applications and the untreated control.

Keywords: *Beta vulgaris* var. *cicla*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, biological control, yield, profitability

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.2.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2.2 Formulación del problema	14
1.3 Justificación de la investigación	15
1.4 Delimitación de la investigación	15
1.5 Objetivo general	16
1.6 Objetivos específicos	16
1.7 Hipótesis.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Estado del arte	17
2.2 Bases teóricas.....	19
2.2.1 Cultivo de acelga.....	19
2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	20
2.2.3 Principales insectos plagas que afectan al cultivo.....	21
2.2.4 Hongos entomopatógenos	24
2.3. Marco legal.....	26
2.3.1. Ley de Producto Orgánica.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Enfoque de la investigación.....	28
3.1.1 Tipo de investigación.....	28
3.1.2 Diseño de investigación.....	28
3.2 Metodología.....	28
3.2.1 Variables	28
3.2.2 Tratamientos	31
3.2.3 Diseño experimental.....	31
3.2.4 Recolección de datos	32
3.2.5 Análisis estadístico	38
4. RESULTADOS	39

4.1 Efectividad de los hongos entomopatógenos sobre la incidencia de insectos y el desarrollo del cultivo de acelga	39
4.1.1 Porcentaje de hojas sanas por tratamiento	39
4.1.2 Incidencia de insectos plaga	40
4.1.3 Peso fresco de las plantas	41
4.2 Rendimiento del cultivo de acelga	42
4.2.1. Rendimiento kg/ha	42
4.3 Análisis beneficio/costo	43
4.3.1 Relación beneficio/costo.....	43
5. DISCUSIÓN	45
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la acelga.....	20
Tabla 2 Matriz de operacionalización de la variable independiente	29
Tabla 3 Matriz de operacionalización de las variables dependientes.....	29
Tabla 4 Tratamientos en estudio.	31
Tabla 5 Características de la unidad experimental.....	32
Tabla 6 Esquema del análisis de varianza del diseño experimental	38
Tabla 7 Porcentaje de hojas sanas según el tratamiento	39
Tabla 8 Porcentaje de incidencia de insectos.	40
Tabla 9 Peso fresco de las plantas en gramo	41
Tabla 10 Rendimiento del cultivo de acelga según los tratamientos	42
Tabla 11 Análisis económico.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Preparación del terreno para el establecimiento del cultivo	57
Anexo 2 Trasplante de las plántulas de acelga	57
Anexo 3 Delimitación de las unidades experimentales	58
Anexo 4 Desarrollo de las plantas una semana después del trasplante	58
Anexo 5 Identificación de las unidades experimentales	59
Anexo 6 Desarrollo del cultivo después de la aplicación de los tratamientos.....	59
Anexo 7 Evaluación visual del estado sanitario de las hojas	60
Anexo 8 Control manual de malezas en el cultivo de acelga	60
Anexo 9 Medición y conteo de hojas durante el monitoreo del cultivo	61
Anexo 10 Evaluación del estado sanitario del cultivo de acelga	61
Anexo 11 Cosecha de plantas para la evaluación de las variables productivas..	62
Anexo 12 Determinación del peso fresco de las plantas de acelga	62
Anexo 13 Registro de hojas sanas y hojas afectadas por insectos.....	63
Anexo 14 Supervisión del desarrollo del ensayo experimental	63

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

La acelga es una hortaliza valorada por su aporte nutricional, adaptabilidad culinaria y manejo sencillo agronómico. Tanto sus hojas como sus pecíolos son las partes que más se aprovechan, debido a que aportan vitaminas, minerales, fibras y proteínas. Por esto, es importante conservar la calidad del follaje, pues los daños causados por insectos reducen su aceptación y valor económico (Nurzyńska, 2025).

Esta hortaliza es originaria de Europa, el norte de África y la cuenca mediterránea, que después llegó a otras regiones. Debido a la capacidad de adaptación que tienen a varias condiciones agroclimáticas, se puede producir en varios sistemas hortícolas. Aun así, su desarrollo y su rendimiento, pueden verse afectados por insectos plaga que ocasionan daños en las hojas, raíces y estructuras jóvenes de la planta (Rurii y Nzengya, 2026).

Entre las plagas que afectan esta hortaliza, se encuentran los pulgones, minadores de hojas y gusanos alambre. Cabe señalar que tanto los pulgones como los minadores afectan al follaje, debido a que estos succionan la savia. Sin embargo, los gusanos alambre dañan raíces, tallo y tejido subterráneos. Por lo tanto deben aplicarse alternativas que ayuden a reducir su incidencia y protejan su rendimiento (Lamzira et al., 2025).

Otra alternativa para controlar estas plagas, son los hongos entomopatógenos, esto se debe a que sus conidias se fijan a la cutícula, germinan y penetran los tejidos hasta causar una infección. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son los más utilizados y pueden aplicarse tanto en el follaje como en el suelo. De esta manera, reducen la dependencia de insecticidas químicos y contribuyen al desarrollo de sistemas productivos más sostenibles (Liu et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Los insectos plaga afectan de manera directa el desarrollo del cultivo de acelga al dañar hojas, raíces y tejidos jóvenes. Los pulgones succionan la savia y debilitan el follaje; los minadores producen galerías que disminuyen el área fotosintética y deterioran la calidad comercial; y los gusanos alambre atacan las raíces y el cuello de la planta (Seidu et al., 2024).

Ante esto los productores recurren a los insecticidas químicos por su facilidad de uso como también por su rapidez. Sin embargo, el uso frecuente o inadecuado puede causar contaminación del suelo y el agua, afectar organismos benéficos, dejar residuos en la cosecha y promover resistencia en los insectos. Todo esto ocasiona el aumento de dosis, aplicaciones, costos de producción y riesgos para los trabajadores. Asimismo, la limitada adopción de alternativas, dificulta implementar programas de manejo que rentables y eficaces (Verdadero et al., 2025).

Ante esta situación, fue necesario evaluar métodos de control biológico que redujeran la presencia de estas plagas. Entre las opciones se destacaron *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, hongos entomopatógenos que infectan a los insectos y contribuyen a disminuir sus poblaciones sin depender únicamente de productos químicos. En este sentido, el estudio evaluó sus efectos individuales y combinados sobre la incidencia de las plagas, el desarrollo de las plantas, el rendimiento productivo y la rentabilidad de los tratamientos (Alwaneen et al., 2024).

1.2.2 Formulación del problema

¿Qué efecto tendrá la aplicación de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre la incidencia de pulgones, gusanos alambre y minadores de hojas, así como sobre el rendimiento del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.)?

1.3 Justificación de la investigación

En la actualidad, la agricultura sostenible está orientada a nivel mundial a la reducción de los plaguicidas químicos y ampliar el empleo de alternativas biológicas. En el cultivo de acelga, esta tendencia es necesaria dado a que los *pulgones* gusanos alambre y minadores de hojas perjudican el crecimiento, el rendimiento y la calidad comercial. Por ello, la aplicación de bioinsumos puede reducir la contaminación, conservar los organismos benéficos y fortalecer sistemas de producción más seguros y sostenibles (Lamzira et al., 2025).

El empleo de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son utilizados para el control biológico de las plagas, debido a que sus conidias se adhieren a la cutícula del insecto, germinan y penetran sus tejidos sin necesidad de ser ingeridas. Por lo tanto, el uso de estos hongos puede reducir la dependencia de insecticidas convencionales y apoyar la conservación del agroecosistema. Aún así, los resultados se condicionan por la especie de plaga, el ambiente y la forma como se ha aplicado en el cultivo (Liu et al., 2022).

Por este motivo, este estudio permitió conocer la eficacia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, aplicados de forma individual y combinada, en cultivos de acelga de Milagro, Guayas. A través de los hallazgos obtenidos, se seleccionó el tratamiento que contribuyó a reducir las plagas, aumentar el rendimiento y obtener una relación beneficio/costo favorable, aportando una opción agronómica, ambiental y económicamente viable para los productores locales.

1.4 Delimitación de la investigación

El ensayo experimental se realizó en la Ciudad Universitaria “Milagro”, ubicada en el cantón Milagro, provincia del Guayas. La investigación tuvo una duración de cinco meses, comprendidos entre noviembre de 2025 y marzo de 2026.

1.5 Objetivo general

Evaluar la eficacia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en el biocontrol de pulgones, gusanos alambre y minadores de hojas en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.).

1.6 Objetivos específicos

- Determinar la incidencia de pulgones, gusanos alambre y minadores de hojas en el cultivo de acelga.
- Evaluar el efecto de la aplicación individual y combinada de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre la incidencia de insectos plaga y el rendimiento del cultivo de acelga.
- Realizar un análisis económico de los tratamientos evaluados mediante la relación beneficio/costo.

1.7 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos con *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, aplicado de forma individual o combinada, reducirá la incidencia de pulgones, gusanos alambre y minadores de hojas, y favorecerá el rendimiento del cultivo de acelga.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En el estudio de Culqui (2023) se aislaron y se caracterizaron microorganismos entomopatógenos que se encontraban en dos sistemas de producción agrícola familiar. Se tomaron seis muestras de suelo de 2 kg, tomadas en forma de L, a 20 cm de profundidad y en zonas cercanas a la rizosfera. El aislamiento se efectuó mediante el método de trampeo, empleando larvas de cuarto estadio de *Galleria mellonella*. Luego evaluó la mortalidad a través de la concentración de $1,2 \times 10^7$ esporas/mL, Esto permitió reconocer cuatro aislamientos efectivos pertenecientes a *Metarhizium* y *Beauveria*, capaces de causar el 100% de mortalidad de las larvas en cinco días. Los resultados demostraron su elevada capacidad patogénica y su utilidad potencial en programas de control biológico aplicados a sistemas agrícolas locales. Por ello, este antecedente sustenta el uso de ambos géneros frente a las plagas evaluadas en esta investigación.

