UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE *Trichoderma harzianum*, EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO *(Capsicum annuum)* BAJO CUBIERTA EN EL CANTÓN LA MANÁ

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros Agrónomos

AUTORES:

Ayuquina Ayuquina Luis Steven
Jara Ríos Anthony Javier

TUTOR:

Pincay Ronquillo Wellington Jean

LA MANÁ - COTOPAXI
AGOSTO-2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Ayuquina Ayuquina Luis Steven, con cédula de ciudadanía No. 1851060168 y Jara Ríos Anthony Javier, con cédula de ciudadanía No. 1208400646, declaramos ser autores del presente **"EVALUACIÓN DE *Trichoderma harzianum*, EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO *(Capsicum annuum)* BAJO CUBIERTA EN EL CANTÓN LA MANÁ"**, siendo el Ing. Wellington Jean Pincay Ronquillo MSc., Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Maná, agosto del 2026

Ayuquina Ayuquina Luis Steven
C.C: 1851060168

Anthony Javier Jara Ríos
C.C: 1208400646

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del proyecto de investigación sobre el título:

"EVALUACIÓN DE *Trichoderma harzianum*, EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO *(Capsicum annuum)* BAJO CUBIERTA EN EL CANTÓN LA MANÁ", de Ayuquina Ayuquina Luis Steven y Jara Ríos Anthony Javier, de la carrera de Agronomía, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, agosto del 2026

Pincay Ronquillo Wellington Jean
C.C: 1206384586
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Carrera de Agronomía; por cuanto, los postulantes: Ayuquina Ayuquina Luis Steven y Jara Ríos Anthony Javier, con el título del Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE *Trichoderma harzianum*, EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO *(Capsicum annuum)* BAJO CUBIERTA EN EL CANTÓN LA MANÁ"**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

La Maná, agosto del 2026

Para constancia firman:

Núñez Muñoz José Luis.
C.C: 1803082849
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Quinatoa Lozada Eduardo Fabián.
C.C: 1804011839
LECTOR 2
(MIEMBRO)

Espinosa Cunuhay Kleber Augusto.
C.C: 0502612740
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar este trabajo de investigación.

Agradezco de manera especial a la Universidad, por brindarme la formación académica y los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

Mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Wellington Pincay Ronquillo, por su orientación, paciencia y valiosos aportes científicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

A los docentes, quienes a lo largo de mi formación universitaria contribuyeron con sus enseñanzas y experiencia académica.

Luis

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar este trabajo de investigación.

Agradezco de manera especial a la Universidad, por brindarme la formación académica y los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

Mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Wellington Pincay Ronquillo, por su orientación, paciencia y valiosos aportes científicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

A los docentes, quienes a lo largo de mi formación universitaria contribuyeron con sus enseñanzas y experiencia académica.

Anthony

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi padre, quien, aunque no esté conmigo, me cuida y guía, y a mi madre por su amor incondicional, sacrificio y acompañamiento constante, quien ha sido mi principal fortaleza y motivación para culminar esta etapa de mi vida académica.

De manera especial, dedico este logro a mis hermanos, por sus enseñanzas, consejos y valores inculcados, y a mi novia quien me acompañó y guio en mi formación personal y profesional.

Luis

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y acompañamiento constante, quienes ha sido mi principal fortaleza y motivación para culminar esta etapa de mi vida académica.

De manera especial, dedico este logro a mis hermanas, por sus enseñanzas, consejos y valores inculcados, los cuales han sido fundamentales en mi formación personal y profesional.

Anthony

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÒN LA MANÀ

TÍTULO: "EVALUACIÓN DE *Trichoderma harzianum*, EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum*) BAJO CUBIERTA EN EL CANTÓN LA MANÁ"

Autores:
Ayuquina Ayuquina Luis Steven
Jara Ríos Anthony Javier

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento vegetativo, la producción, el comportamiento fisiológico y la incidencia de enfermedades del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta. El estudio se desarrolló en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador, mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 1, 2, 3 y 4 L ha^{-1} de *Trichoderma harzianum* y un testigo sin aplicación. Se evaluaron variables de crecimiento, fisiológicas, productivas y sanitarias, cuyos datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. Los resultados evidenciaron efectos positivos en las aplicaciones de *Trichoderma harzianum*, destacándose la dosis de 4 L ha^{-1} por presentar los mayores valores de altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, longitud de raíz, contenido de clorofila, índice de vigor, número de frutos por planta, peso promedio del fruto y rendimiento por planta, además de registrar la menor incidencia de enfermedades. Se concluye que la aplicación de *Trichoderma harzianum* a una dosis de 4 L ha^{-1} constituye una alternativa eficiente para mejorar el crecimiento, el comportamiento fisiológico, la productividad y la sanidad del cultivo de pimiento bajo cubierta, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles y con menor dependencia de insumos químicos.

Palabras clave: agricultura sostenible, microorganismo benéfico, crecimiento vegetativo, rendimiento, incidencia de enfermedades.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
LA MANÁ EXTENSION CAMPUS

TITLE: EVALUATION OF *Trichoderma harzianum* ON THE VEGETATIVE GROWTH AND YIELD OF SWEET PEPPER (*Capsicum annuum*) CULTIVATED UNDER PROTECTED CONDITIONS IN LA MANÁ CANTÓN

Authors:
Ayuquina Ayuquina Luis Steven
Jara Ríos Anthony Javier

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of different doses of *Trichoderma harzianum* on vegetative growth, production, physiological performance, and disease incidence in pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under protected conditions. The study was conducted in the La Maná canton, Cotopaxi Province, Ecuador, using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with five treatments and four replications. The treatments consisted of applications of 1, 2, 3, and 4 L ha^{-1} of *Trichoderma harzianum*, along with an untreated control. Growth, physiological, productive, and health-related variables were evaluated, and the data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons through Tukey's test at the 5% probability level. The results showed positive effects of *Trichoderma harzianum* applications, with the 4 L ha^{-1} dose standing out for producing the highest values of plant height, stem diameter, leaf area, root length, chlorophyll content, vigor index, number of fruits per plant, average fruit weight, and yield per plant, while also recording the lowest disease incidence. It is concluded that the application of *Trichoderma harzianum* at a dose of 4 L ha^{-1} constitutes an effective alternative for improving the growth, physiological performance, productivity, and health status of pepper crops under protected conditions, contributing to the development of more sustainable production systems with reduced dependence on chemical inputs.

Keywords: sustainable agriculture, beneficial microorganism, vegetative growth; yield; disease incidence.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
AGRADECIMIENTO vi
DEDICATORIA vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
1. INFORMACION GENERAL 1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 2
3. JUSTIFICACIÓN 3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4
4.1. Beneficiarios directos 4
4.2. Beneficiarios indirectos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 4
6. OBJETIVOS 6
6.1. Objetivo general 6
6.2. Objetivos específicos 6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS CON LOS OBJETIVOS 7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA 8
8.1. Origen y domesticación del cultivo de pimiento 8
8.2. Taxonomía y clasificación botánica 8
8.2.1. Características morfológicas y fisiológicas 9
8.2.2. Requerimiento edafoclimáticos ..... **¡Error! Marcador no definido.**
8.3. Producción de pimiento bajo cubierta 10
8.3.1. Agricultura protegida y sistemas bajo cubierta 10
8.3.2. Importancia de la producción bajo cubierta 11
8.3.3. Problemáticas asociadas a sistemas de producción bajo cubierta 12
8.3.4. Producción sostenible en sistemas bajo cubierta 12
8.4. Microorganismos benéficos en la agricultura 13

8.4.1. Generalidades de los microorganismos benéficos 13
8.4.2. Microorganismos promotores del crecimiento 13
8.4.3. Uso de microorganismos benéficos en la agricultura 14
8.5. *Trichoderma harzianum* 14
8.5.1. Taxonomía y características generales de la *Trichoderma harzianum* 14
8.5.2. Distribución y hábitat 15
8.5.3. Mecanismos de acción de *Trichoderma harzianum* 16
8.5.4. Efectos de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento y desarrollo vegetal ... 16
8.5.5. *Trichoderma harzianum* como agente de control biológico 17
8.5.6. Aplicaciones de *Trichoderma harzianum* en cultivos hortícolas bajo cubierta 17
8.6. Antecedentes de la investigación 18
9. HIPÓTESIS 19
9.1. Hipótesis nula 19
9.2. Hipótesis alternativa 19
10. METODOLOGÍA 20
10.1. Ubicación y duración del ensayo 20
10.2. Tipos de investigación 20
10.2.1. Cuantitativo 20
10.2.2. Experimental 20
10.2.3. De campo 20
10.2.4. Bibliográfica 20
10.3. Materiales y equipo 21
10.3.1. Características del producto comercial que contenía la *Trichoderma harzianum* 21
10.3.2. Característica del material vegetativo empleado en la investigación 21
10.3.3. Otros materiales o equipos empleados en la investigación 22
10.4. Diseño experimental 22
10.5. Tratamientos 23
10.6. Esquema del experimento 23
10.7. Análisis estadístico 23
10.8. Manejo del ensayo 24
10.8.1. Preparación del terreno 24
10.8.2. Análisis de suelo 24
10.8.3. Construcción de cubierta 24

10.8.4. Trasplante 25
10.8.5. Fertilización 25
10.8.6. Aplicaciones de *Trichoderma harzianum* 25
10.8.7. Riego 26
10.8.8. Control de malezas 26
10.8.9. Manejo fitosanitario 26
10.8.10. Cosecha 26
10.9. Variables de estudio 26
10.9.1. Altura de planta 26
10.9.2. Diámetro del tallo 27
10.9.3. Área foliar 27
10.9.4. Días a la floración 27
10.9.5. Contenido de clorofila 27
10.9.6. Vigor vegetativo 27
10.9.7. Índice de vigor vegetativo 29
10.9.8. Incidencia de enfermedades 29
10.9.9. Longitud de raíz 29
10.9.10. Contenido de materia seca 30
10.9.11. Número de frutos por planta 30
10.9.12. Rendimiento por planta y peso del fruto 30
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31
11.1. Altura de planta 31
11.2. Diámetro del tallo 32
11.3. Área foliar 33
11.4. Contenido de clorofila 34
11.5. Vigor vegetativo 35
11.6. Índice de vigor 36
11.7. Días a floración 37
11.8. Índice de enfermedades 38
11.9. Longitud de la raíz 39
11.10. Contenido de materia seca 40
11.11. Número de frutos 41
11.12. Rendimiento por planta y peso promedio del fruto 42

12. IMPACTOS 43
12.1. Técnicos 43
12.2. Social 43
12.3. Ambiental 43
12.4. Económico 43
13. PRESUPUESTO 44
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 45
14.1. Conclusiones 45
14.2. Recomendaciones 45
15. BIBLIOGRAFÍA 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas relacionadas con los objetivos de la investigación 7
Tabla 2. Clasificación taxonómica del cultivo de pimiento *Capsicum annuum* L. 9
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la *Trichoderma harzianum* 15
Tabla 4. Característica del producto comercial empleado que contenía a la T*richoderma harzianum*. 21
Tabla 5. Característica del material vegetativo de pimiento empleado en la investigación 21
Tabla 6. Otros materiales o equipos empleados en la investigación 22
Tabla 7. Tratamiento de la investigación 23
Tabla 8. Esquema del experimento 23
Tabla 9. Análisis de varianza de la investigación 24
Tabla 10. Escala visual para la evaluación del vigor de las plantas de pimiento 28
Tabla 11. Intervalos de interpretación del vigor de las plantas 28
Tabla 12. Altura de planta en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 31
Tabla 13. Diámetro del tallo en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 32
Tabla 14. Área foliar en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 33
Tabla 15. Contenido de clorofila en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 34
Tabla 16. Vigor vegetativo en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 35

Tabla 17. Índice de vigor en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 36
Tabla 18. Días a la floración en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 37
Tabla 19. Incidencia de enfermedades en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 38
Tabla 20. Longitud de la raíz en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 39
Tabla 21. Contenido de materia seca en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 40
Tabla 22. Numero de frutos en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 41
Tabla 23. Rendimiento por planta y peso del fruto en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 42
Tabla 24. Presupuesto en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná. 44

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:	Evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento *(Capsicum annuum)* bajo cubierta en el Cantón La Maná
Fecha de inicio:	Abril del 2026
Fecha de finalización:	Agosto del 2026
Lugar de ejecución:	Parroquia El Carmen del cantón La Maná
Facultad que auspicia:	Extensión La Maná
Carrera que auspicia:	Agronomía
Proyecto vinculado a:	Sector agrícola
Equipo de trabajo:	Ayuquina Ayuquina Steven Luis Jara Ríos Anthony Javier
Tutor:	Ing. Wellington Pincay Ronquillo MSc.
Área de conocimiento:	Agricultura
Línea de investigación:	Procesos tecnológicos, bioquímicos, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria
Sublínea de investigación:	Producción agrícola sostenible

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El cultivo de pimiento a nivel mundial está constituido como una de las hortalizas de mayor importancia en el aspecto económico como alimentario, gracias a su demanda muy alta en los mercados de consumo en fresco o de uso industrial, además de su valor nutricional y versatilidad gastronómica. La producción de esta hortaliza simboliza una fuente importante de ingresos económicos para pequeños y medianos productores, sobre todo en sistemas de producción intensivos protegidos o de ambientes controlados (bajo cubierta), donde constantemente se está buscando la optimización del rendimiento y de la calidad de los frutos por medio de un manejo agronómico tecnificado (Liu *et al.*, 2020).

En Ecuador este cultivo en los últimos años adquirió relevancia en la producción hortícola, especialmente en las zonas de clima cálido y húmedo, donde las condiciones climáticas favorecen su desarrollo, sin embargo, ciertos factores propios de la producción agrícola intensiva como el deterioro del suelo y la pérdida de su fertilidad, el uso indiscriminado de pesticidas o agroinsumos de origen químico, la presencia de plagas y enfermedades, limitan el crecimiento y la producción del pimiento, por ello, actualmente esta problemática impulsa la búsqueda de alternativas que puedan ser sostenibles y que se orienten a mejorar la salud de los suelos y a una producción más eficiente, por medio del uso de microorganismos benéficos (Herrera-Parra *et al.*, 2017).

Entre los microorganismos benéficos de mayor interés agrícola se destaca *Trichoderma harzianum*, ya que es ampliamente utilizado como un biocontrolador promotor del crecimiento vegetal, lo cual ha sido ratificado mediante diversas investigaciones que demuestran la capacidad que posee para colonizar la rizósfera, mejorando la absorción de nutrientes, estimular el desarrollo de las raíces y mejorar la resistencia de la planta frente a condiciones adversas, gracias a la producción de sustancias bioactivas y metabolitos que favorecen al fortalecimiento fisiológico del cultivo (Kouokap *et al.*, 2023).

Bajo este contexto, producir pimiento bajo cubierta representa una alternativa tecnológica, que permite un control parcial de las condiciones ambientales, disminuyendo los impactos ambientales negativos y mejorar la eficiencia productiva. Pese a esto es necesario la incorporación de estrategias biológicas para maximizar el potencial de este tipo de sistemas, por ello la presente investigación busca evaluar el efecto de *Trichoderma harzianum* en el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de pimiento bajo cubierta, por medio del análisis

de variables morfológicas, fisiológicas y productivas, generando información técnica que permita contribuir al manejo sostenible de este cultivo.

3. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas protegidos de producción hortícola en los últimos años han adquirido gran importancia, debido a la necesidad por el incremento de la producción agrícola que garantice alimentos de calidad mediante prácticas sostenibles. En este sentido el cultivo de pimiento representa una alternativa rentable, por su alta demanda comercial y su capacidad de adaptación en sistemas bajo cubierta, sin embargo, su producción intensiva, casi siempre está asociada al uso excesivo de agroquímicos, especialmente fertilizantes químicos, lo cual suele generar desequilibrios en los suelos, afectando la sostenibilidad de los sistemas productivos (Altieri & Nicholls, 2017).

Ante la realidad, el empleo de microorganismo benéfico se ha constituido como una alternativa viable para reducir el impacto ambiental provocado por las prácticas agrícolas convencionales además de mejorar el desarrollo y producción de los cultivos, donde *Trichoderma harzianum* destaca por su capacidad para estimular el desarrollo de raíces e incrementar la disponibilidad de nutrientes, así como también, ejercer control sobre fitopatógenos del suelo, favoreciendo al desarrollo fisiológico y contribuyendo al desarrollo y producción agrícola (Harman *et al.*, 2004).

En este contexto, la evaluación de *Trichoderma harzianum* en el desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento *(Capsicum annuum)* bajo cubierta, permite generar información de relevancia científica sobre el comportamiento agronómico del cultivo en las condiciones locales de La Maná. Los resultados de este estudio contribuyen a la ampliación del conocimiento respecto a la interacción entre microorganismos benéficos como *Trichoderma* y el cultivo de pimiento en ambientes protegidos o bajo cubierta, permitiendo identificar alternativas de producción que puedan ser utilizadas por productores locales como parte de un sistema de producción más eficientes y sostenibles, puesto que el uso de bioinsumos disminuye parcialmente la dependencia y uso de pesticidas químicos como fertilizantes, fungicidas entre otros, reduciendo los riesgos ambientales relacionados con la contaminación o degradación de suelos y los costos de producción (Woo *et al.*, 2014).

Por lo tanto, el presente estudio posee importancia científica, técnica, ambiental, económica y social, al promover el uso de tecnologías amigables con el ambiente, al evaluar el efecto de

Trichoderma harzianum en plantas de pimiento bajo cubierta y contribuir al uso de estrategias basadas en microorganismos benéficos y al fortalecimiento de una agricultura sostenible, generando información de utilidad para futuras investigaciones y para la toma de decisiones en sistemas de producción hortícolas del cantón La Maná.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1.Beneficiarios directo

Los agricultores, gracias a los conocimientos generados a partir de la ejecución de esta investigación, especialmente en el uso de microorganismos benéficos como *Trichoderma harzianum* para mejorar el crecimiento y rendimiento del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de producción protegida. Este estudio fortaleció, además, la formación académica y práctica de los estudiantes investigadores, fomentando la aplicación de alternativas biotecnológicas dentro de sistemas agrícolas más sostenibles.

4.2.Beneficiarios indirectos

Además de estudiantes de la carrera de Agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi y demás agentes de campo, se benefician indirectamente todas aquellas personas interesadas en incursionar en la agricultura sostenible, quienes pueden aplicar alternativas biotecnológicas amigables con el ambiente, como el uso de *Trichoderma harzianum*, en la producción de hortalizas como el pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de producción protegida. La información generada facilita la adopción de prácticas más eficientes, sostenibles y accesibles para distintos sistemas de cultivo.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El incremento de la productividad de los cultivos sin comprometer la sostenibilidad ambiental de los sistemas agrícolas constituye el desafío más importante que actualmente enfrenta la agricultura moderna, en un escenario a escala global, este aumento en la demanda de alimentos impulsa a que los sistemas agrícolas sean cada vez más intensivos, generando una fuerte presión sobre los recursos naturales afectando la estabilidad de los agroecosistemas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) señala que actualmente un tercio del suelo del mundo presentan degradación, comprometiendo de manera directa a la producción agrícola y la seguridad alimentaria, ya que se estima que el 95% de la producción de alimentos dependen directamente de la salud del suelo.

Simultáneamente, en las últimas décadas el uso de pesticidas agrícolas, muestra un incremento significativo, datos de la FAO indican que para el año 2022 el consumo de pesticidas a nivel mundial fue de 3.7 millones de toneladas en ingrediente activo, reflejando un incremento del 13% al compararlo con la última década y siendo el doble de lo empleado desde 1990. Así mismo, con relación al uso de pesticidas por unidad de superficie se refleja un aumento del 94% desde 1990 hasta 2022, demostrando que existe una alta dependencia a estos en la producción agrícola moderna (FAO, 2024).

En este contexto, como ya se ha señalado el cultivo de pimiento es una de las hortalizas de gran importancia económica y alimentaria gracias a su creciente demanda en los mercados globales, sin embargo, su producción intensiva con frecuencia requiere de grandes cantidades de insumos químicos como fertilizantes y productos fitosanitarios, práctica que genera no solo dependencia a estos productos, sino que también pueden generar desequilibrios en el suelo a nivel microbiológico y de su fertilidad, comprometiendo al desarrollo y producción de los cultivares (Carrillo *et al.*, 2022).

A nivel de América Latina y Ecuador, la producción hortícola en sistemas bajo cubierta ha incrementado su importancia, gracias a la necesidad de optimizar la productividad agrícola, reduciendo las pérdidas que ocasionan las condiciones climáticas adversas, sin embargo, se mantiene el sistema convencional, caracterizado por una alta dependencia al uso excesivo de agroquímicos, lo que suele incrementar además el costo de producción por unidad de superficie. Ante esta realidad, los microorganismos benéficos se destacan como una alternativa sostenible capaz de mejorar la nutrición vegetal, estimular el desarrollo vegetal y reducir la incidencia de agentes patógenos del suelo (Sood *et al.*, 2020).

La *Trichoderma harzianum* destaca como uno de los microorganismos con mayor potencial en la agricultura por los múltiples beneficios que ofrece al suelo y al cultivo, representando una alternativa biológica capaz de reducir parcialmente la dependencia de pesticidas y fertilizantes químicos en la producción intensiva (Zin & Badaluddin, 2020).

En la provincia de Cotopaxi, especialmente en el cantón La Maná, la producción de pimiento en sistemas bajo cubierta, resulta una actividad agrícola de interés económico para pequeños y medianos productores, pese a las limitaciones relacionadas con el desgaste del suelo, la presencia de plagas y enfermedades y la reducción de la producción, asociadas al manejo convencional, pese al potencial de *Trichoderma harzianum* como alternativa sostenible de

relevancia, debido probablemente a la escasez de información científica sobre su efecto en las variables morfológicas, fisiológicas y productivas sobre el cultivo en las condiciones agroecológicas propias de la zona, por lo que resulta necesaria la implementación de estudios locales en el contexto descrito.

6. OBJETIVOS

6.1.Objetivo general

Evaluar el efecto de *Trichoderma harzianum* en el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) bajo cubierta en el cantón La Maná.