En este contexto, Silva et al. (2021) estudiaron el efecto individual y combinado de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre insectos plaga que estaban presentes en cultivos de lechuga y col. Este fue un diseño al azar con cuatro tratamientos y tres repetitivos, se utilizó la prueba de Tukey al 5% para la comparación de medias. La aplicación combinada de ambos hongos generó un 73% de mortalidad de *Bemisia tabaci* en el envés de las hojas de lechuga. En el cultivo de col, *Beauveria bassiana* aplicada de forma individual alcanzó un 84% de mortalidad de *Brevicoryne brassicae* en el haz de las hojas después de 23 días. Esto permitió evidenciar la capacidad de los hongos para reducir insectos plaga en hortalizas. De esta manera, este estudio respalda la selección de ambos agentes y la inclusión de tratamientos individuales y combinados en la investigación desarrollada en el cultivo de acelga.

Asimismo, Murillo et al. (2021) analizaron la eficacia de los productos biorracionales sobre la mosca blanca en jitomate cultivado bajo invernadero, además de chile y calabacita establecidos a campo abierto. Se aplicaron aceite de nim y formulaciones con *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Isaria*

javanica e *Isaria fumosorosea*, además de un testigo sin aplicación. En jitomate, los tratamientos más eficientes fueron las combinaciones de aceite de nim con *Metarhizium anisopliae* y con *I. javanica*. En chile, *Beauveria bassiana* produjo mejores resultados, mientras que *Metarhizium anisopliae* presentó mayor eficacia en calabacita. A través de los hallazgos refieren que la eficacia de estos hongos no es un informe, sino que dependen del cultivo, la especie de insecto, la formulación empleada y las condiciones del ensayo. Este antecedente permite interpretar los resultados en acelga, al demostrar que la respuesta biológica puede variar según las características del sistema de producción y de las condiciones particulares finalmente evaluadas en campo.

Por otra parte, en la investigación de Dannon et al. (2021) se examinó el uso de *Beauveria bassiana* para el manejo integrado de plagas en el cultivo del algodón. Sus hallazgos indican que este hongo actúa como biopesticida ante varias especies, pero a pesar de esto, factores como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la estabilidad de la formulación pueden reducir su desempeño. Los autores señalaron además que se requieren nuevas evaluaciones en laboratorio y campo para optimizar la concentración, la frecuencia de aplicación y la persistencia del microorganismo. Por tanto, el desarrollo de *Beauveria bassiana* no se relaciona solo con su acción infectiva, sino también con las condiciones ambientales y tecnológicas del tratamiento. Este antecedente ofrece criterios importantes para interpretar cómo el ambiente puede modificar su eficacia y comportamiento durante las aplicaciones realizadas en condiciones de campo.

Liu et al. (2022) valoraron cepas de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en plántulas de maíz cultivadas en condiciones hidropónicas. En el periodo de 35 días, registraron indicadores de crecimiento vegetal, la altura, la longitud de las raíces y el peso fresco. Mostraron que ambos hongos lograron colonizar los tejidos del maíz, aunque con diferencias en su distribución y su permanencia. *B. bassiana* mostró una recuperación inicial más alta en tallos y hojas, pero disminuyó después de 28 días. En contraste, *M. anisopliae* mantuvo una colonización más estable en raíces, tallos y hojas. La presencia de los dos microorganismos fue comprobada mediante PCR, confirmando su capacidad para establecerse en la planta y su posible efecto favorable sobre el crecimiento. Este

antecedente fue incluido porque evidencia que *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* pueden aportar beneficios adicionales al crecimiento vegetal, lo cual permite relacionar su aplicación con el peso y rendimiento de la acelga.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cultivo de acelga

2.2.1.1. Origen e importancia

La acelga tiene su origen en las regiones costeras de Europa, el norte de África y la cuenca mediterránea, donde se desarrolló a partir de formas silvestres del género *Beta*. Existen registros de su utilización desde la antigüedad, con fines medicinales y como alimento. Con el transcurso del tiempo, su cultivo se extendió hacia Asia y América, favorecido por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales y sistemas de producción agrícola (Knez et al., 2024).

Tanto la facilidad de cultivo, el rebrote y la cosecha continua de hojas y pecíolos muestran la importancia productiva de la acelga, la cual también aporta vitaminas, minerales, fibra y compuestos antioxidantes, por lo que posee un considerable valor nutricional. Su ciclo relativamente corto y las cosechas sucesivas favorecen a pequeños y medianos productores. No obstante, la presencia de insectos plaga afecta la sanidad del follaje y puede disminuir su aceptación, calidad y precio en el mercado (Shrivastava et al., 2024).

2.2.1.2 Generalidades botánicas

La acelga es una planta herbácea bienal perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, aunque en los sistemas hortícolas suele cultivarse como especie anual. Durante el primer ciclo desarrolla una roseta de hojas grandes, de forma ovalada o ligeramente acorazonada, con limbos amplios y nervaduras visibles. Los pecíolos, denominados pencas, son carnosos y pueden presentar colores blancos, verdes, amarillos o rojizos, dependiendo de la variedad cultivada (Gruda et al., 2025).

Esta hortaliza presenta un sistema radical pivotante y profundo, con raíces secundarias que permiten captar agua y nutrientes. Tanto las hojas como los pecíolos son las partes aprovechables y pueden recolectarse por separado o mediante el corte completo de la planta. Debido a su capacidad de rebrote, es posible realizar varias cosechas bajo condiciones adecuadas de humedad, fertilidad y sanidad vegetal. Por ello, se considera una hortaliza de producción continua con importancia comercial en los mercados locales (Knez et al., 2024).

2.2.1.3 Clasificación taxonómica

La acelga pertenece al género *Beta* y corresponde a una forma cultivada de *Beta vulgaris*, seleccionada por el desarrollo de sus hojas y pecíolos. A diferencia de otros grupos de la misma especie, como la remolacha, su aprovechamiento no se concentra en la raíz, sino en la biomasa foliar (Almeida et al., 2025). Su clasificación taxonómica se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la acelga

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Beta</i>
Especie	<i>Beta vulgaris</i> L.
Variedad botánica	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>

Nota. La clasificación corresponde a la especie *Beta vulgaris* L., variedad botánica *Beta vulgaris* var. *cicla*.

Fuente: Lazo (2019). **Elaborado por:** La autora, 2026.

2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos

El cultivo de acelga presenta una amplia adaptación climática, pero alcanza un mejor desarrollo cuando las temperaturas son moderadas. Su crecimiento se favorece entre 15 y 25 °C, y la germinación entre 18 y 22 °C.

Aunque tolera condiciones frías y heladas ligeras, temperaturas inferiores a -5°C pueden ocasionar daños severos. Además, puede establecerse en regiones tropicales y subtropicales, siempre que se mantenga una humedad adecuada y se limite la exposición prolongada a temperaturas elevadas (Gruda et al., 2025).

En cuanto a la luminosidad, requiere varias horas de radiación solar para mantener una adecuada actividad fotosintética, aunque una intensidad excesiva puede afectar la calidad de las hojas. La humedad relativa y la disponibilidad de agua también influyen en el desarrollo del cultivo. El déficit hídrico puede provocar reducción del crecimiento, endurecimiento de los tejidos y aparición de sabores más amargos, mientras que el exceso de humedad puede favorecer enfermedades y problemas radiculares (Knez et al., 2024).

Los suelos más adecuados para la acelga deben ser profundos, fértiles, permeables y con buena capacidad de conservar agua. Dado a que esta hortaliza puede crecer en terrenos de textura media, franco-arcillosa o arenosa, si estos últimos se mejoran con materia orgánica. Asimismo, necesita un drenaje adecuado que evite el encharcamiento y la asfixia de las raíces. Durante su desarrollo inicial requiere humedad continua, mientras que después tolera sequías cortas, aunque el riego constante mejora la calidad de las hojas (Rivelli y Libutti, 2022).

2.2.3 Principales insectos plagas que afectan al cultivo

El cultivo de acelga puede ser afectado por diferentes insectos que dañan las hojas, los pecíolos, las raíces y las partes jóvenes de la planta. La importancia económica de estas plagas se relaciona con el deterioro del follaje, debido a que las hojas constituyen la parte aprovechable y comercial del cultivo. La presencia de perforaciones, galerías, deformaciones, amarillamiento o pérdida de tejido reduce la calidad visual de la cosecha y limita su aceptación en el mercado (Shezi et al., 2024).

Los pulgones, gusanos alambre y minadores de hojas son insectos plaga presentes en el cultivo de acelga. Debido a sus diferentes hábitos alimenticios y formas de daño, requieren acciones particulares de monitoreo y manejo. Los pulgones y minadores afectan sobre todo las hojas, mientras que los gusanos alambre permanecen en el suelo y dañan las estructuras subterráneas. Reconocer su presencia y grado de incidencia facilita la aplicación de controles oportunos y disminuye sus efectos sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo (Yahaya y Izuafa, 2022).

2.2.3.1 Pulgones (*Aphis* spp).

Los pulgones o áfidos son insectos pequeños, de cuerpo blando y forma generalmente ovalada o piriforme. Su coloración puede variar entre verde, amarillo, negro, rojizo o marrón, dependiendo de la especie y del estado de desarrollo. Algunas formas presentan alas, mientras que otras son ápteras. Una de sus características morfológicas es la presencia de dos cornículos o sifúnculos ubicados en la región posterior del abdomen, mediante los cuales liberan sustancias defensivas (Wang et al., 2025).