6.2.Objetivos específicos

- Analizar el efecto de *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de pimiento bajo cubierta.
- Determinar el efecto de *Trichoderma* sobre la producción del cultivo de pimiento bajo cubierta.
- Determinar la influencia de *Trichoderma* sobre el comportamiento fisiológico del cultivo de pimiento bajo cubierta.
- Examinar el efecto de *Trichoderma* sobre la incidencia de enfermedades en cultivo de pimiento bajo cubierta.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS CON LOS OBJETIVOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas relacionadas con los objetivos de la investigación

Objetivo	Actividad	Resultado	Verificación
Analizar el efecto de Trichoderma sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de pimiento bajo cubierta	- Aplicación de los tratamientos de *Trichoderma harzianum* - Toma de datos de variables de crecimiento vegetativo como altura de planta, diámetro del tallo	Establecimiento del tratamiento con mejor desarrollo vegetativo	- Registro de datos de campo - Análisis estadístico
Estudiar el efecto de Trichoderma sobre la producción del cultivo de pimiento bajo cubierta	- Registro de datos de variables productivas como: número de frutos y rendimiento de los tratamientos estudiados	Establecimiento del tratamiento con mejor producción de frutos	- Registro de datos de cosecha - Análisis estadístico
Determinar la influencia de Trichoderma sobre el comportamiento fisiológico del cultivo de pimiento bajo cubierta	- Recolección de datos de clorofila (SPAD) y vigor vegetativo durante el desarrollo del cultivo	Análisis del estado fisiológico de las plantas de los diferentes tratamiento de estudio	- Registros fotográficos - Datos de lecturas SPAD
Examinar el efecto de Trichoderma sobre la incidencia de enfermedades en cultivo de pimiento bajo cubierta	- Monitoreo periódico de presencia de enfermedades en las plantas.	Establecimiento de la influencia de Trichoderma en sanidad del cultivo	- Registros de campo - Análisis comparativo de los tratamientos

Elaborado por: Ayuquina y Jara 2026

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1.Origen y domesticación del cultivo de pimiento

El pimiento (*Capsicum annuum L.*) es una especie hortícola de gran importancia económica y alimentaria a nivel mundial perteneciente a la familia de las Solanáceas, cuyo origen se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales de América, particularmente en México y Centroamérica, donde se domesticó hace unos 6000 años por las civilizaciones prehispánicas existentes de aquella época, posteriormente se introdujo a Europa gracias a la exploraciones y colonizaciones del continente, expandiéndose rápidamente a los continentes de Asia, África y otras partes del mundo debido a su gran capacidad de adaptación y su valor alimenticio (Perry *et al.*, 2007).

Domesticar al pimiento causó que el cultivo se diversifique genéticamente, evidenciándose actualmente diferentes variedades de tipo dulce o picante, las cuales suelen diferenciarse por sus características morfológicas, fisiológicas y composicionales de sus frutos. Dicha variabilidad permitió el desarrollo de múltiples cultivos que son capaces de adaptarse a diferentes condiciones agroclimáticas, así como también a múltiples sistemas de producción agrícola (Kraft *et al.*, 2013).

En la actualidad el pimiento, es uno de los cultivos de relevancia estratégica dentro de la horticultura global, no solamente por su gran demanda comercial y alimenticia, sino que también porque sus frutos tienen un importante aporte nutricional, con altos contenidos de vitaminas A, C y E, carotenoides, flavonoides y compuestos antioxidantes que relacionan con beneficios a la salud humana (Ghasemnezhad *et al.*, 2011).

8.2.Taxonomía y clasificación botánica

El cultivo de pimiento taxonómicamente pertenece al reino Plantae, forma parte de la familia de las Solanaceae, el cual es un grupo botánico de gran importancia agrícola por incluir a especie como el tomate (*Solanum lycopersicum*), papa (*Solanum tuberosum*), berenjena (*Solanum melongena*), entre otros. Con relación el género *Capsicum* existen aproximadamente 35 especies, sin embargo, solo 5 se las reconoce por su importancia significativa económicamente hablando, siendo *Capsicum annuum* la de mayor aprovechamiento y distribución a nivel mundial (Walsh & Hoot, 2001), cuya clasificación taxonómica se describe a continuación:

Tabla 2. Clasificación taxonómica del cultivo de pimiento *Capsicum annuum* L.

Categoría taxonómica	**Clasificación**
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Capsicum
Especie	annuum L
Nombre científico	*Capsicum annuum L*

Fuente: Adaptado de Walsh & Hoot (2001)

8.2.1. Características morfológicas y fisiológicas

El pimiento es una planta de tipo herbácea cuyo crecimiento es semiperenne, por cual generalmente se maneja como un cultivo transitorio en los sistemas de producción agrícola comercial. Esta planta presenta un sistema radicular pivotante, con raíces laterales (secundarias y terciarias) muy abundante, lo que facilita y optimiza la absorción de agua y nutrientes del suelo cuando las condiciones físicas y químicas son las adecuadas (Bosland & Votava, 2013).

Por otra parte, el tallo de la planta de pimiento es erecto y ramificado, con una consistencia semileñosa en etapas avanzadas de su desarrollo, dependiendo de ciertas variables como la variedad y las condiciones de manejo agronómico, su longitud varía entre los 0.5 y 1.5 metros. Con respecto a las hojas, estas son simples y pecioladas, de color verde intenso, constituyéndose como una estructura fundamental para el proceso fotosintético y la acumulación de biomasa (Barboza *et al.*, 2022).

Las flores de estas plantas por lo general son hermafroditas y autógamas, aunque en ciertas ocasiones presentan un grado mínimo de polinización cruzada, siempre que existan las condiciones ambientales apropiada. El fruto es una baya hueca que posee un alto contenido de agua, compuestos antioxidantes y pigmentos naturales, su tamaño, color y forma varían mucho en función del material genético y de las labores de manejo agronómico realizando durante el ciclo del cultivo (Tripodi & Kumar, 2019). Fisiológicamente el pimiento es un cultivo de alta sensibilidad a condiciones de estrés hídrico, deficiencia nutricional o baja fertilidad del suelo y temperaturas extremas, puesto que estos factores pueden alterar vitales para la planta como la

fotosíntesis, floración y fructificación, razón por la que un manejo apropiado de la fertilidad del suelo y de su microflora son esenciales para el mantenimiento de un desarrollo y producción apropiado (Zhang *et al.*, 2024).

8.2.2. Requerimientos edafoclimáticos

El pimiento es un cultivo que requiere de ciertas condiciones climáticas de suelo específicas para tener un adecuado nivel productivo. La temperatura óptima para crecimiento y desarrollo de estas plantas oscila entre los 20 y 28 °C, si esta está por encima de los 35°C o debajo de los 15 °C afectará a la germinación de la semilla, floración o el cuajado de los frutos (Pagamas & Nawata, 2008).

Con respecto a la humedad relativa el cultivo de pimiento tiene un adecuado comportamiento agronómico entre el 60% y 80%, puesto que niveles altos suelen favorecer a la aparición de plagas y enfermedades especialmente causadas por hongos, por otro lado, niveles demasiado bajos incrementan el estrés hídrico, además de reducir la fotosíntesis de la planta (Díaz-Pérez, 2013).

Por otra parte, los suelos apropiados para este cultivo, son los de textura franca o franco arenosa, que tengan una buena aireación, buen drenaje y un alto contenido de materia orgánica. El pH ideal del suelo para la producción de pimiento oscila entre 5.5 y 7, pues en condiciones de acidez o alcalinidad extrema, se limitan la disponibilidad de nutrientes esenciales para que la planta desarrolle con normalidad (Hochmuth *et al.*,2008).

De igual manera el cultivo demandando de una importante cantidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, especialmente en sus etapas de desarrollo, crecimiento y fructificación, pues una adecuada y equilibrada disponibilidad de estos elementos influye directamente en su vigor, desarrollo radicular y producción (Hunde, 2020).

8.3.Producción de pimiento bajo cubierta

8.3.1. Agricultura protegida y sistemas bajo cubierta

La agricultura protegida o bajo cubierta representa un sistema de producción agrícola enfocado a modificar parcialmente o en su totalidad las condiciones ambientales naturales, mediante el empleo de estructuras como invernaderos, casas malla, túneles u otros, a fin de optimizar el crecimiento, desarrollo y la producción del cultivo. La tecnología de este tipo permite el control de variables climáticas tales como la temperatura, radiación solar, humedad relativa y

ventilación, reduciendo de esta manera parcialmente el impacto de factores ambientales adversos. (Castilla, 2013).

Los sistemas cubierta en la actualidad han adquirido cada vez más importancia en la producción hortícola intensiva, gracias que permiten la incrementación de la producción de manera muy eficiente, mejorando incluso la calidad del cultivo. En hortalizas como el pimiento, este tipo de tecnología pueden prolongar los ciclos de producción, además de reducir las pérdidas por las lluvias excesivas y los problemas fitosanitarios de los cultivos (Dorais, 2003).

En las últimas décadas ha existido un aumento considerable de cultivos bajo cubierta, debido a la necesidad de aumentar la producción agrícola y de optimizar los recursos naturales. De acuerdo con la FAO (2017), estos sistemas representan una alternativa estratégica para aumentar la producción hortícola, particularmente en zonas que poseen limitaciones climáticas y problemas causados por el manejo no adecuado de los cultivos.

8.3.2. Importancia de la producción bajo cubierta

La práctica de producción bajo cubierta permite mejorar las condiciones apropiada para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, gracias a la creación de microclimas que resultan favorables para los vegetales, especialmente las hortalizas. La cubierta permite disminuir las variaciones bruscas de temperatura y sus efectos negativos, así como también, los daños que pueden ocasionar las precipitaciones intensas, permitiendo tener un control adecuado en el suministro hídrico de las plantas (Jensen & Malter, 1995).

La producción de pimiento en sistemas protegido o de cubierta permite favorecer los procesos fisiológicos de la planta como son la fotosíntesis, floración y fructificación, de manera que contribuyen a mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos. Este sistema permite además una reducción la presencia de algunas plagas y enfermedades del cultivo, mejorando eficientemente el manejo agronómico (Bakker, 1991).

Múltiples estudios han evidenciado que los cultivos bajo cubierta alcanzan producciones muy superiores que, en condiciones de campo abierto, gracias a la estabilidad en cuanto a las condiciones ambientales que este sistema proporciona y al uso eficiente de agua y de fertilizantes. Así mismo, la agricultura protegida permite una producción continua durante todo el año, permitiendo de esta manera el abastecimiento constante del mercado (FAO, 2022).

8.3.3. Problemáticas asociadas a sistemas de producción bajo cubierta

Aunque la agricultura protegida tiene múltiples ventajas ya descritas, el manejo intensivo de los cultivos bajo cubierta también puede provocar problemas como el desequilibrio físico, químico y biológico del suelo. Actividades como aplicación continua y excesivas de fertilizantes sintéticos, así como también de productos fitosanitarios permiten la acumulación de sales que afectan negativamente la biodiversidad microbiana de la rizósfera (Savvas & Gruda, 2018).

La reducción de microorganismos, sumado al incremento de enfermedades causadas principalmente por hongos como *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., y *Pythium* spp., son las principales limitaciones que presenta la producción intensiva, ya que reducen significativamente el desarrollo de las raíces del cultivo, afectando el vigor vegetativo de cultivos como el pimiento, lo que provoca pérdidas importantes en su producción (Agrios, 2005).

Así mismos, dentro de una estructura protegida dedicada a la producción hortícola, pueden presentarse condiciones de humedad relativa y temperaturas altas, favoreciendo al desarrollo de enfermedades fúngicas y bacterianas, especialmente cuando no existe un adecuado manejo (Jarvis, 1992).

8.3.4. Producción sostenible en sistemas bajo cubierta

La sostenibilidad de la agricultura protegida considera el desarrollo de estrategias de manejo de cultivos que se orienten en mantener la productividad agrícola reduciendo al mínimo los impactos ambientales, preservando las condiciones del suelo. En este contexto resulta útil la incorporación de bioinsumos, especialmente de microorganismos benéficos como una alternativa importante, permite además reducir la dependencia de agroquímicos y mejorando la eficiencia biológica del sistema de producción (Rouphael & Colla, 2020).

Diversas investigaciones ponen en evidencia los efectos positivos de la incorporación de microorganismo promotores del crecimiento vegetal en la mejora de la absorción de nutrientes, en el vigor de la planta y en el fortalecimiento de sus mecanismos de defensas. Práctica que permiten tener sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes frente a condiciones de estrés ambiental (Colla *et al.*, 2015).

8.4.Microorganismos benéficos en la agricultura

8.4.1. Generalidades de los microorganismos benéficos

Los microorganismos considerados benéficos son un grupo de diversos organismos microscópicos que se encuentran presentes en el suelo, asociados a la rizósfera de las plantas de manera natural, lo cuales favorecen a procesos biológicos como la nutrición vegetal, crecimiento y desarrollo y la protección fitosanitaria. Este grupo incluye a microorganismos como bacterias, hongos, actinomicetos y otros microorganismos que funcionan en sinergia dinámica y activa con las raíces de las plantas (Barea *et al.*, 2005).

La rizósfera es la región del suelo con más actividad biológica, gracias a la interacción existente y constante entre la microbiota y las raíces de las plantas y es que en esta zona se llevan a cabo procesos fundamentales para la salud y fertilidad del suelo como: la descomposición de la materia orgánica, la síntesis de compuestos bioactivos y el reciclaje de nutrientes, los cuales influyen de manera directa sobre el desarrollo de los vegetales (Philippot *et al.*, 2013).

Los microorganismos benéficos cumplen funciones esenciales dentro un ecosistema agrícola, pues solo los responsables directo de la fertilidad del suelo y de cuan eficiente pueda ser un cultivo fisiológicamente, puesto que su actividad biológica favorece a la disponibilidad de nutrientes, además de estimular la producción de fitohormonas y fortalecer los mecanismos naturales de defensa frente a patógenos (Berendsen *et al.*, 2012).

En las últimas décadas se ha evidenciado un interés agrícola y científico por estos organismos, el cual se ha visto incrementar considerablemente gracias a la necesidad de desarrollar sistemas de producción sostenibles, que dependan menos de los pesticidas sistémicos comerciales, teniendo como resultado estrategias ecológicas y manejo integrado de cultivos cuyo componente fundamental son los microorganismos benéficos (Singh *et al.*, 2011).

8.4.2. Microorganismos promotores del crecimiento

Los PGPR o microorganismos promotores del crecimiento están conformados por un grupo de hongos y bacterias que tienen la capacidad de estimular el desarrollo vegetativo por medio de una serie de mecanismos bioquímicos y fisiológicos, actuando de manera directa o indirecta sobre el crecimiento de la planta, el vigor y la producción de los cultivares (Lugtenberg & Kamilova, 2009).

Los mecanismos directos comprenden la fijación biológica de elementos como el nitrógeno, la solubilización de fósforo, y la síntesis de fitohormonas como las auxinas, citoquininas y giberelinas (Vessey, 2003). Los mecanismos indirectos están relacionados directamente con el estado fitosanitario del cultivo, gracias a la capacidad de algunos microorganismos para disminuir los efectos patógenos mediante competencia, generación de antibióticos y activación de las defensas de las plantas (Glick, 2012).

8.4.3. Uso de microorganismos benéficos en la agricultura

El desarrollo de la agricultura sostenible durante los últimos años ha promovido el empleo de sistemas de producción agrícola que sean capaces de mantener niveles elevados de producción, sin causar impactos negativos al medio ambiente, preservando de esta manera los recursos naturales, contexto en el cual los microorganismos benéficos adquieren gran relevancia como una estrategia que permite la reducción de la dependencia a los insumos agrícolas sintéticos (Malusá *et al.*, 2012).

El empleo de biofertilizantes permite mejorar la nutrición de los cultivos, así como también sus mecanismos naturales de defensas contra enfermedades, favoreciendo así, su producción agrícola, volviéndola más equilibrada y sostenible, sobre todo en sistemas de producción hortícolas intensivos, donde frecuentemente existen problemas de degradación de suelo y de fitosanidad del cultivo (Bashan *et al.*, 2014).

En cultivos bajo cubierta, la utilización de microorganismos benéficos permite la recuperación parcial de la actividad microbiológica del suelo, la cual se ve afecta normalmente por las prácticas agrícolas del manejo convencional. Por otra parte, estos organismos también son capaces de mejorar el crecimiento, el vigor y rendimiento de las plantas (Rouphael *et al.*, 2015).

Dentro de este grupo de microorganismos benéficos se destaca el hongo *Trichoderma harzianum*, gracias a su capacidad para estimular al desarrollo vegetal y su función como un agente de control biológico de diversos cultivos con amplios estudios que lo validan.

8.5. *Trichoderma harzianum*

8.5.1. Taxonomía y características generales de la *Trichoderma harzianum*

Trichoderma harzianum es un hongo filamentoso que se encuentra distribuido ampliamente en los ecosistemas terrestres, el cual actualmente es reconocido como uno de los microorganismos benéficos de mayor utilidad en la agricultura. La importancia de este hongo se basa en su

capacidad como un controlador biológico, promotor del desarrollo vegetal y su aporte a mejorar las condiciones del suelo, contribuyendo a la reducción de la dependencia de insumos químicos y a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Woo *et al.*, 2023). Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la *Trichoderma harzianum*

Categoría taxonómica	**Clasificación**
Reino	Fungi
División	Ascomycota
Subdivisión	Pezizomycotina
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hypocreales
Familia	Hypocreaceae
Género	*Trichoderma*
Especie	*harzianum*
Nombre científico	*Trichoderma harzianum* Rifai

Fuente: Adaptado de Swamy (2023)

8.5.2. Distribución y hábitat

El hongo *Trichoderma harzianum* posee una distribución cosmopolita, puede encontrarse en una gran variedad de ecosistemas naturales y también agrícolas, gracias a su capacidad de adaptación, habita principalmente en suelo que poseen un alto contenido de materia orgánica, residuos de vegetales en descomposición, compostajes y en ambientes rizosféricos en asociación con distintas especies vegetales (Kubiak *et al.*, 2023).

Su capacidad de adaptación es la responsable de su desarrollo en diversas condiciones de humedad, temperaturas y pH, sin embargo, en suelo con una buena aireación, buen contenido de materia orgánica y con pH ligeramente ácidos tendiendo a neutro, suele presentar actividad más eficiente, permitiéndole estar presentes en sistemas de producción agrícolas tropicales y subtropicales (Rocha-Ramírez y Larsen, 2024).

La presencia de este hongo en suelo se asocia directamente a la calidad biológica del ecosistema, puesto que participa de forma activa en la descomposición de los residuos orgánico y en el reciclaje de nutrientes. Razón por la cual en múltiples estudios se concluye, que su

presencia está asociada a suelos biológicamente activos, que poseen mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos (Kubiak *et al.*, 2023).

8.5.3. Mecanismos de acción de *Trichoderma harzianum*

La efectividad de *Trichoderma harzianum* en el uso agrícola se debe particularmente a la acción conjunta que realiza con diversos mecanismos biológicos, actuando de forma complementaria sobre el suelo, los microorganismos y el cultivo.

Uno de los mecanismos biológicos de mayor importancia corresponde a la competencia por espacio y por nutrientes. Gracias a su crecimiento acelerado y a una capacidad reproductiva muy eficiente, *T. harzianum* coloniza rápidamente la rizósfera, compitiendo con organismos patógenos por los nichos ecológicos, limitándoles la disponibilidad de recursos y reduciéndoles su probabilidad de establecimiento en el suelo (Rodrigues *et al.*, 2023).

Otro de los mecanismos de más estudios dentro de este género es el micoparasitismo, el cual implica la degradación estructural de hongos patógenos, por medio de producción de enzimas hidrolíticas destructoras de las paredes celulares como quitinasas, glucanasas y proteasas (Xiao *et al.*, 2023).

La síntesis de metabolitos secundarios con actividad antifúngica y antibacteriana resulta también una estrategia de gran importancia, ya que estos compuestos son capaces de inhibir el crecimiento de múltiples microorganismos fitopatógenos del suelo, aportando a la protección biológica de los cultivos (Rodrigues *et al.*, 2023).

T. harzianum de acuerdo con diversas investigaciones tiene la capacidad de activar mecanismos de defensas en las plantas, gracias a un proceso denominado resistencia sistemática inducida, el cual consiste en fortalecer la capacidad natural de respuesta del vegetal frente al ataque de un agente patógeno o de condiciones de estrés ambiental (Woo *et al.*, 2023).

8.5.4. Efectos de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento y desarrollo vegetal

T. harzianum es reconocido no solo por ser un controlador biológico de gran importancia agrícola, sino también por la capacidad que posee para promover el crecimiento vegetativo a través de mecanismos fisiológicos y bioquímicos (Kredics *et al.*, 2024).

La estimulación del crecimiento radicular es uno de los efectos más importantes de este hongo, ya que su presencia favorece al desarrollo de raíces laterales y de los pelos absorbentes,

incrementando así el área de exploración en el suelo, mejorando la absorción de agua y de nutrientes para la planta (Rocha-Ramírez y Larsen, 2024).

Además, con ya se ha mencionado, este hongo también es capaz de producir compuestos como la giberelina, citocininas y auxinas, con actividad similar a las fitohormonas vegetales, en que respecta a la regulación de diversos procesos relacionados con la división celular, la elongación de los tejidos y el desarrollo vegetal (Woo *et al.*, 2023).

A través de múltiples estudios se ha podido evidenciar el efecto positivo en variables agronómicas como la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, desarrollo radicular y de biomasa en diversos cultivos tratado con *Trichoderma.* Además, se ha podido observar contenidos de clorofilas más altos y mejora en la eficiencia fotosintética, factores determinantes en la producción del cultivo (Abdullah *et al.*, 2021).

8.5.5. *Trichoderma harzianum* como agente de control biológico

Dentro de la agricultura actual el control biológico es una de aplicaciones más difundidas de *Trichoderma*, puesto que se ha demostrado en múltiples investigaciones su efectividad frente hongos fitopatógenos de relevancia económica de géneros como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Alternaria* y *Sclerotinia* (Rodrigues *et al.*, 2023).

Proporciona protección integral frente estos fitopatógenos causantes de enfermedades radiculares gracias a la acción simultánea de competencia, microparasitismo, antibiosis e inducción de resistencia, teniendo como consecuencia la reducción de aplicaciones de fungicidas de origen químicos y la dependencia de estos (Martínez *et al.*, 2023).

8.5.6. Aplicaciones de *Trichoderma harzianum* en cultivos hortícolas bajo cubierta

El uso de *Trichoderma* en la horticultura aumentó considerablemente en los últimos años, debido a los múltiples beneficios en el crecimiento, sanidad y productividad de cultivos como el tomate, pepino, lechuga, berenjena, fresa, chile y pimiento (Kredics *et al.*, 2024).

En cultivos bajo cubiertas, donde particularmente suelen crearse condiciones apropiadas para el desarrollo de enfermedades el uso de este hongo se consolida como una estrategia eficaz para mejorar la salud microbiológica del sistema productivo, mejorando la sostenibilidad de la producción como ya se ha explicado con anterioridad.

8.6.Antecedentes de la investigación

Chan et al. (2023) al estudiar la influencia de la inoculación *Trichoderma harzianum* y la poda sobre el crecimiento y el rendimiento de *Capsicum chinense* reportaron también incrementos altamente significativos en la altura de planta de 4.3 a 7.9 %, además, comprobaron que combinar la inoculación con podas favorecía el aprovechamiento de recursos fisiológicos por parte de planta, resultando un aumento del rendimiento final a 15.38 t ha^{-1}, concluyendo que el microorganismo es capaz de favorecer el crecimiento vegetativo y que al combinarlo con prácticas adecuada mejora también el rendimiento.