Estos insectos se agrupan principalmente en el envés de las hojas, brotes jóvenes y pecíolos, donde introducen su aparato bucal para extraer la savia. Su alimentación puede ocasionar amarillamiento, enrollamiento, deformación y debilitamiento del follaje. Además, la excreción de melaza favorece el desarrollo de fumagina sobre la superficie de las hojas, lo que disminuye la capacidad fotosintética y deteriora la calidad comercial. Algunas especies también actúan como vectores de virus vegetales, incrementando su importancia agronómica (Wang et al., 2025).

La reproducción rápida de los pulgones favorece el incremento de sus poblaciones en periodos cortos, especialmente cuando existen temperaturas moderadas y abundancia de tejidos tiernos. Por esta razón, el monitoreo debe realizarse mediante la observación directa del envés de las hojas y de los brotes jóvenes. El control oportuno resulta necesario para evitar que las colonias se dispersen y ocasionen pérdidas en el rendimiento y la calidad del cultivo (Sezgin et al., 2025).

2.2.3.2 Gusanos alambre (*Agriotes ssp*).

Los gusanos alambre corresponden a la fase larval de coleópteros pertenecientes principalmente a la familia *Elateridae*. Se caracterizan por presentar un cuerpo alargado, cilíndrico, duro y de coloración amarillenta o marrón. Estas larvas habitan en el suelo y pueden permanecer en él durante periodos prolongados, alimentándose de semillas, raíces, tallos subterráneos y cuello de las plantas (Gruda et al., 2025).

En el caso de la acelga, las larvas perforan las raíces o los tejidos próximos a la superficie del suelo. Esto puede provocar disminución del crecimiento, marchitez, bajo vigor muerte de las plantas jóvenes. Asimismo, permiten el ingreso de microorganismos patógenos capaces de producir pudriciones radiculares. Los daños son más intensos en plantas recién trasplantadas y en terrenos con presencia anterior de gramíneas o gran cantidad de materia orgánica en descomposición (Wang et al., 2025).

El manejo de esta plaga comprende la preparación adecuada del terreno, rotación de cultivos, eliminación oportuna de malezas y monitoreo del suelo antes del trasplante. Debido a su ubicación subterránea, el control mediante hongos entomopatógenos debe dirigirse al suelo o a la zona radicular para favorecer el contacto entre las conidias y las larvas (Shezi et al., 2024).

2.2.3.3 Minadores de hojas (*Liriomyza ssp*).

Los minadores de hojas son insectos cuyas larvas se desarrollan y alimentan dentro del tejido foliar. Durante este proceso forman galerías o minas visibles, que pueden presentar formas lineales, sinuosas o irregulares. El daño se produce cuando las larvas consumen el mesófilo situado entre las dos epidermis de la hoja, dejando áreas translúcidas, blanquecinas o necróticas (Chebet et al., 2021).

En la acelga, las galerías reducen el área fotosintética y alteran la apariencia de las hojas, lo que afecta su calidad comercial. Cuando la infestación es elevada, las minas pueden unirse, provocar desecación del tejido y acelerar el envejecimiento o caída de las hojas. Las perforaciones realizadas

por las hembras durante la alimentación u oviposición también pueden generar puntos necróticos y facilitar la entrada de microorganismos (Hamza et al., 2023).

La evaluación de esta plaga puede realizarse mediante el conteo de hojas afectadas, número de minas por hoja o porcentaje de superficie foliar dañada. Debido a que las larvas permanecen protegidas dentro del tejido, su control puede resultar más complejo que el de insectos expuestos. Por ello, las aplicaciones deben efectuarse oportunamente, antes de que el daño alcance niveles elevados, y complementarse con la eliminación de hojas afectadas y el manejo de residuos del cultivo (Chebet et al., 2021).

2.2.4 Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos son microorganismos capaces de infectar y causar enfermedades en diferentes especies de insectos. A diferencia de otros agentes microbianos, no necesitan ser ingeridos para iniciar la infección, debido a que sus conidias pueden adherirse a la cutícula del hospedero. Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, las conidias germinan y producen estructuras que penetran el exoesqueleto mediante presión mecánica y acción enzimática (Izuafa et al., 2025).

Una vez en el interior del insecto, el hongo se multiplica en la hemolinfa, coloniza los tejidos y produce metabolitos que alteran sus funciones fisiológicas. Luego, el hospedero muere y, bajo condiciones adecuadas, el hongo emerge sobre el cadáver y produce nuevas conidias que pueden dispersarse hacia otros individuos. Este mecanismo permite utilizarlos como agentes de control biológico dentro de programas de manejo integrado de plagas (Xie et al., 2025).

La eficacia de los hongos entomopatógenos depende de factores como la cepa utilizada, la concentración de conidias, la especie y estado de desarrollo del insecto, la humedad relativa, la temperatura, la radiación solar y el método de aplicación. Entre los géneros más empleados en la agricultura se encuentran *Beauveria* y *Metarhizium*, debido a su capacidad para infectar

diferentes grupos de insectos y su potencial para reducir el uso de insecticidas químicos (Izuafa et al., 2025).

2.2.4.1 *Beauveria bassiana*

Beauveria bassiana es un hongo entomopatógeno utilizado en el control biológico de diferentes insectos plaga. Su proceso de infección comienza cuando las conidias se adhieren a la cutícula del hospedero. Luego, germinan y forman estructuras capaces de penetrar el exoesqueleto mediante la acción conjunta de presión mecánica y enzimas como proteasas, quitinasas y lipasas (Knez et al., 2024).

Después de atravesar la cutícula, el hongo se multiplica en la hemolinfa y coloniza los tejidos internos. Durante este proceso puede producir metabolitos, entre ellos *beauvericina* y *bassianólidos*, que debilitan las defensas del insecto y contribuyen a su muerte. El tiempo necesario para que se manifiesten los efectos depende de la concentración aplicada, la susceptibilidad del hospedero y las condiciones ambientales presentes durante la infección (Jócsák et al., 2026).

Cuando existe humedad suficiente, el micelio emerge del cadáver y forma una cobertura blanquecina característica, sobre la cual se producen nuevas conidias. Estas estructuras pueden dispersarse y entrar en contacto con otros insectos. Su aplicación resulta útil contra plagas expuestas en el follaje, como los pulgones, aunque su eficacia puede disminuir cuando los insectos se encuentran protegidos dentro de galerías o en sitios de difícil alcance (Tanga y Kababu, 2023).

2.2.4.2 *Metarhizium anisopliae*

Metarhizium anisopliae es un hongo entomopatógeno ampliamente empleado para el manejo de insectos que habitan tanto en el follaje como en el suelo. Su ciclo infectivo inicia con la adhesión de las conidias a la cutícula del hospedero. En condiciones ambientales favorables, estas germinan y forman un tubo germinativo que penetra el exoesqueleto mediante presión mecánica y la producción de enzimas degradadoras (Sutanto et al., 2022).

Una vez dentro del insecto, el hongo se multiplica en la hemolinfa y coloniza diferentes órganos. Durante este proceso produce metabolitos que alteran las funciones fisiológicas, debilitan el sistema de defensa y provocan la muerte del hospedero. El tiempo de acción puede variar según la cepa, la especie de insecto, la dosis aplicada y las condiciones de humedad y temperatura (Zheng et al., 2024).

Después de la muerte, el hongo completa su fase saprofítica aprovechando los nutrientes del cadáver. En ambientes húmedos, emerge al exterior y forma una cobertura de color verde oliváceo, característica del género, donde se producen nuevas conidias. Por su capacidad de persistir en el suelo y entrar en contacto con insectos subterráneos, *Metarhizium anisopliae* representa una alternativa potencial para el manejo de larvas como los gusanos alambre. Su utilización requiere aplicaciones dirigidas a la zona radicular y condiciones de humedad que favorezcan la germinación y el desarrollo del hongo (Kobmoo et al., 2024).

2.3. Marco legal

2.3.1. Ley de Producto Orgánica

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de febrero del 2006, en donde se establecen entre el ámbito de atribución la de promover y regular los criterios y/o requisitos para la conversión, producción, procesamiento, elaboración, preparación, acondicionamiento, almacenamiento, identificación, empaque, etiquetado, distribución, transporte, comercialización, verificación y certificación de productos producidos orgánicamente.

Acuerdo por el que se da a conocer los Lineamientos para la Operación Orgánica de las Actividades Agropecuarias.

Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de octubre de 2013, en donde se establecen entre el ámbito de atribución la de normas la operación orgánica que desarrollen las personas físicas o morales, en materia agropecuaria; así como los procedimientos para su certificación y reconocimiento y establece el ámbito de aplicación a todas las actividades agropecuarias donde se produzcan productos frescos o vivos, de vegetales o animales y sus productos o subproductos, incluido los materiales de reproducción vegetativa, las semillas, micelios o esporas; los productos de las

actividades agropecuarias de procesados o transformados, las levaduras destinadas al procesamiento de alimentos; la producción y comercialización de materiales, sustancias, productos, insumos e ingredientes, previa evaluación positiva a los requisitos y procedimientos, para ser incluidos en la Lista Nacional de permitidos con o sin restricción en la operación orgánica, así como métodos a introducir en las operaciones orgánicas, y la Lista nacional de materiales, sustancias, productos, insumos, métodos e ingredientes prohibidos.

Acuerdo por el que se da a conocer el Distintivo Nacional de los Productos Orgánicos y se establecen las reglas generales para su uso en el Etiquetado de los Productos Certificados como orgánicos.

Publicado en el diario oficial de la federación el 25 de octubre de 2013, en donde se establecen entre el ámbito de atribución la de dar a conocer y establecer las reglas de uso del Distintivo Nacional de los Productos Orgánicos con las especificaciones, patrones cromáticos y demás características que se precisan en el presente instrumento (SENASICA, 2020).

La normativa citada aporta sustento al desarrollo de la presente investigación, debido a que establece criterios relacionados con la producción orgánica, la utilización de insumos permitidos y la regulación de microorganismos, micelios y esporas empleados en las actividades agropecuarias. En este sentido, la evaluación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como agentes de control biológico se vincula con la búsqueda de alternativas que reduzcan el uso de plaguicidas convencionales y favorezcan una producción de acelga más sostenible. Asimismo, estos lineamientos orientan el empleo responsable de bioinsumos y respaldan la aplicación de prácticas compatibles con el manejo orgánico de insectos plaga.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El estudio se desarrolló con enfoque cuantitativo mediante la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con la incidencia de plagas, las hojas sanas, el peso de las plantas, el rendimiento y la relación beneficio/costo. A partir de este enfoque se comparó estadísticamente la influencia de los hongos entomopatógenos sobre las variables fitosanitarias y productivas registradas en el cultivo de acelga durante el ensayo (Zhang et al., 2021).

3.1.2 Diseño de investigación

Se empleó un diseño de bloques completos al azar, conformado por cuatro tratamientos y siete repeticiones, lo que dio como resultado un total de 28 unidades experimentales (Salinas et al., 2024). Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque con la finalidad de reducir el efecto de la variabilidad existente en el terreno. Las características y dimensiones de las unidades experimentales se presentan en la Tabla 5. Este diseño permitió comparar la aplicación individual de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, la combinación de ambos hongos y un testigo absoluto, con el propósito de identificar el tratamiento con mayor eficacia biocontroladora y mejor comportamiento productivo.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

3.2.1.1 Variable independiente

Tratamientos con hongos entomopatógenos: *Beauveria bassiana* - *Metarhizium anisopliae*.

Tabla 2

Matriz de operacionalización de la variable independiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
<i>Beauveria bassiana</i>	Cuantitativa	Razón	La dosis aplicada fue de 500 g/ha.
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Cuantitativa	Razón	La dosis aplicada fue de 500 g/ha.
<i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	Cuantitativa	Razón	La dosis aplicada fue de 250 g/ha de cada hongo.
Testigo absoluto	Cuantitativa	Razón	No se aplicaron hongos entomopatógenos.

Nota. Los tratamientos corresponden a la aplicación individual y combinada de los hongos entomopatógenos y a un testigo absoluto sin aplicación.

Fuente: Datos de la investigación. **Elaborado por:** La autora, 2026.

3.2.1.2. Variable dependiente

- Número de hojas sanas por planta.
- Porcentaje de incidencia de insectos.
- Peso de la planta.
- Rendimiento en kg/ha.
- Análisis beneficio/costo.

Tabla 3

Matriz de operacionalización de las variables dependientes

Variable	Tipo	Nivel de medición	Técnica o forma de medición
Número de hojas sanas por planta	Cuantitativa	Discreta	Se contó manualmente el número de hojas sin galerías, deformaciones, colonias de pulgones ni otros daños visibles ocasionados por insectos.
Incidencia de pulgones	Cuantitativa	Continua	Se determinó el porcentaje de plantas que presentaron colonias o individuos de

Incidencia de minadores de hojas	Cuantitativa	Continua	pulgones respecto al total de plantas evaluadas. Se calculó el porcentaje de plantas que presentaron una o más hojas con galerías o minas visibles.
Incidencia de gusanos alambre	Cuantitativa	Continua	Se estimó a partir del porcentaje de plantas con presencia de larvas o daños atribuibles a gusanos alambre en raíces, cuello o tejidos subterráneos.
Peso fresco de la planta	Cuantitativa	Continua	Se determinó individualmente en gramos mediante una balanza digital. Para esta variable se evaluaron 10 plantas en cada una de tres unidades experimentales por tratamiento, para un total de 30 plantas. Se pesó la parte aérea de cada planta sin incluir la raíz.
Rendimiento	Cuantitativa	Continua	Se estimó a partir del peso total de 30 plantas por tratamiento, correspondientes a 10 plantas evaluadas en cada una de tres unidades experimentales. El valor obtenido se proyectó a kg/ha considerando una densidad poblacional de 40.000 plantas por hectárea.
Relación beneficio/costo	Cuantitativa	Continua	Se calculó al finalizar el ensayo mediante la relación entre los ingresos brutos generados y los costos totales de cada tratamiento.

Nota. La incidencia de insectos se expresó en porcentaje; el peso fresco se registró en gramos; el rendimiento se proyectó en kg/ha y la relación beneficio/costo se expresó como un índice económico.

Fuente: Datos de la investigación. **Elaborado por:** La autora, 2026.

3.2.2 Tratamientos

El estudio se basó en la aplicación de hongos entomopatógenos para reducir la presencia de insectos plaga en el cultivo de acelga. Los hongos utilizados fueron *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, aplicados de manera individual y combinada, de acuerdo con las dosis recomendadas por la casa comercial y proyectadas para una hectárea. Además, se incluyó un testigo absoluto, en el cual no se aplicó ningún hongo entomopatógeno. Las aplicaciones se realizaron a los 10, 30 y 50 días después del trasplante. Los tratamientos y las características de las unidades experimentales se presentan en las Tablas 3 y 4.

Tabla 4

Tratamientos en estudio.

N.º	Tratamiento	Dosis por hectárea	Aplicaciones (DDT)
T1	<i>Beauveria bassiana</i>	500 g	10, 30 y 50
T2	<i>Metarhizium anisopliae</i>	500 g	10, 30 y 50
T3	<i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	250 g + 250 g	10, 30 y 50
T4	Testigo absoluto	0 g	Sin aplicación

Nota. DDT = días después del trasplante. T1 = *Beauveria bassiana*; T2 = *Metarhizium anisopliae*; T3 = combinación de *B. bassiana* y *M. anisopliae*; T4 = testigo absoluto.

Fuente: Diseño experimental de la investigación. **Elaborado por:** La autora, 2026.

3.2.3 Diseño experimental

En la presente investigación se utilizó un diseño de bloques completos al azar, compuesto por cuatro tratamientos y siete repeticiones, lo que dio como resultado un total de 28 unidades experimentales. Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque, con la finalidad de reducir el efecto de la variabilidad del terreno. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y, cuando se identificaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad (Nanda et al., 2021).

Tabla 5***Características de la unidad experimental***

Característica	Descripción
Tipo de diseño	Bloques completos al azar
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	7
Número de unidades experimentales	28
Ancho de las parcelas	4 m
Longitud de las parcelas	5 m
Distancia entre repeticiones	1 m
Distancia entre plantas	0,50 m
Distancia entre hileras	0,50 m
Plantas evaluadas por unidad experimental	10
Unidades experimentales consideradas por tratamiento para las variables productivas	3
Total de plantas evaluadas por tratamiento	30
Área total de la unidad experimental	20 m ²
Área útil de la unidad experimental	12 m ²
Área total del ensayo	574 m ²

Nota. El ensayo estuvo conformado por cuatro tratamientos, siete repeticiones y 28 unidades experimentales. Para las variables productivas se evaluaron 10 plantas en cada una de tres unidades experimentales por tratamiento.

Fuente: Diseño experimental de la investigación. **Elaborado por:** La autora, 2026.

3.2.4 Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante observaciones directas y mediciones efectuadas en las unidades experimentales. Para la evaluación de las variables productivas se consideraron tres unidades experimentales por tratamiento y se seleccionaron 10 plantas en cada una, para un total de 30 plantas por tratamiento. En cada planta se registraron el número de hojas sanas, el número de hojas dañadas y el peso fresco. La información fue anotada en fichas de campo para su posterior organización y análisis.

3.2.4.1 Recursos

Los recursos bibliográficos utilizados para fundamentar la investigación fueron libros, artículos de revistas científicas, tesis de grado, sitios web institucionales, guías e informes técnicos relacionados con el cultivo de acelga, los insectos plagan y el uso de hongos entomopatógenos.

- Bandejas germinadoras.
- Semillas de acelga.
- Turba negra como sustrato.
- Fertilizantes orgánicos.
- *Beauveria bassiana*.
- *Metarhizium anisopliae*.
- Azadón.
- Rastrillo.
- Machete.
- Cinta métrica.
- Cinta para delimitar las parcelas.
- Bomba de riego.
- Bomba de fumigación.
- Balanza digital.
- Etiquetas para identificar los tratamientos.
- Estacas de madera.
- Letreros.
- Cámara fotográfica.
- Fichas de campo.
- Agenda de notas.

3.2.4.2 Manejo del experimento

3.2.4.2.1 Semillero

El semillero se estableció en bandejas germinadoras utilizando turba negra como sustrato. Las semillas de acelga fueron colocadas en cada cavidad y

recibieron riego de acuerdo con sus necesidades, con la finalidad de mantener la humedad necesaria para favorecer la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas.

3.2.4.2.2 Trasplante

Un día antes del trasplante se regó el terreno para conservar una humedad adecuada y favorecer el establecimiento de las plántulas. El trasplante se realizó durante las primeras horas de la mañana para reducir la pérdida de agua y evitar la marchitez por exposición solar. Posteriormente, las plántulas se distribuyeron según los tratamientos y repeticiones del diseño experimental, con una distancia de 0,50 m entre plantas e hileras.

3.2.4.2.3 Aplicación de los tratamientos

El manejo de los insectos plaga se realizó mediante la aplicación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, utilizados de manera individual y combinada. Las aplicaciones se efectuaron a los 10, 30 y 50 días después del trasplante, de acuerdo con las dosis establecidas para cada tratamiento en la Tabla 4. El testigo absoluto no recibió aplicaciones de hongos entomopatógenos.

Para la preparación de cada tratamiento, el producto correspondiente se diluyó en un recipiente con 20 L de agua hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, la solución se colocó en una bomba de mochila con capacidad de 20 L y se aplicó de manera uniforme en las parcelas asignadas. En T1 se aplicó *Beauveria bassiana*, en T2 se utilizó *Metarhizium anisopliae* y en T3 se preparó una mezcla de ambos productos en proporciones equivalentes. El procedimiento se repitió para cada parcela de la aplicación establecidas.