Koukap *et al.* (2023) al evaluar un bioinoculante compuesto por *Trichoderma harzianum* y *T. atroviride* sobre el crecimiento y rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) en condiciones de campo abierto, determinaron que las plantas inoculadas incrementaron hasta un 112% sus niveles de clorofila con relación al testigo probado sin inocular, mejora fisiológica que reflejó además un incremento del 54% en el diámetro de sus frutos y 23.5% en el peso, teniendo como resultado una producción superior del 23.5%, demostrando el efecto que poseen estos microorganismos siendo promotores de la productividad del cultivo.

Chiguano & Pilatagsi (2022) al evaluar el efecto de *Trichoderma harzianum* como agente de control biológico de *Phytophthora capsici* en cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), empleando cuatro concentraciones del hongo (0, 5, 10 y 15%) bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), obtuvieron como resultado que el tratamiento con el 15% de concentración fue el de menor incidencia de la enfermedad causada por el patógeno (11.46%), además de ser el de menor cantidad de plantas muertas (0.33 plantas muertas por parcela), además de ser el mayor número de flores (13.38) con respecto al testigo. Finalmente concluyeron que el uso de *Trichoderma harzianum* es una alternativa eficiente en el manejo biológico de enfermedades y en mejorar el comportamiento agronómico del cultivo.

Chacha (2024) en su evaluación de tres dosis de *Trichoderma harzianum* (5, 7.5 y 10 cc L^{-1}) para controlar oidiopsis (*Leveillula taurica*) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo un diseño experimental DBCA, en la parroquia Izamba de la provincia de Tungurahua, demostraron a través de los resultados obtenidos en la investigación, que la dosis 10 cc L^{-1} presenta el mejor comportamiento agronómico, teniendo como peso promedio de fruto 91.48 g, así mismo una incidencia a la enfermedad de 7.11% y 0.52% de severidad, lo que le permitió concluir que incrementar las dosis de este hongo favorece al control de la enfermedad pero que además mejora la productividad.

Ramírez (2024) valoró distintas dosis de *Trichoderma harzianum* (0, 2, 4 y 6 g planta^{-1}) sobre variables de crecimiento, producción y sanidad de ají chaparrita (*Capsicum frutescens* L.) obtenido resultado una altura máxima de 58 cm en la dosis 2 g planta^{-1}, sin embargo, la producción máxima de fruto por planta (38.2) y el peso máximo promedio de frutos por planta (350 g) se registraron en la dosis 4 g planta^{-1}, al igual que la menor incidencia de enfermedades radiculares (0.69 %), y el mayor rendimiento (10.5 t ha^{-1}), evidenciando un impacto significativo en diversas características del cultivo.

9. HIPÓTESIS

9.1.Hipótesis nula

La aplicación de *Trichoderma harzianum* no tiene efectos sobre el desarrollo vegetativo, comportamiento fisiológico, rendimiento, incidencia de enfermedades en cultivo de pimiento bajo cubierta en el cantón La Maná.

9.2.Hipótesis alternativa

La aplicación de *Trichoderma harzianum* tiene efectos sobre el desarrollo vegetativo, comportamiento fisiológico, rendimiento, incidencia de enfermedades en cultivo de pimiento bajo cubierta en el cantón La Maná.

10. METODOLOGÍA

10.1. Ubicación y duración del ensayo

El presente proyecto de investigación se realizó en el barrio 7 Arcángeles de la parroquia El Carmen, del cantón La Maná en la provincia de Cotopaxi ubicado en las coordenadas geográficas 0°55'35,60" S y 79°13'28,59" O, las cuales corresponden a las coordenadas planas 697 563 m E y 9 897 538 m N en el sistema UTM, zona 17 Sur, datum WGS84 (EPSG:32717), durante los meses de abril a agosto del año 2026.

10.2. Tipos de investigación

10.2.1. Cuantitativo

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, puesto que se fundamentó en la recolección de datos numéricos obtenidos a partir de variables agronómicas, fisiológicas y fitosanitarias del cultivo de pimiento, como son: altura de planta, diámetro del tallo, área foliar, índice de clorofila (SPAD), rendimiento entre otras. Posteriormente los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico para determinar el efecto de los tratamientos probados.

10.2.2. Experimental

La investigación presentada en este documento fue de carácter experimental, porque contó con tratamientos de estudio y repeticiones distribuidos bajo diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (DBCA), donde el investigador manipuló intencionalmente la variable dependiente por medio de la fijación de diferentes dosis de *Trichoderma harzianum*, a fin de analizar su efecto sobre las variables dependientes (altura de planta, diámetro del tallo, área foliar entre otras) en el cultivo.

10.2.3. De campo

Finalmente, esta investigación fue también de campo, puesto que se desarrolló de manera directa estableciendo un ensayo, en condiciones reales de producción de pimiento bajo cubierta, donde se aplicaron los tratamientos con *Trichoderma harzianum* y se realizó las evaluaciones correspondientes durante el ciclo del cultivo.

10.2.4. Bibliográfica

La presente investigación es de tipo bibliográfica, puesto que se recopiló, analizó y sintetizó información científica relacionada con *Trichoderma harzianum*, el cultivo de pimiento, el

crecimiento de la planta, el comportamiento fisiológico, el rendimiento y la incidencia de enfermedades, obtenida de artículos científicos, tesis y demás documentos técnicos publicados, contribuyendo así a la fundamentación teórica y al desarrollo metodológico del trabajo.

10.3. Materiales y equipo

10.3.1. Características del producto comercial que contenía la *Trichoderma harzianum*

El producto a base de *Trichoderma harzianum* empleado en la investigación tenía las siguientes características:

Tabla 4. Característica del producto comercial empleado que contenía a la *Trichoderma harzianum.*

Característica	Descripción
Clase de uso:	Inoculante Biológico
Dosis:	1 a 5 L ha^{-1}
Cultivo:	Hortalizas
Concentración	$5*10^9$
Composición:	*T. harzianum.*
Pureza:	99 %
Viabilidad:	90%

Fuente: Elaboración propia con base en la información técnica de *Trichobion Plus*® (Nintanga S.A.S., s. f.).

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

10.3.2. Característica del material vegetativo empleado en la investigación

El material vegetativo empleado en el estudio tenia las siguientes características:

Tabla 5. Característica del material vegetativo de pimiento empleado en la investigación

Característica	Descripción
Tipo de híbrido:	Híbrido tipo cascadura
Forma del fruto:	Cónica, sin formación de hombros
Color del Fruto:	Verde en estado inmaduro y rojo brillante al alcanzar la madurez
Ciclo biológico:	Precoz, inicio de cosecha entre 90 a 120 días
Resistencia:	Alta tolerancia a *Phytophthora capsici*
Rendimiento potencial:	Hasta 65 t/ha^{-1}
Aptitud comercial:	Frutos uniformes, de buena firmeza y alta aceptación comercial

Fuente: Elaboración propia con base en la ficha técnica del híbrido de pimiento Nathalie (Syngenta, s. f.)

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

10.3.3. Otros materiales o equipos empleados en la investigación

Además de los materiales descritos, en la presente investigación se emplearon los siguientes materiales y equipos:

Tabla 6. Otros materiales o equipos empleados en la investigación

Material o equipo	Cantidad empleada	Unidad
Análisis de suelo	1	ud
Fertilizante DAP (18-46-0)	1.46	Kg
Fertilizante Urea (46-0-0)	1.17	Kg
Fertilizante Cloruro de potasio (0-0-60)	2.69	Kg
Fertilizante Nitrato de calcio (15.5-0-26)	2.65	Kg
Cañas	20	Ud
Plástico de invernadero	72	m^2
Malla Sarán	72	m^2
Calibrador Vernier digital	1	ud
Cinta métrica	1	ud
Rollo de piola	1	royo de 50 m
Rollo de alambre	1	royo de 50 m
Clavos	4	lb
Sierra manual	1	ud
Martillo	1	ud
Azadón	1	ud
Machete	1	ud
Libreta	1	ud
Balanza de precisión digital	1	ud
Medidor portátil de clorofila (SPAD)	1	ud
Estufa	1	ud
Fundas de papel	20	ud

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

10.4. Diseño experimental

La presente investigación empleó un diseño experimental de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones o bloques experimentales.

10.5. Tratamientos

Los tratamientos de estudio establecidos para el desarrollo del presente estudio se detallan a continuación:

Tabla 7. Tratamiento de la investigación

Tratamientos	Códigos	Descripción
T1:	1 L Th·ha^{-1}	1 litro de *Trichoderma harzianum* por hectárea
T2:	2 L Th·ha^{-1}	2 litros de *Trichoderma harzianum* por hectárea
T3:	3 L Th·ha^{-1}	3 litros de *Trichoderma harzianum* por hectárea
T4:	4 L Th·ha^{-1}	4 litros de *Trichoderma harzianum* por hectárea
T5:	Testigo	Sin aplicación (testigo)

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

10.6. Esquema del experimento

El experimento contó con 20 unidades experimentales o parcelas elementales, las cuales contaban con 12 plantas cada una, cuyos detalles fueron:

Tabla 8. Esquema del experimento

Tratamientos	Repeticiones	Plantas por unidades o parcelas experimentales	Total de plantas
T1: 1 L Th·ha^{-1}	4	12	48
T2: 2 L Th·ha^{-1}	4	12	48
T3: 3 L Th·ha^{-1}	4	12	48
T4: 4 L Th·ha^{-1}	4	12	48
T5: Testigo	4	12	48
Total			240

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)60

10.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las diferentes variables de estudio de esta investigación fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados.

Para el efecto se aplicó una prueba de Tukey al 5% de probabilidad con la ayuda del software estadístico desarrollado por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba InfoStat.

Tabla 9. Análisis de varianza de la investigación

Fuente de variación		**Grados de libertad**
Tratamientos	(t -1)	4
Bloques	(r - 1)	3
Error experimental	(r-1) (t-1)	12
Total	(t.r-1)	19

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

10.8. Manejo del ensayo

10.8.1. Preparación del terreno

El terreno del ensayo de campo establecido para la presente investigación se realizó de manera manual, por medio del uso de azadón, efectuando labores preculturales como limpieza y eliminación de malezas y residuos vegetales, remoción del suelo en su capa arable (20 cm aproximadamente), procediendo posteriormente a la delimitación de las parcelas experimentales de conformidad con el diseño establecido.

10.8.2. Análisis de suelo

Previo al establecimiento de los tratamientos se efectuó un muestreo de suelo en el terreno empleado para la investigación, recogiendo una submuestra en cada una de las parcelas experimentales de los primeros 20 centímetros de profundidad con la ayuda de un barreno, posteriormente se mezclaron y se pesó 1 Kg como muestra única que se envió a los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Pichilingue en el cantón Quevedo.

10.8.3. Construcción de cubierta

Antes del establecimiento del cultivo se realizó la construcción de una cubierta, a fin de proteger el ensayo principalmente de la alta precipitación existentes durante el periodo de ejecución de la investigación y generar así condiciones más favorables para el desarrollo del cultivo de pimiento. La estructura tenía dimensiones de 12 metros de largo por 6 metro de ancho con una cubierta diseñada a dos aguas alcanzando una altura máxima en el centro (cumbrera), punto

desde cual se estableció una pendiente de 25 centímetros hacia ambos laterales por cada 3 metros de recorrido horizontal, teniendo 2.75 metros en ambos extremos (ver anexo 7).