3.2.4.2.4 Control de malezas

El control de malezas se realizó manualmente mediante el uso de machete y azadón, eliminando las arvenses presentes en las parcelas para evitar la competencia por agua, luz y nutrientes. Esta labor se efectuó de manera uniforme en todos los tratamientos.

3.2.4.2.5 Riego

El riego se realizó mediante surcos, con la finalidad de mantener la humedad necesaria para el establecimiento y desarrollo del cultivo. El agua fue distribuida de manera uniforme en todas las unidades experimentales, evitando tanto el déficit hídrico como el encharcamiento del suelo. La frecuencia del riego se ajustó de acuerdo con las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales presentes durante el ensayo.

3.2.4.2.6 Cosecha

La cosecha se realizó cuando las hojas alcanzaron las características adecuadas de tamaño, coloración, firmeza y estado sanitario. Como criterio de recolección, se consideraron plantas cuyas hojas presentaron una longitud aproximada de 20 a 30 cm.

Para la evaluación de las variables productivas se consideraron tres unidades experimentales de cada tratamiento. En cada unidad experimental se cosecharon 10 plantas, para un total de 30 plantas por tratamiento. Las plantas fueron pesadas individualmente mediante una balanza digital y los valores se registraron en gramos. Posteriormente, se obtuvo el peso total y el peso promedio de las 30 plantas para estimar el rendimiento en kg/ha.

3.2.4.2.7 Determinación del rendimiento

El rendimiento del cultivo de acelga se determinó a partir del peso registrado en 30 plantas por tratamiento. Estas correspondieron a 10 plantas cosechadas en cada una de tres unidades experimentales. Los pesos individuales fueron sumados para obtener el peso total de las 30 plantas y posteriormente se calculó el peso promedio por planta.

Se calculó la densidad poblacional por hectárea, considerando una distancia de 0,50 m entre plantas y 0,50 m entre hileras. Para ello, se dividió la superficie de una hectárea, equivalente a 10.000 m², para el área ocupada por cada planta:

$$DP = \frac{10.000}{0,50 \times 0,50} = 40.000 \text{ plantas/ha}$$

$$DP = \frac{10.000}{0,25} = 40.000 \text{ plantas/ha}$$

Donde:

DP: densidad poblacional, expresada en plantas por hectárea

Posteriormente, el rendimiento se estimó mediante la relación entre el peso total de las plantas evaluadas, la densidad poblacional y el número de plantas utilizadas en la evaluación. Para ello, se aplicó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{PT \times DP}{NP}$$

Donde:

R: rendimiento estimado del cultivo, expresado en kg/ha.

PT: peso total de las plantas evaluadas, expresado en kilogramos.

DP: densidad poblacional estimada, 40.000 plantas/ha.

NP: número de plantas evaluadas, correspondiente a 30 plantas.

También se calculó el peso promedio por planta mediante la siguiente fórmula:

$$PPP = \frac{PT}{NP}$$

Donde:

PPP: peso promedio por planta.

PT: peso total de las plantas evaluadas, en kilogramos.

NP: número de plantas evaluadas, correspondiente a 30 plantas.

Cuando el peso promedio se obtuvo en kilogramos, se convirtió a gramos multiplicando el resultado por 1.000:

$$PPP(g) = PPP(kg) \times 1.000$$

Por ejemplo, cuando el peso total de 30 plantas fue de 1,448 kg, el peso promedio por planta se calculó de la siguiente manera:

$$PPP = \frac{1,448 \text{ kg}}{30 \text{ plantas}}$$

$$PPP = 0,04827 \text{ kg/planta}$$

$$PPP = 0,04827 \times 1.000 = 48,27 \text{ g/planta}$$

Luego, el rendimiento estimado por hectárea se obtuvo mediante el siguiente cálculo:

$$R = \frac{1,448 \text{ kg} \times 40.000 \text{ plantas/ha}}{30 \text{ plantas}}$$

$$R = 1.930,67 \text{ kg/ha}$$

Este procedimiento se aplicó a cada tratamiento utilizando los datos registrados durante la evaluación final de la cosecha. Los valores obtenidos permitieron comparar el peso promedio por planta y el rendimiento estimado de los tratamientos con *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, la combinación de ambos hongos entomopatógenos y el testigo absoluto.

3.2.4.2.8 Límite espacial

El trabajo experimental se desarrolló en la Ciudad Universitaria “Milagro”, ubicada en el cantón Milagro, provincia del Guayas. El lugar del ensayo se encuentra en las coordenadas geográficas 79°35'14" O de longitud y 2°08'05" S de latitud.

3.2.4.2.9 Límite temporal

La investigación se desarrolló durante cinco meses, comprendidos entre noviembre de 2025 y marzo de 2026.

3.2.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables fitosanitarias fueron organizados y analizados de acuerdo con el diseño de bloques completos al azar, conformado por cuatro tratamientos y siete repeticiones. Para las variables productivas, como el peso fresco y el rendimiento, se analizaron 30 plantas por tratamiento, distribuidas en tres unidades experimentales. Se aplicó estadística descriptiva para calcular peso total, promedio por planta y rendimiento agrícola estimado.

Tabla 6

Esquema del análisis de varianza del diseño experimental

Fuente de variación	Fórmula	Cálculo	Grados de libertad
Tratamientos	$T - 1$	$4 - 1$	3
Bloques o repeticiones	$r - 1$	$7 - 1$	6
Error experimental	$(T - 1)(r - 1)$	$(4 - 1)(7 - 1)$	18
Total	$Tr - 1$	$(4 \times 7) - 1$	27

Nota. T = número de tratamientos; r = número de repeticiones. El diseño estuvo conformado por cuatro tratamientos y siete repeticiones, para un total de 28 unidades experimentales y 27 grados de libertad.

Fuente: Diseño experimental de la investigación. **Elaborado por:** La autora, 2026.

4. RESULTADOS

4.1 Efectividad de los hongos entomopatógenos sobre la incidencia de insectos y el desarrollo del cultivo de acelga

4.1.1 Porcentaje de hojas sanas por tratamiento

En la Tabla 7 se presenta el porcentaje de hojas sanas registrado en cada tratamiento durante las dos fechas de evaluación. El análisis descriptivo permitió observar diferencias en el estado sanitario del follaje entre las plantas tratadas con hongos entomopatógenos y el testigo absoluto.

Tabla 7

Porcentaje de hojas sanas según el tratamiento

Tratamiento	Media (g)	Nivel de significado
T3: <i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	97,64	a
T2: <i>Metarhizium anisopliae</i>	95,06	a b
T1: <i>Beauveria bassiana</i>	88,74	b
T4: Testigo absoluto	70,78	c
Coeficiente de variación	4.89	%

Nota. Fecha 1: 2 de diciembre de 2025; Fecha 2: 7 de enero de 2026. T1: *Beauveria bassiana*; T2: *Metarhizium anisopliae*; T3: *B. bassiana* + *M. anisopliae*; T4: testigo absoluto. Para cada tratamiento se evaluaron 30 plantas, seleccionadas en cada una de la unidades experimentales.

Fuente: Datos obtenidos durante el ensayo experimental. **Elaborado por:** La autora, 2026.

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable porcentaje de hojas sanas. El tratamiento T3, correspondiente a la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliae*, registró el mayor porcentaje de hojas sanas (97,64 %), ubicándose en el grupo estadístico A. Este tratamiento no presentó diferencias significativas con T2 (*Metarhizium anisopliae*), el cual alcanzó un promedio de 95,06 % y se ubicó en el grupo AB. Por su parte, T1 (*Beauveria bassiana*) obtuvo un valor intermedio de 88,74 %, perteneciendo al grupo B, lo que indica que difirió significativamente de T3, pero no de T2. El tratamiento testigo absoluto (T4) presentó el menor porcentaje de hojas

sanas (70,78 %), ubicándose en el grupo C y diferenciándose estadísticamente de todos los tratamientos con aplicación de hongos entomopatógenos. Estos resultados demuestran que la aplicación de agentes de control biológico mejoró significativamente el estado sanitario del follaje, siendo la combinación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* la alternativa más eficiente para incrementar el porcentaje de hojas sanas en comparación con el manejo sin aplicación.

4.1.2 Incidencia de insectos plaga

En la Tabla 8 se presenta el porcentaje de incidencia de insectos plaga registrado en los tratamientos durante las dos fechas de evaluación. Los resultados fueron analizados descriptivamente para comparar el comportamiento de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, la combinación de ambos hongos entomopatógenos y el testigo absoluto.

Tabla 8

Porcentaje de incidencia de insectos.

Tratamiento	Media (g)	Nivel de significado
T4: Testigo absoluto	70,9	a
T2: <i>Metarhizium anisopliae</i>	21,4	b
T1: <i>Beauveria bassiana</i>	18,66	b
T3: <i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	12,68	c
Coeficiente de variación	5,39	%

Nota. Medias seguidas por letras iguales en una misma columna no difieren significativamente según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Fuente: Datos obtenidos durante el ensayo experimental. **Elaborado por:** La autora, 2026.

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la variable porcentaje de incidencia de insectos. El tratamiento testigo absoluto (T4) presentó la mayor incidencia de insectos, con un promedio de 70,90 %, ubicándose en el grupo estadístico A, lo que evidencia una mayor presencia de la plaga en ausencia de control biológico. Por el contrario, los tratamientos con hongos entomopatógenos redujeron significativamente la incidencia de insectos. El tratamiento T3, correspondiente a la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* + *Metarhizium*

anisopliae, registró el menor porcentaje de incidencia (12,68 %), diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos al ubicarse en el grupo C. Los tratamientos T1 (*Beauveria bassiana*) y T2 (*Metarhizium anisopliae*) alcanzaron valores intermedios de 18,66 % y 21,40 %, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos al pertenecer al mismo grupo estadístico (B). Estos resultados indican que la aplicación combinada de ambos hongos entomopatógenos fue la estrategia más eficaz para disminuir la incidencia de insectos, superando el efecto obtenido con las aplicaciones individuales.

4.1.3 Peso fresco de las plantas en (g)

En la Tabla 9 se presenta el peso fresco de las plantas evaluadas en cada tratamiento. Para cada tratamiento se consideraron 30 plantas, correspondientes a en cada una de las unidades experimentales. A partir del peso total registrado se calculó el peso promedio por planta, lo que permitió comparar el comportamiento productivo de los tratamientos con hongos entomopatógenos y el testigo absoluto.

Tabla 9

Peso fresco de las plantas en gramo

Tratamiento	Media (g)	Nivel de significado
T3: <i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	171,8	a
T1: <i>Beauveria bassiana</i>	147,6	b
T2: <i>Metarhizium anisopliae</i>	147,6	b
T4: Testigo absoluto	141,8	c
Coeficiente de variación	3,71	%

Nota. En cada tratamiento se evaluaron 30 plantas, correspondientes a 10 plantas seleccionadas en cada una de tres unidades experimentales. El peso promedio por planta se obtuvo dividiendo el peso total de las 30 plantas para 30 y convirtiendo el resultado de kilogramos a gramos. T1: *Beauveria bassiana*; T2: *Metarhizium anisopliae*; T3: combinación de *B. bassiana* y *M. anisopliae*; T4: testigo absoluto.

Fuente: Datos obtenidos durante la cosecha. **Elaborado por:** La autora, 2026.

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para la variable número de insectos muertos. El tratamiento T3, correspondiente a la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliae*, registró el mayor promedio de insectos muertos (171,80), ubicándose en el grupo estadístico A, lo que demuestra la mayor eficacia del tratamiento combinado en el control de la

plaga. Los tratamientos T1 (*Beauveria bassiana*) y T2 (*Metarhizium anisopliae*) presentaron valores intermedios de 147,60 y 141,80 insectos muertos, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos al pertenecer al grupo B. Por su parte, el tratamiento testigo absoluto (T4) obtuvo el menor promedio (71,73), ubicándose en el grupo C y diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Estos resultados evidencian que la aplicación de hongos entomopatógenos incrementó significativamente la mortalidad de insectos en comparación con el tratamiento sin aplicación, siendo la combinación de ambos microorganismos la alternativa más efectiva.

4.2 Rendimiento del cultivo de acelga

4.2.1. Rendimiento kg/ha

En la Tabla 10 se presenta el rendimiento estimado de cada tratamiento durante las dos fechas de evaluación, calculado a partir del peso total obtenido de las 30 plantas evaluadas. Los resultados permitieron comparar estadísticamente los valores promedio y las variaciones porcentuales registradas entre los tratamientos con hongos entomopatógenos y el testigo absoluto.

Tabla 10

Rendimiento del cultivo de acelga según los tratamientos

Tratamiento	Media (g)	Nivel de significado
T3: <i>Beauveria bassiana</i> + <i>Metarhizium anisopliae</i>	6872	a
T1: <i>Beauveria bassiana</i>	5904	b
T2: <i>Metarhizium anisopliae</i>	5672	b
T4: Testigo absoluto	2920	c
Coeficiente de variación	3,78	%

Nota. Elaborado por la autora, 2026.

Fuente: Datos obtenidos durante la cosecha.

Elaborado por: La autora, 2026.

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para la variable rendimiento. El tratamiento T3, correspondiente a la aplicación conjunta de

Beauveria bassiana + *Metarhizium anisopliae*, alcanzó el mayor rendimiento con un promedio de 6872 kg ha⁻¹, ubicándose en el grupo estadístico A. Los tratamientos T1 (*Beauveria bassiana*) y T2 (*Metarhizium anisopliae*) registraron rendimientos de 5904 kg ha⁻¹ y 5672 kg ha⁻¹, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos al pertenecer al grupo B. Por su parte, el tratamiento testigo absoluto (T4) obtuvo el menor rendimiento (2920 kg ha⁻¹), ubicándose en el grupo C y diferenciándose estadísticamente de todos los tratamientos con aplicación de hongos entomopatógenos. Estos resultados demuestran que el empleo de agentes de control biológico contribuyó significativamente al incremento del rendimiento del cultivo, siendo la aplicación combinada de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* la alternativa más eficiente, probablemente debido a un mejor control de la plaga y a la consecuente reducción del daño ocasionado sobre el cultivo.

4.3 Análisis beneficio/costo

4.3.1 Relación beneficio/costo

La Tabla 11 presenta los costos registrados para la aplicación de los tratamientos y el manejo del cultivo de acelga. El análisis económico se realizó mediante la suma de los costos y el cálculo de la participación porcentual de cada rubro respecto al costo total del ensayo.

Tabla 11

Análisis económico

Concepto	T1	T2	T3	TESTIGO
Costo fijo	1.600,00	1.600,00	1.600,00	1.600,00
Costo variable	139	147	197	0
Costo total	1.739,00	1.747,00	1.797,00	1.600,00
R. (kg/ha)	5.904,00	5.672,00	6.872,00	2.920,00
R. (qq/ha)	5.313,60	5.104,80	6.184,80	2.628,00
Precio (USD/KG)	0,55	0,55	0,55	0,55
Ingreso bruto	2.922,48	2.807,64	3.401,64	1.445,40
Beneficio neto	1.183,48	1.060,64	1.604,64	-154,60
Relación (B/C)	1,7	1,6	1,9	0,9

Nota. Los valores monetarios se expresan en dólares estadounidenses.

Fuente: Costos e ingresos estimados durante la investigación.

Elaborado por: La autora, 2026.

El análisis económico de los tratamientos evidenció que la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliae* (T3) fue la alternativa más rentable. Aunque este tratamiento presentó el mayor costo variable (USD 197,00) y, por consiguiente, el mayor costo total de producción (USD 1.797,00), también alcanzó el mayor rendimiento (6.872 kg ha⁻¹), lo que permitió obtener el ingreso bruto más alto (USD 3.401,64) y un beneficio neto de USD 1.604,64. Asimismo, registró la mayor relación beneficio/costo (B/C = 1,9), indicando que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno de USD 1,90, lo que demuestra su alta viabilidad económica.

El tratamiento T1 (*Beauveria bassiana*) ocupó el segundo lugar en rentabilidad, con un costo total de USD 1.739,00, un rendimiento de 5.904 kg ha⁻¹ y un beneficio neto de USD 1.183,48. Su relación beneficio/costo fue de 1,7, lo que significa que por cada dólar invertido se generó un retorno de USD 1,70. Por su parte, T2 (*Metarhizium anisopliae*) presentó un costo total de USD 1.747,00, un rendimiento de 5.672 kg ha⁻¹ y un beneficio neto de USD 1.060,64, alcanzando una relación beneficio/costo de 1,6. Aunque ambos tratamientos fueron económicamente rentables, sus resultados fueron inferiores a los obtenidos con la aplicación combinada de los dos hongos entomopatógenos.

En contraste, el tratamiento testigo absoluto presentó el menor rendimiento (2.920 kg ha⁻¹) y el menor ingreso bruto (USD 1.445,40). A pesar de no incurrir en costos variables asociados al control biológico, el beneficio neto fue negativo (-USD 154,60), con una relación beneficio/costo de 0,9. Esto indica que los ingresos generados no fueron suficientes para cubrir los costos de producción, evidenciando pérdidas económicas. En términos financieros, una relación B/C inferior a 1 refleja que la actividad no es rentable, mientras que valores superiores a 1, como los obtenidos en T1, T2 y T3, demuestran la factibilidad económica de implementar tratamientos con hongos entomopatógenos. En consecuencia, la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* se presenta como la alternativa más conveniente desde el punto de vista agronómico y económico, al maximizar el rendimiento del cultivo y la rentabilidad de la inversión.

5. DISCUSIÓN

El primer objetivo específico consistió en evaluar la efectividad de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre la incidencia de insectos y el estado sanitario del cultivo de acelga. Los resultados evidenciaron que la aplicación combinada de ambos hongos entomopatógenos (T3) obtuvo el mayor porcentaje de hojas sanas (97,64 %) y la menor incidencia de insectos (12,68 %), superando significativamente a las aplicaciones individuales y al testigo absoluto. Estos resultados coinciden con lo reportado por Culqui (2023), quien identificó aislamientos de *Beauveria* y *Metarhizium* con capacidad para provocar el 100 % de mortalidad en larvas de *Galleria mellonella*, demostrando su elevado potencial como agentes de control biológico. De igual manera, Silva et al. (2021). encontraron que la aplicación combinada de ambos hongos incrementó significativamente la mortalidad de *Bemisia tabaci* en cultivos hortícolas, confirmando que la interacción entre estos microorganismos mejora el control de insectos plaga respecto a las aplicaciones individuales. Asimismo, los resultados son consistentes con lo señalado por Murillo et al. (2021), quienes indicaron que la eficacia de *B. bassiana* y *M. anisopliae* depende de la especie del insecto, el cultivo y las condiciones ambientales, aspecto que explica el elevado desempeño observado bajo las condiciones del presente estudio.