La cobertura superior empleó un plástico agrícola de polietileno transparente tricapa, de 200 micras de espesor, transmisión de luz de 85 a 90%, difusión de luz de 80% y bloqueo de radiación ultravioleta (UV) del 2%, además de cubrir las laterales con tela sarán o polisombra, con un porcentaje de opacidad del 50%, que permitió la ventilación natural del interior del invernadero.

10.8.4. Trasplante

El trasplante se efectuó cuando las plantas de pimiento tenían 30 días de edad y presentaban entre tres o cuatro hojas verdaderas o completamente desarrollada, en distancias de 35 centímetros entre plantas por 80 centímetros entre las hileras, garantizando un adecuado espaciamiento y distribución.

10.8.5. Fertilización

La fertilización se realizó de manera uniforme en todas las unidades experimentales, con la finalidad de evitar interferencias en la evaluación de los diferentes tratamientos. El plan de fertilización de desarrollo con base al análisis de suelo y a la necesidad del cultivo de pimiento estableciéndose las aplicaciones de 217 Kg ha^{-1} de DAP (18-46-0), 174 Kg ha^{-1} de Urea (46-0-0), 400 Kg ha^{-1} de Cloruro de Potasio (0-0-60) y 394 Kg ha^{-1} de Nitrato de Calcio, las cuales fueron fraccionadas en dos partes para garantizar una adecuada disposición de nutrientes.

10.8.6. Aplicaciones de *Trichoderma harzianum*

La *Trichoderma harzianum* constituyó técnicamente el factor de estudio de la presente investigación, por ello el establecimiento de las dosis empleadas en el estudio fueron con base a las recomendaciones del fabricante del producto comercial, quien manifiesta que el rango de aplicación varía entre 1 y 4 L ha^{-1} para cultivos hortícolas, formulándose los tratamientos antes descritos.

Se realizaron cuatro aplicaciones durante el ciclo del cultivo, efectuándose la primera al momento del trasplante y tres posteriores en intervalos de 15 días cada una, en drench, es decir directamente al suelo en la zona radicular, manteniendo las condiciones de aplicación.

10.8.7. Riego

El riego se efectuó manualmente durante el ciclo del cultivo de pimiento, procurando se mantengan las condiciones adecuadas de humedad en el suelo para crecimiento y desarrollo de las plantas. La frecuencia con la que se aplicó el riego se determinó en función de las condiciones de humedad del suelo, suministrando agua hasta que se alcanzaba la capacidad de campo.

Para la verificación de la humedad se aplicó el método de "pan de tierra", el cual consiste en tomar una muestra del suelo de la zona de las raíces de la planta y posteriormente comprimirla con la mano para establecer su grado de cohesión y cantidad de agua retenida. Cuando el suelo presentaba una consistencia adecuada, formando un agregado estable (pan de tierra) sin liberación de exceso de agua se consideró que estaba en capacidad de campo.

10.8.8. Control de malezas

Durante el ciclo de cultivo el control de malezas se efectuó de manera manual, cada vez que existió la presencia de organismos vegetales diferentes del cultivo que representaban un riesgo para su desarrollo por establecer competencia por nutrientes, agua, luz y espacio.

10.8.9. Manejo fitosanitario

A lo largo del ciclo del cultivo únicamente se efectuaron monitoreos periódicos para establecer afecciones de plagas y enfermedades en el cultivo, sin aplicaciones de productos fitosanitarios de ningún tipo, a fin de evitar interferencias en los tratamientos respecto a la evaluación del efecto de *Trichoderma harzianum.*

10.8.10. Cosecha

La cosecha se efectuó periódicamente de forma manual cuando los frutos alcanzaron su madurez comercial para consumo en verde, caracterizado por presentar tamaño comercial, firmeza, paredes carnosas y color verde intenso uniforme.

10.9. Variables de estudio

10.9.1. Altura de planta

La valoración de la altura de planta se la realizó a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante (DDT) en cinco plantas seleccionadas completamente al azar en cada una de las parcelas

experimentales, con ayuda de una cinta métrica graduada se registró el dato en centímetros de la distancia comprendida entre la superficie del suelo hasta el ápice de crecimiento de la planta.

10.9.2. Diámetro del tallo

Esta variable se valoró conjuntamente con la altura en las mismas plantas seleccionadas anteriormente, para lo cual se utilizó un calibrador Vernier digital tomando la lectura a una distancia de 5 centímetros del suelo y registrándola en la unidad milímetros.

10.9.3. Área foliar

Para la variable área foliar se siguieron empleando las cinco plantas seleccionadas de las variables anteriores, posteriormente en cada planta se seleccionaron cinco hojas completamente desarrolladas de su tercio medio. La determinación del área foliar se realizó por medio del método indirecto utilizando el largo y ancho de cada hoja multiplicado por un factor de corrección, de acuerdo con la metodología empleada para *Capsicum* por Yusuf y Hamed (2021).

$$AF = Lh * Ah * 0.75$$

10.9.4. Días a la floración

Para el registro de los días a la floración se efectuaron monitoreos diarios hasta la aparición de primera flor en al menos 50% de las plantas de cada unidad experimental o parcelas elementales. Los resultados fueron expresados en días después del trasplante.

10.9.5. Contenido de clorofila

Esta variable se valoró a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante en cinco plantas seleccionadas al azar con ayuda de un medidor portátil, se efectuaron tres lecturas en hojas completamente desarrolladas de la parte media de la planta. Registrando el promedio por cada planta en unidades SPAD (*Soil Plant Analysis Development*).

10.9.6. Vigor vegetativo

Para establecer el vigor de las plantas, se emplearon las mismas cinco plantas seleccionadas en cada parcela útil o unidad experimental para medir su nivel de clorofila a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante, procediendo a valorarse mediante una escala visual ordinal de cinco categorías (ver tabla 10), la cual consideraba el color de las hojas, existencia de tejido clorótico o necrótico, el tamaño, el grosor del tallo y la apariencia general de cada planta observada.

Tabla 10. Escala visual para la evaluación del vigor de las plantas de pimiento

Escala	Descripción
1 = Muy deficiente	Hojas con clorosis severa y presencia de necrosis; plantas pequeñas, débiles y poco desarrolladas; tallos delgados y posible marchitez o estrés evidente.
2 = Deficiente	Hojas con amarillamiento moderado y algunos síntomas de estrés; plantas de desarrollo limitado, tallos delgados y bajo vigor general.
3 = Regular	Hojas de color verde claro y ligero amarillamiento en algunas hojas; desarrollo aceptable, tamaño intermedio y vigor moderado.
4 = Bueno	Hojas de color verde uniforme, sin síntomas visibles de deficiencia; buen desarrollo vegetativo, tallos firmes y adecuada estructura de la planta.
5 = Excelente	Hojas de color verde intenso y brillante, sin clorosis ni necrosis; crecimiento vigoroso, tallos gruesos y firmes, elevado desarrollo foliar y apariencia saludable y uniforme.

Fuente: Walter et al. (2015), Olas et al. (2020) y el Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI, 2017).

Debido a que el análisis estadístico propuesto en el presente proyecto de investigación consistió en establecer medias o promedio por tratamientos, para poder establecer diferencias estadísticas significativas entre ellos, estos valores promediados obtenidos a partir de las cinco plantas seleccionadas por cada parcela elemental y por tratamiento, debieron ser asociados a intervalos de la escala visual propuesta en la tabla 10 para una interpretación agronómica más apropiada. A continuación, en la tabla 11 se puede apreciar los intervalos de interpretación de cada una de las categorías propuesta:

Tabla 11. Intervalos de interpretación del vigor de las plantas

Categoría	Intervalos de la escala
Muy deficiente	1 a 1.49
Deficiente	1.50 a 2.49
Regular	2.50 a 3.49
Bueno	3.50 a 4.49
Excelente	4.50 a 5

Fuente: Elaboración propia a partir de Walter et al. (2015), Olas et al. (2020) e INTAGRI (2017).

10.9.7. Índice de vigor vegetativo

El índice de vigor vegetativo se estableció a los 60 días después del trasplante, empleando para su cálculo los valores promedios de la altura de planta, el diámetro del tallo, el área foliar y el índice de clorofila SPAD, los cuales fueron normalizados respecto al valor máximo registrado en el experimento, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$IVV = \frac{\left(\frac{AP}{AP\ max}\right) + \left(\frac{DT}{DT\ max}\right) + \left(\frac{AF}{AF\ max}\right) + \left(\frac{SPAD}{SPAD\ max}\right)}{4}$$

Donde:

IVV = Índice de vigor vegetativo
AP= Altura de planta
DT= Diámetro del tallo
SPAD= Índice de clorofila

La fórmula empleada fue elaborada por los autores específicamente para esta investigación integrando variables de crecimiento y el estado fisiológico de la planta, basándose en el principio de Nardo *et al.* (2008) para la normalización y construcción de indicadores compuestos. Los resultados fueron expresados en porcentaje.

10.9.8. Incidencia de enfermedades

La incidencia de enfermedades se determinó por medio de la observación directa de todas las plantas de las diferentes unidades o parcelas experimentales durante el ciclo del cultivo, registrándose el número de plantas que presentaron síntomas de enfermedad, para posteriormente calcular su porcentaje con la ecuación descrita por Ahmad *et al.* (2023).

$$Incidencia\ (\%) = \frac{Número\ de\ plantas\ enfermas}{Número\ total\ de\ plantas\ evaluadas} * 100$$

10.9.9. Longitud de raíz

Para la longitud de raíces se seleccionaron cinco plantas al azar de cada parcela al finalizar el ensayo de campo, las cuales fueron extraídas cuidadosamente después de haber reposado por 24 horas sumergidas en agua para evitar daños mecánicos. Posteriormente se midió la raíz

principal desde el cuello de la planta hasta su extremo con ayuda de una regla graduada, registrando el dato en centímetros.

10.9.10. Contenido de materia seca

Se efectuó en las mismas plantas seleccionadas para medir la longitud de raíces, las cuales previo a un lavado y limpieza de residuos fueron colocadas en funda de papel con su respectiva identificación para secarlas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 24 horas, posteriormente con la ayuda de una balanza digital de precisión se registró su peso en gramos y se estableció el contenido de materia seca expresión propuesta por INIAP (2012):

$$Materia\ seca\ (\%) = \frac{Preso\ seco}{Peso\ fresco} * 100$$

10.9.11. Número de fruto por plantas

Para esta variable se registraron el total de frutos cosechados en cinco plantas seleccionadas al azar por cada tratamiento y repetición.

10.9.12. Rendimiento por planta y peso del fruto

Para la variable rendimiento por planta se registró el peso total de los frutos cosechados durante el ciclo productivo del cultivo de pimiento de las cinco plantas seleccionadas al azar con ayuda de una balanza digital de precisión, dichos resultados se expresaron en kilogramos.

Para determinar el peso promedio del fruto se utilizó el rendimiento de cada una de las cinco plantas seleccionadas al azar, valor que posteriormente se dividió para el numero de frutos cosechados por cada planta, registrando el dato en la unidad gramos.

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.1. Altura de planta

El análisis de varianza y la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) permitieron establecer que las plantas a los 15 y 30 DDT no existieron diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos ($p>0.05$). A partir de los 45 DDT se reflejaron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$), donde el T4: 4 L Th·ha^{-1} alcanzó la mayor altura de planta con 61.31 cm muy por encima del testigo que alcanzo 49.90 cm, al igual que a los 60 DDT este tratamiento mantuvo su tendencia alcanzando una vez más el mejor resultado con 77.60 cm, mientras que el Testigo presentó 64.00 cm.