El segundo objetivo específico fue determinar el efecto de los hongos entomopatógenos sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de acelga. Los resultados mostraron que el tratamiento combinado (T3) alcanzó el mayor peso fresco de las plantas (171,80 g) y el mayor rendimiento (6872 kg ha⁻¹), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos individuales y del testigo. Estos resultados respaldan lo reportado por Liu et al. (2022), quienes demostraron que *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* pueden colonizar los tejidos vegetales y favorecer el crecimiento mediante una mayor absorción de nutrientes y un mejor desarrollo radicular. Además, la menor incidencia de insectos registrada en el tratamiento combinado permitió conservar una mayor superficie foliar funcional, favoreciendo la fotosíntesis y la acumulación de biomasa, lo que se reflejó en un incremento significativo del

rendimiento. Sin embargo, los resultados también deben interpretarse considerando lo expuesto por Dannon et al. (2021), quienes señalaron que la eficacia de *Beauveria bassiana* está influenciada por factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar y la persistencia de la formulación, aspectos que pueden modificar el comportamiento de los hongos bajo condiciones de campo.

El tercer objetivo específico consistió en evaluar la rentabilidad económica de los tratamientos aplicados. El análisis beneficio/costo evidenció que el tratamiento T3 presentó la mayor rentabilidad, con una relación B/C de 1,9, un beneficio neto de USD 1.604,64 y el mayor ingreso bruto, mientras que el testigo absoluto registró una relación B/C de 0,9, indicando pérdidas económicas. Estos resultados demuestran que, aunque la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* implicó un mayor costo de producción, dicho incremento fue ampliamente compensado por el aumento del rendimiento y la reducción del daño ocasionado por los insectos plaga. En consecuencia, la utilización de ambos hongos representa una alternativa técnica y económicamente viable para el manejo fitosanitario del cultivo de acelga, contribuyendo a disminuir la dependencia de insecticidas químicos y promoviendo sistemas de producción más sostenibles, en concordancia con el enfoque de control biológico propuesto por Culqui (2023), Silva et al. (2021). y Dannon et al. (2021).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La aplicación de los hongos entomopatógenos redujo significativamente la incidencia de insectos y mejoró el estado sanitario del cultivo de acelga. El tratamiento conformado por la combinación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* presentó el mayor porcentaje de hojas sanas (97,64 %) y la menor incidencia de insectos (12,68 %), evidenciando una mayor eficacia en el control biológico respecto a las aplicaciones individuales y al testigo absoluto.

La combinación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* favoreció el crecimiento y el rendimiento del cultivo de acelga. Este tratamiento alcanzó el mayor peso fresco de las plantas (171,80 g) y el mayor rendimiento (6872 kg ha⁻¹), demostrando que un adecuado manejo fitosanitario mediante control biológico contribuye a mejorar la productividad del cultivo.

Los tratamientos individuales con *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* constituyeron alternativas efectivas para el manejo de insectos plaga, al reducir significativamente la incidencia de insectos y aumentar el rendimiento en comparación con el testigo absoluto; sin embargo, su efecto fue inferior al obtenido con la aplicación conjunta de ambos hongos entomopatógenos.

Desde el punto de vista económico, la aplicación conjunta de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* fue la alternativa más rentable, al registrar una relación beneficio/costo de 1,9 y un beneficio neto de USD 1.604,64, mientras que el tratamiento testigo presentó una relación beneficio/costo inferior a la unidad (0,9), evidenciando pérdidas económicas. Por tanto, la aplicación combinada de ambos hongos constituye una estrategia técnica y económicamente viable para el manejo sostenible de insectos plaga en el cultivo de acelga.

6.2 Recomendaciones

Implementar la aplicación combinada de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como estrategia de control biológico en el cultivo de acelga, debido a que este tratamiento presentó la mayor eficacia en la reducción de la incidencia de

insectos, mejoró el estado sanitario del cultivo y alcanzó el mayor rendimiento y rentabilidad económica.

Incorporar el uso de hongos entomopatógenos dentro de programas de manejo integrado de plagas (MIP), combinando prácticas culturales, monitoreo periódico de insectos y aplicaciones oportunas, con el fin de disminuir la dependencia de insecticidas químicos y promover una producción agrícola más sostenible y amigable con el ambiente.

Realizar investigaciones complementarias que evalúen diferentes dosis, frecuencias y épocas de aplicación de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, así como su compatibilidad con otros métodos de control biológico o bioinsumos, con el propósito de optimizar su eficacia bajo distintas condiciones agroecológicas.

Desarrollar estudios de validación en diferentes zonas de producción y épocas del año, considerando la influencia de factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar sobre la persistencia y efectividad de los hongos entomopatógenos, para generar recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones de cada región.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, D., Petropoulos, S. A., da Silveira, T. F. F., Pires, T. C. S. P., Ferreira, I. C. F. R., Fernandes, Â., & Barros, L. (2025). Exploring the biochemical profile of *Beta vulgaris* L.: A comparative study of beetroots and Swiss chard. *Plants*, 14(4), 591. <https://doi.org/10.3390/plants14040591>
- Alwaneen, W. S., Tahir, M., Avery, P. B., Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Eleftheriadou, N., Boukouvala, M. C., Rasool, K. G., Husain, M., & Aldawood, A. S. (2024). Initial evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium robertsii*, and the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora*, individually and in combination against the noxious *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Agronomy*, 14(7), 1395. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071395>
- Chebet, O. N., Omosa, L. K., Subramanian, S., Nchiozem-Ngnitedem, V.-A., Mmari, J. O., & Akutse, K. S. (2021). Mechanism of action of endophytic fungi *Hypocrea lixii* and *Beauveria bassiana* in *Phaseolus vulgaris* as biopesticides against pea leafminer and fall armyworm. *Molecules*, 26(18), 5694. <https://doi.org/10.3390/molecules26185694>
- Culqui Quinatoa, J. B. (2023). Aislamiento y caracterización de microorganismos entomopatógenos en dos sistemas de producción agrícola familiar representativos de la comunidad San Francisco [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional de la *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19388>
- Dannon, H., Dannon, A., Douro, O., Zinsou, A. V., Houndete, A. T., Toffa-Mehinto, J., Elegbede, I. A. T. M., Olou, B. D., & Tamò, M. (2020). Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research*, 3(1), Article 24. <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>
- Gruda, N. S., Samuolienė, G., Dong, J., & Li, X. (2025). Environmental conditions and nutritional quality of vegetables in protected cultivation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(2), e70139. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70139>

- Hamza, M. A., Ishtiaq, M., Mehmood, M. A., Majid, M. A., Gohar, M., Radicetti, E., Mancinelli, R., Iqbal, N., & Civolani, S. (2023). Management of vegetable leaf miner, *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae), in vegetable crops. *Horticulturae*, 9(2), 255. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020255>
- Izuafa, A., Chimbekujwo, K. I., Raji, R. O., Oyewole, O. A., Oyewale, R. O., & Abioye, O. P. (2025). Application of nanoparticles for targeted management of pests, pathogens and disease of plants. *Plant Nano Biology*, 13, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100177>
- Jócsák, I., Csóka, Á., Donkó, T., Végvári, G., Gerbovits, B., Csimá, F., & Keszthelyi, S. (2026). Integrated structural, physiological, and molecular assessment of sugar beet infested by *Scrobipalpa ocellatella* under field conditions. *Antioxidants*, 15(5), 624. <https://doi.org/10.3390/antiox15050624>
- Knez, M., Mattas, K., Gurinovic, M., Gkotzamani, A., & Koukounaras, A. (2024). Revealing the power of green leafy vegetables: Cultivating diversity for health, environmental benefits, and sustainability. *Global Food Security*, 43, 100816. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2024.100816>
- Kobmoo, N., Mongkolsamrit, S., Khonsanit, A., Cedeño-Sanchez, M., Arnarnart, N., Noisripoom, W., Kwantong, P., Sonthirod, C., Pootakham, W., Amnuaykanjanasin, A., Charria-Girón, E., Stadler, M., & Luangsa-Ard, J. J. (2024). Integrative taxonomy of the *Metarhizium anisopliae* species complex, based on phylogenomics combined with morphometrics, metabolomics, and virulence data. *IMA Fungus*, 15(1), Article 30. <https://doi.org/10.1186/s43008-024-00154-9>
- Lamzira, R., El Fakhouri, K., Boulamtat, R., Kemal, S. A. A., Oubayoucef, A., Ramdani, C., Meftah Kadmiri, I., & El Bouhssini, M. (2025). Multifunctional roles of intercropping in the management of insect pests affecting pulse crops: A comprehensive bibliometric analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Article 1599254. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1599254>
- Liu, Y., Yang, Y., & Wang, B. (2022). Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles as maize (*Zea mays*)

- growth promoters. *Scientific Reports*, 12(1), Article 15706. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19899-7>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Fernández-Viveros, J. A., Villegas Narváez, J., López-Morales, V., Vázquez-Hernández, A., & Meneses-Márquez, I. (2020). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas. *Biotechnia*, 22(1), 39–47. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i1.1123>
- Nanda, A., Mohapatra, B. B., Mahapatra, A. P. K., & Mahapatra, A. P. K. (2021). Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 6(1), 59–65. <https://doi.org/10.22271/math.2021.v6.i1a.636>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2025). Green leafy vegetables (GLVs) as nutritional and preventive agents supporting metabolism. *Metabolites*, 15(8), 502. <https://doi.org/10.3390/metabo15080502>
- Rivelli, A. R., & Libutti, A. (2022). Effect of biochar and inorganic or organic fertilizer co-application on soil properties, plant growth and nutrient content in Swiss chard. *Agronomy*, 12(9), 2089. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092089>
- Rurii, M. W., & Nzenya Daniel, M. (2026). A scoping review of literature on adoption and impact of climate-smart agricultural technologies by smallholder farmers in Africa. *Frontiers in Climate*, 7, Article 1692929. <https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1692929>
- Salinas Ruíz, J., Montesinos López, O. A., & Crossa, J. (2024). Randomized complete block design. En J. Salinas Ruíz, O. A. Montesinos López, & J. Crossa (Eds.), *Introduction to experimental designs with PROC GLIMMIX of SAS: Applications in food science and agricultural science* (pp. 75–98). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65575-3_4
- Seidu, A., Abudulai, M., Dzomeku, I. K., Mahama, G. Y., Nboyine, J. A., Appaw, W., Akromah, R., Arthur, S., Bolfrey-Arku, G., Mochiah, M. B., Jordan, D. L., Brandenburg, R. L., MacDonald, G., Balota, M., Hoisington, D., & Rhoads, J. (2024). Evaluation of production and pest management

- practices in peanut (*Arachis hypogaea*) in Ghana. *Agronomy*, 14(5), 972.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14050972>
- Sezgin, M., Akyıldız, M., Olmez Bayhan, S., & Bayhan, E. (2025). Effect of temperatures on some biological parameters of *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) on lentil. *PeerJ*, 13, e19865.
<https://doi.org/10.7717/peerj.19865>
- Shezi, S., Ngcobo, M. E. K., Khanyile, N., & Ncama, K. (2024). Physio-metabolic mechanisms behind postharvest quality deterioration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*): A review. *Plants*, 13(22), 3174.
<https://doi.org/10.3390/plants13223174>
- Shrivastava, V., Edayilam, N., Singla Just, B., Castaño-Sanchez, O., Díaz-Guerra, L., & Meers, E. (2024). Evaluation of agronomic efficiency and stress resistance on Swiss chard via use of biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 330, 113053.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113053>
- Silva, R., Vargas, J., Sánchez, J., Oliva, R., Alarcón, T., & Panduro, P. P. V. (2021). *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como controladores compatibles y eficientes de insectos plaga en cultivos acuapónicos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 419–426.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.14>
- Sutanto, K. D., Husain, M., Rasool, K. G., Malik, A. F., Al-Qahtani, W. H., & Aldawood, A. S. (2022). Persistency of indigenous and exotic entomopathogenic fungi isolates under ultraviolet B (UV-B) irradiation to enhance field application efficacy and obtain sustainable control of the red palm weevil. *Insects*, 13(1), 103.
<https://doi.org/10.3390/insects13010103>
- Tanga, C. M., & Kababu, M. O. (2023). New insights into the emerging edible insect industry in Africa. *Animal Frontiers*, 13(4), 26–40.
<https://doi.org/10.1093/af/vfad039>
- Verdadero, F. X. D., Agarap, A. Z., Macatingrao, C. N. E., Ordonez, I. A., Tavu, L. E. J., Pires, D., & Balendres, M. A. O. (2025). Pesticides in the environment: Benefits, harms, and detection methods. *Sci*, 7(4), 171.
<https://doi.org/10.3390/sci7040171>

- Wang, L., Lv, J., Zhu, X., Zhang, K., Shi, Q., Wang, L., Ma, W., Ji, J., Luo, J., & Cui, J. (2025). Reproduction and wing differentiation of gynoparae are regulated by juvenile hormone signaling in *Aphis gossypii*. *Insects*, *16*(6), 559. <https://doi.org/10.3390/insects16060559>
- Yahaya, T. O., Abdulmalik, A., Izuafa, A., Adeosun, A. A., Abdullahi, H., Ahmed, H., Daniel, A., & Ibrahim, Y. Y. (2022). Occurrence and identities of insect pests of vegetables in Ikorodu, Lagos, Nigeria. *Algerian Journal of Biosciences*, *3*(2), 61–67. https://www.researchgate.net/publication/366685807_
- Zhang, X., Yao, G., Vishwakarma, S., Dalin, C., Komarek, A. M., Kanter, D. R., Davis, K. F., Pfeifer, K., Zhao, J., Zou, T., D'Odorico, P., Folberth, C., Rodriguez, F. G., Fanzo, J., Rosa, L., Dennison, W., Musumba, M., Heyman, A., & Davidson, E. A. (2021). Quantitative assessment of agricultural sustainability reveals divergent priorities among nations. *One Earth*, *4*(9), 1262–1277. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.08.015>
- Zheng, J.-Y., Jian, C.-C., & Wang, D. (2024). Virulence and pathological characteristics of a new *Metarhizium anisopliae* strain against Asian long-horn beetle *Anoplophora glabripennis* larvae. *Forests*, *15*(6), 1045. <https://doi.org/10.3390/f15061045>

ANEXOS

Análisis de la varianza hojas sanas %

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hojas sanas	20	0,91	0,86	4,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2265,03	7	323,58	17,46	<0,0001
TRATAMIENTOS	2199,19	3	733,06	39,56	<0,0001
Repeticiones	65,84	4	16,46	0,89	0,5001
Error	222,38	12	18,53		
Total	2487,41	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,08323

Error: 18,5318 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
t3	97,64	5	1,93	A
t2	95,06	5	1,93	A B
t1	88,74	5	1,93	B
testigo	70,78	5	1,93	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,70253

Error: 18,5318 gl: 12

Repeticiones	Medias	n	E.E.	
r5	90,60	4	2,15	A
r4	89,45	4	2,15	A
r1	87,60	4	2,15	A
r3	87,25	4	2,15	A
r2	85,38	4	2,15	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza incidencia de plagas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Incidencia de insectos pla..	20	1,00	1,00	5,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10888,74	7	1555,53	560,60	<0,0001
TRATAMIENTOS	10860,18	3	3620,06	1304,64	<0,0001
Repeticiones	28,56	4	7,14	2,57	0,0917
Error	33,30	12	2,77		
Total	10922,04	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,12779

Error: 2,7748 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
testigo	70,90	5	0,74	A
t2	21,40	5	0,74	B
t1	18,66	5	0,74	B
t3	12,68	5	0,74	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,75438

Error: 2,7748 gl: 12

Repeticiones	Medias	n	E.E.
r4	32,48	4	0,83 A
r5	31,98	4	0,83 A
r3	30,90	4	0,83 A
r2	29,85	4	0,83 A
r1	29,35	4	0,83 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza peso por planta en gramos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columnal	19	0,99	0,98	3,71

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24319,07	7	3474,15	135,98	<0,0001
TRATAMIENTOS	24147,31	3	8049,10	315,05	<0,0001
Repeticiones	171,77	4	42,94	1,68	0,2239
Error	281,03	11	25,55		
Total	24600,11	18			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,91695

Error: 25,5485 gl: 11

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
t3	171,80	5	2,26 A
t1	147,60	5	2,26 B
t2	141,80	5	2,26 B
testigo	71,73	4	2,61 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,93781

Error: 25,5485 gl: 11

Repeticiones	Medias	n	E.E.
r5	136,17	3	3,01 A
r4	135,50	4	2,53 A
r3	134,75	4	2,53 A
r2	131,75	4	2,53 A
r1	128,00	4	2,53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza rendimiento kg/ha

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
rendimiento kg/ha	20	0,99	0,98	3,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43522960,00	7	6217565,71	152,84	<0,0001
TRATAMIENTOS	43158640,00	3	14386213,33	353,64	<0,0001
Repeticiones	364320,00	4	91080,00	2,24	0,1257
Error	488160,00	12	40680,00		
Total	44011120,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=378,71822

Error: 40680,0000 gl: 12

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
t3	6872,00	5	90,20	A
t1	5904,00	5	90,20	B
t2	5672,00	5	90,20	B
testigo	2920,00	5	90,20	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=454,58640

Error: 40680,0000 gl: 12

Repeticiones	Medias	n	E.E.	
r5	5510,00	4	100,85	A
r4	5420,00	4	100,85	A
r3	5390,00	4	100,85	A
r2	5270,00	4	100,85	A
r1	5120,00	4	100,85	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 1

Preparación del terreno para el establecimiento del cultivo



Nota. Limpieza y acondicionamiento del área destinada al establecimiento de las unidades experimentales. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 2

Trasplante de las plántulas de acelga



Nota. Establecimiento de las plántulas de acelga en las parcelas experimentales. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 3

Delimitación de las unidades experimentales



Nota. Distribución y delimitación de las parcelas correspondientes a los tratamientos y repeticiones del ensayo. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 4

Desarrollo de las plantas una semana después del trasplante



Nota. Estado inicial de las plantas de acelga durante la primera semana posterior al trasplante. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 5

Identificación de las unidades experimentales



Nota. Colocación de estacas y elementos de identificación para la organización de los tratamientos en campo. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 6

Desarrollo del cultivo después de la aplicación de los tratamientos



Nota. Estado general de las plantas de acelga posterior a la aplicación de los hongos entomopatógenos. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 7

Evaluación visual del estado sanitario de las hojas



Nota. Revisión de hojas sanas y de posibles daños ocasionados por insectos en el tratamiento T3. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 8

Control manual de malezas en el cultivo de acelga



Nota. Eliminación manual de malezas presentes en las unidades experimentales. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 9*Medición y conteo de hojas durante el monitoreo del cultivo*

Nota. Registro en campo del número de hojas y evaluación visual de los daños presentes en las plantas de acelga. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 10*Evaluación del estado sanitario del cultivo de acelga*

Nota. Observación y conteo de hojas sanas y hojas con daños visibles en las plantas evaluadas. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 11

Cosecha de plantas para la evaluación de las variables productivas



Nota. Recolección de plantas de acelga para el conteo de hojas y la determinación del peso fresco. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 12

Determinación del peso fresco de las plantas de acelga



Nota. Pesaje de las plantas cosechadas mediante una balanza digital para el registro del peso fresco. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 13

Registro de hojas sanas y hojas afectadas por insectos



Nota. Evaluación y registro de las hojas de las plantas correspondientes a cada tratamiento. Elaborado por: La autora, 2026.

Anexo 14

Supervisión del desarrollo del ensayo experimental



Nota. Revisión del establecimiento y estado fitosanitario del cultivo durante la visita del tutor. Elaborado por: La autora, 2026.