Tabla 12. Altura de planta en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	**Altura de planta (cm)**			
	15 DDT	**30 DDT**	**45 DDT**	**60 DDT**
T1: 1 L Th·ha^{-1}	14.85 a	26.85 a	54.80 ab	69.80 ab
T2: 2 L Th·ha^{-1}	14.90 a	28.00 a	57.90 a	72.60 a
T3: 3 L Th·ha^{-1}	15.10 a	28.15 a	58.15 a	72.30 a
T4: 4 L Th·ha^{-1}	14.90 a	28.85 a	61.35 a	77.60 a
T5: Testigo	14.70 a	25.75 a	49.90 b	64.00 b
CV (%)	3.67	7.36	6.14	5.36
Tratamientos	0.8884 ns	0.2757 ns	0.0060 **	0.0045 **
Bloques	0.3155 ns	0.7778 ns	0.7205 ns	0.6331 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Resultados que en términos relativos se interpreta con un aumento del 21 % de la altura de las plantas con la dosis de 4 L Th·ha^{-1}, evidenciando un comportamiento similar a lo que reportó Ramírez (2024), quien en su investigación evaluando *Trichoderma harzianum* en ají chaparrita (*Capsicum frutescens* L.) alcanzó como mejor promedio de altura 58.00 cm, dato que estuvo por encima del testigo en 14 cm, pese a que dicho valor es inferior al alcanzo en el presente estudio, ambas investigaciones concuerdan en que aplicar el hongo favorece significativamente el crecimiento en altura a la planta. Así mismo, estos resultados concuerdan con lo establecido por (Vessey, 2003), quien manifiestan que *Trichoderma* promueve el crecimiento vegetal, gracias a que coloniza la rizósfera de suelo mejorando significativamente la absorción de agua y nutrientes, así como también la producción de las fitohormonas auxinas y giberelinas.

11.2. Diámetro del tallo

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se puede evidenciar diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) a los 45 DDT, mientras que a los 15, 30 y 60 DDT no se evidencian estas diferencias. A los 15 DDT el diámetro del tallo oscilo entre 2.60 en T4: 4 L Th·ha^{-1} y 3.05 mm en T3: 3 L Th·ha^{-1}, aunque el análisis de varianza refleja significancia estadística la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) no permitió establecer diferencias en las medias de los tratamientos. Por otra parte, a los 30 DDT se registraron datos de 4.30 mm en T5: Testigo como valor más bajo y 4.65 mm en T3: 3 L Th·ha^{-1} y T4: 4 L Th·ha^{-1} con el promedio más alto.

A los 45 DDT el T4: 4 L Th·ha^{-1} volvió a alcanzar el mejor promedio de las medias con 8.50 mm, muy por encima del testigo que alcanzo 6.67 mm, el mejor resultado se siguió manteniendo en el mismo tratamiento donde ahora obtuvo 12.90 mm, siendo en esta ocasión el T1: 1 L Th·ha^{-1} con 12 mm de diámetro el menor valor registrado. Estos resultados demuestran que el efecto de *Trichoderma harzianum* fue más evidente al inicio del desarrollo vegetativo.

Tabla 13. Diámetro del tallo en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)			
	15 DDT	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	2.85 a	4.55 a	7.40 ab	12.00 a
T2: 2 L Th·ha^{-1}	3.00 a	4.55 a	7.75 ab	12.25 a
T3: 3 L Th·ha^{-1}	3.05 a	4.65 a	7.90 ab	12.10 a
T4: 4 L Th·ha^{-1}	2.60 a	4.65 a	8.50 a	12.90 a
T5: Testigo	2.15 a	4.30 a	6.75 b	12.10 a
CV (%)	7.05	6.75	7.17	4.65
Tratamientos	0.0464 *	0.5085 ns	0.0093 **	0.2320 ns
Bloques	0.2985 ns	0.2253 ns	0.1695 ns	0.9145 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados de la tabla 13 demuestran que *Trichoderma harzianum* favoreció el incremento del diámetro de tallo, coincidiendo con autores como Kreducs *et al.* (2024) y Abdullah *et al.* (2021) quienes indican que los hongos de este género favorecen al desarrollo vegetativo, gracias a una mayor disposición de nutrientes y producción de metabolitos bioactivas que fortalecen a la raíz y se traducen en una mejor estructura de la planta, con tallos más gruesos.

11.3. Área foliar

Con análisis estadístico, la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) permitió evidenciar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 30, 45 y 60 DDT ($p < 0.05$), sin embargo, no se refleja dicha diferencia a los 15 DDT, lo que indica que los efectos de *Trichoderma* en la etapa inicial de cultivo fueron de baja magnitud.

A los 15 DDT el T4: 4 L Th·ha^{-1} fue el mayor registro de los valores del área foliar con 40.10 cm^2 muy por encima del testigo que registró 29.00 cm^2, tendencia que se marcó hasta la última valoración de campo realizada como se aprecia en la tabla 14, donde a los 60 DDT se manifestó 171.60 cm^2 como el valor más alto y 97.87 cm^2 como el valor más bajo, lo que supone un incremento del 75.37 %, dejando en evidencia el efecto favorable de la aplicación de *Trichoderma harzianum* en crecimiento y desarrollo foliar del pimiento.

Tabla 14. Área foliar en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Área foliar (cm^2)			
	15 DDT	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	31.00 a	59.00 ab	90.15 ab	112.00 b
T2: 2 L Th·ha^{-1}	38.40 a	60.50 ab	109.90 ab	132.25 b
T3: 3 L Th·ha^{-1}	38.35 a	60.75 ab	110.00 ab	138.65 b
T4: 4 L Th·ha^{-1}	40.10 a	62.80 a	117.85 a	171.60 a
T5: Testigo	29.00 a	46.90 b	81.05 b	97.87 b
CV (%)	15.49	11.01	15.37	12.04
Tratamientos	0.0469 *	0.0284 *	0.0294 *	0.0003 **
Bloques	0.6806 ns	0.3464 ns	0.4839 ns	0.8103 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados del presente estudio coinciden con lo expresado con Contreras-Cornejo *et al.* (2016) y Harman *et al.* (2004), los cuales indican que la colonización radicular que realizan las especies de *Trichoderma* estimulan el crecimiento vegetal, gracias a la producción de metabolitos que poseen actividad similar a las auxinas que estimulan la división celular, aumentando la producción de raíces laterales, mejorando la absorción de agua y nutrientes y en consecuencia un incremento del área foliar y la biomasa de la planta, aumentando además la capacidad de interacción de la radiación solar y la producción de fitoasimilados.

11.4. Contenido de clorofila

Por medio del análisis de varianza y la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) se evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de estudios únicamente a los 15 DDT, en las posteriores evaluaciones 30, 45 y 60 DDT, no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos ni en sus medias ($p > 0.05$).

La tabla 15 muestra que a los 15 DDT el T4: 4 L Th·ha^{-1} obtuvo el contenido más alto de clorofila con 40.45 SPAD, mientras que el testigo presento el menor valor de 37.19 SPAD, manteniéndose como el tratamiento de menor resultado en todos los momentos de valoración, sin embargo, a los 30 DDT el mejor tratamiento fue T2: 2 L Th·ha^{-1} con 46.10 SPAD, a los 30 DDT fue T3: 3 L Th·ha^{-1} con 48.11 SPAD, y a los 60 DDT nuevamente T4: 4 L Th·ha^{-1} nuevamente reflejo el mejor promedio de 53.08 SPAD.

Tabla 15. Contenido de clorofila en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Contenido de clorofila (SPAD)			
	15 DDT	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	37.83 b	45.83 a	47.22 a	51.82 a
T2: 2 L Th·ha^{-1}	39.81 ab	46.10 a	47.32 a	51.92 a
T3: 3 L Th·ha^{-1}	39.39 ab	45.64 a	48.11 a	52.72 a
T4: 4 L Th·ha^{-1}	40.45 a	45.78 a	47.10 a	53.08 a
T5: Testigo	37.19 b	45.32 a	45.48 a	50.22 a
CV (%)	2.27	4.80	4.73	3.88
Tratamientos	0.0010 **	0.9905 ns	0.5769 ns	0.3587 ns
Bloques	0.0778 ns	0.7425 ns	0.5875 ns	0.2261 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados del presente estudio sugieren que la utilización de *Trichoderma harzianum* favorece a la actividad fisiológica de las plantas de pimiento, coincidiendo con Duan *et al.* (2023), quienes al evaluar diferentes dosis de estos hongos en planta de pimientos reportaron incrementos significativos en el contenido de clorofila medida en SPAD, con relación al testigo sin inocular, considerándolo como un reflejo del estado nutricional del cultivo y a una mayor capacidad de fotosíntesis, atribuyendo este efecto a una mayor absorción de nutriente por parte de la raíz causadas por el microorganismo simbiótico.

11.5. Vigor vegetativo

La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) estableció diferencias estadísticas entre los tratamientos a los 45 y 60 DDT, mientras que a los 15 y 30 DDT no se expresó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

A los 15 y 30 DDT el mejor vigor vegetativo fue del T4: 4 L Th·ha^{-1} con 4.15 y 4 puntos en promedio de la escala ordinal aplicada, siendo T5: Testigo, el de menor valor con 3.95 y 3.75, sin embargo, todos los casos entran en la categoría de Bueno. A los 45 DDT el T3: 3 L Th·ha^{-1} fue el mejor resultado con 4.40, manteniéndose el testigo con el valor resultado con 4.10, mientras que a los 60 DDT nuevamente T4: 4 L Th·ha^{-1} volvió a presentar el mayor valor, siendo T2: 2 L Th·ha^{-1} el resultado más bajo con 4.00, correspondiendo al igual que las valoraciones anteriores a la categoría de bueno o buen vigor vegetativo dentro la escala de observación aplicada.

Tabla 16. Vigor vegetativo en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Vigor vegetativo (escala ordinal 1 a 5)			
	15 DDT	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	4.05 a	3.90 a	4.20 ab	4.25 ab
T2: 2 L Th·ha^{-1}	3.95 a	4.00 a	4.35 ab	4.00 b
T3: 3 L Th·ha^{-1}	4.15 a	4.00 a	4.40 a	4.30 ab
T4: 4 L Th·ha^{-1}	4.15 a	4.00 a	4.35 ab	4.45 a
T5: Testigo	3.95 a	3.75 a	4.10 b	4.10 b
CV (%)	3.37	6.16	3.33	3.70
Tratamientos	0.1379 ns	0.5378 ns	0.0574 ns	0.0127 *
Bloques	0.9543 ns	0.6966 ns	0.8512 ns	0.9529 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados presentados en la tabla 16, permite observar que le mayor vigor vegetativo se obtuvo en el T4= 4L ha^{-1}, el cual estuvo acompañado de los valores superiores de área foliar y contenido de clorofila registrado en las valoraciones anteriores, sugiriendo que este comportamiento es efecto de la *Trichoderma harzianum*, lo cual está de acuerdo con Woo *et al.* (2023), autores que señalan que estos hongos benéficos son promotores del crecimiento vegetal, al mejorar la absorción de nutrientes, además de regular la producción de fitohormonas y estimular la fotosíntesis, procesos que favorecen al vigor vegetativo.

11.6. Índice de vigor

En el índice de vigor, la prueba de Tukey, estableció diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre las medias de los tratamientos únicamente a los 45 y 60 DDT, como se aprecia en la tabla 17.

Los resultados reflejaron que a los 15 DDT el mejor índice vigor fue de 77.89 correspondiente al T3: 3 L Th·ha^{-1}, mientras que a los 30, 45 y 60 DDT el tratamiento T4: 4 L Th·ha^{-1} presentó los mejores valores con 72.38, 81.02 y 88.17 respectivamente, por encima del tratamiento testigo, que siempre se mantuvo con los menores valores, comportamiento que evidencia el efecto progresivo de *Trichoderma harzianum* a medida que avanzaba el desarrollo del cultivo de pimiento.

Tabla 17. Índice de vigor en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Índice de vigor			
	15 DDT	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	72.39 a	69.92 a	72.13 ab	76.69 b
T2: 2 L Th·ha^{-1}	77.52 a	71.08 a	76.90 a	80.39 b
T3: 3 L Th·ha^{-1}	77.89 a	71.43 a	77.74 a	81.15 b
T4: 4 L Th·ha^{-1}	76.07 a	72.38 a	81.02 a	88.17 a
T5: Testigo	70.38 a	36.26 a	66.70 b	72.84 c
CV (%)	4.85	4.94	5.64	3.93
Tratamientos	0.0470 *	0.0878 ns	0.0039 **	0.0002 **
Bloques	0.5883 ns	0.2900 ns	0.5239 ns	0.9328 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados obtenidos también son consistentes con lo destacado por Contreras-Cornejo *et al.* (2024), señalando que el crecimiento vegetal se promociona por especies de hongos del género *Trichoderma* es consecuencia de un conjunto de mecanismos fisiológicos, como la producción de compuestos con actividad hormonal, la solubilización de nutrientes y la modificación del metabolismo vegetal duran el proceso de colonización de las raíces, lo que favoreciendo así, al desarrollo del área foliar y la acumulación de biomasa, así como también a la absorción de nutriente y agua aportando a un mejor vigor vegetativo.

11.7. Días a floración

En la tabla 18 se evidencia diferencia estadística altamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos y sus promedios, donde el T4: 4 L Th·ha^{-1} reflejó la floración más temprana con un promedio de 50.70 días, representa un adelanto de 5.80 días de diferencia con respecto al T5: Testigo 56.50 días, la segunda formación temprana fue del T3: 3 L Th·ha^{-1} con 52.05 días, lo que indica que el microorganismo benéfico favoreció a un desarrollo fisiológico más precoz del cultivo de pimiento, dando paso a una transición más pronta entre la fases vegetativas y la floración.

Tabla 18. Días a la floración en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	**Días a la floración**
T1: 1 L Th·ha^{-1}	54.35 b
T2: 2 L Th·ha^{-1}	53.75 b
T3: 3 L Th·ha^{-1}	52.05 c
T4: 4 L Th·ha^{-1}	50.70 d
T5: Testigo	56.50 a
CV (%)	3.92
Tratamientos	0.0001 **
Bloques	0.9615 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados del presente estudio son consecuentes con lo que reportaron Kouokap *et al.* (2023), autores que en la evaluación de un bioinoculante a base de *Trichoderma* en el cultivo de pimiento bajo condiciones de campo abierto observaron que las plantas inoculadas presentaban un desarrollo vegetativo más acelerado, así como también un mayor desarrollo fisiológico en comparación con aquellas sin inoculación, sugiriendo un delante de la floración como resultado de este comportamiento.

Así mismo Villegas *et al.* (2018) también reportaron que la aplicación de *Trichoderma harzianum* en pimentón (*Capsicum annuum*) incrementaron significativamente la tasa de crecimiento del cultivo durante su ciclo de vida, acelerando el desarrollo de las plantas, concluyendo que este efecto se podría traducir en una mayor precocidad, teniendo como resultado una floración más temprana.

11.8. Índice de enfermedades

En función de la prueba de Tukey no se pudo observar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y sus medias en todas las valoraciones realizadas. Sin embargo, se presentaron sintomatología de enfermedades en algunas plantas a partir de los 30 DDT, evidenciando una tendencia creciente de índice de enfermedades conforme avanzaba el ciclo del cultivo de pimiento, apreciándose un control en los tratamientos con *Trichoderma harzianum*.

El T4: 4 L Th·ha^{-1} presentado los menores porcentajes durante toda la valoración de esta variable (6.25; 12.50 y 14.58 % respectivamente), siendo el T5: Testigo quien mostro los mayores valores en todos los momentos de evaluación, como se puede apreciar en la tabla 19. Este comportamiento sugiere que la colonización efectuada por el hongo en la rizósfera de suelo limitó el establecimiento y el desarrollo de agentes fitopatógenos causantes de las principales enfermedades del pimiento a lo largo de su ciclo de cultivo.

Tabla 19. Incidencia de enfermedades en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Incidencia de enfermedades (%)		
	30 DDT	45 DDT	60 DDT
T1: 1 L Th·ha^{-1}	12.50 a	18.75 a	22.92 a
T2: 2 L Th·ha^{-1}	10.42 a	14.58 a	22.92 a
T3: 3 L Th·ha^{-1}	10.42 a	16.67 a	18.75 a
T4: 4 L Th·ha^{-1}	06.25 a	12.50 a	14.58 a
T5: Testigo	14.58 a	18.75 a	25.00 a
CV (%)	53.48	32.09	28.28
Tratamientos	0.3848 ns	0.4069 ns	0.1586 ns
Bloques	0.9354 ns	0.7100 ns	0.5885 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado con Chiguano y Pilatagsi (2022), quienes establecieron que la incorporación de *Trichoderma harzianum* redujo significativamente la incidencia de enfermedades en todas las dosis aplicadas de este hongo en su investigación, con respecto al testigo, siendo 11.46% su menor porcentaje obtenido en la concentración de *Trichoderma* al 15%, valor inferior al 14.58 % obtenido en la dosis 4L ha^{-1} a los 60 DDT del presente trabajo.

11.9. Longitud de la raíz

En función del análisis de varianza se pudo establecer que con respecto a la longitud de raíz de las plantas de pimiento que existió diferencias estadísticas ($p < 0.0001$), mostrando una respuesta positiva de la aplicación de *Trichoderma harzianum*, donde T4: 4 L Th·ha^{-1} logró el mayor largo de su raíz con 40.95 cm, seguido de T3: 3 L Th·ha^{-1} con 38.35 cm, siendo el tratamiento testigo el de menor desarrollo radicular con apenas 28.10 cm de longitud. Este resultado significa un incremento de 45.7 % aproximadamente respecto al tratamiento sin aplicación del hongo, demostrando la capacidad de *Trichoderma* para promover el crecimiento radicular.

Tabla 20. Longitud de la raíz en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	**Longitud de raíz (cm)**
T1: 1 L Th·ha^{-1}	36.00 bc
T2: 2 L Th·ha^{-1}	35.90 c
T3: 3 L Th·ha^{-1}	38.35 b
T4: 4 L Th·ha^{-1}	40.95 a
T5: Testigo	28.10 d
CV (%)	7.47
Tratamientos	< 0.0001 *
Bloques	0.0738 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados presentados en la tabla 20 son respaldados por Poveda *et al.* (2024), quienes expresaron que la *Trichoderma harzianum* al colonizar la rizósfera del suelo fomenta el desarrollo radical gracias a la producción de fitohormonas, especialmente de auxinas, lo cual incrementa, además la absorción de nutrientes, puesto que, al alargarse la raíz, aumenta la capacidad de exploración del suelo facilitando este proceso.

De la misma forma, Kredics *et al.* (2024) también indicaron que la estimulación del crecimiento de la raíz es uno de los principales efectos agronómicos de *Trichoderma harzianum*, pues de acuerdo con ellos el establecimiento de este hongo en la rizósfera del suelo es capaz de inducir a cambios fisiológicos en planta que son capaces de favorecer al desarrollo de las raíces laterales y la elongación de la raíz principal.

11.10. Contenido de materia seca

En el contenido de materia seca de acuerdo con el análisis de varianza existió diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos (p = 0.0003), corroborado por la prueba de Tukey, donde el tratamiento testigo logró el mayor porcentaje con 18.25 %, diferenciándose estadística y significativamente de los tratamientos inoculados con *Trichoderma harzianum*, siendo el T1: 1 L Th·ha^{-1} el menor porcentaje con 11.18 %, demostrando que el hongo si tuvo influencia sobre esta variable.

Tabla 21. Contenido de materia seca en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	**Materia seca (%)**
T1: 1 L Th·ha^{-1}	11.18 c
T2: 2 L Th·ha^{-1}	14.93 bc
T3: 3 L Th·ha^{-1}	15.37 b
T4: 4 L Th·ha^{-1}	14.63 bc
T5: Testigo	18.25 a
CV (%)	9.48
Tratamientos	0.0003 **
Bloques	0.0231 *

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

Los resultados mostrados en la tabla 21, indican que, pese a que la aplicación de *Trichoderma harzianum* favoreció al crecimiento y desarrollo de las plantas de pimiento evidenciado en las variables altura de planta, área foliar, índice de vigor y longitud de la raíz, dichos incrementos estuvieron acompañados por un alto contenido de agua en los tejidos vegetales, lo cual causó una reducción significativa en porcentaje de la materia seca, cabe señalar que este comportamiento no significa una reducción en la producción de biomasa, si más bien, refleja una actividad fisiológica como mayor contenido hídrico durante la fase de desarrollo del cultivo.

En este sentido Sood *et al.* (2020) señalan que al inocular una planta con *Trichoderma* se incrementa su actividad fisiológica gracias a la estimulación del crecimiento celular, la absorción de agua y nutrientes y la regulación hormonal, lo que estimula la producción de biomasa y la acumulación de agua en el tejido vegetal, lo que a su vez disminuye el porcentaje de materia seca.

11.11. Número de frutos

Como se aprecia en la tabla 22, existió diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.0001$) entre los tratamientos. El tratamiento T4: 4 L Th·ha^{-1} registró el mayor número de frutos por planta con un promedio de 6.20, seguido de T3: 3 L Th·ha^{-1}, mientras que el testigo apenas alcanzó 3.10, resultados que permitieron apreciar que la aplicación de *Trichoderma harzianum* duplicó la producción promedio de frutos por planta.

Estos resultados son inferiores a los reportados por Carrera (2014), quien al evaluar cuatro tratamientos en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) variedad tropical Irazú a campo abierto obtuvo como mejor resultado 8.76 frutos por planta en el tratamiento con *Trichoderma*, siendo el testigo el menor valor con 5.46 frutos, permitiéndole concluir que la inoculación con este microorganismo potenció un mayor desarrollo de frutos y de su cuajado, comportamiento similar a lo observado en el presente estudio.

Cabe resaltar que, aunque los valores numéricos comparados de ambas investigaciones difieren entre sí, esto probablemente se deba al material genético sembrado, a las condiciones climáticas propias de cada zona donde se desarrollaron los estudios, a las dosis empleadas del microorganismo y al propio manejo agronómico que recibió cada cultivar, la tendencia es la mismas, es decir en ambos trabajos se evidencia que el tratamiento con *Trichoderma* produjeron el mayor número de frutos por plantas, confirmando un efecto positivo sobre el rendimiento del pimiento.

Tabla 22. Número de frutos en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	**Número de frutos por planta**
T1: 1 L Th·ha^{-1}	3.70 c
T2: 2 L Th·ha^{-1}	4.70 b
T3: 3 L Th·ha^{-1}	5.55 a
T4: 4 L Th·ha^{-1}	6.20 a
T5: Testigo	3.10 c
CV (%)	8.12
Tratamientos	< 0.0001 **
Bloques	0.8418 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

11.12. Rendimiento por planta y peso promedio del fruto

El peso promedio del fruto, así como el rendimiento por planta evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$) entre los tratamientos de estudio, reflejando que *Trichoderma harzianum* aumentó la productividad del cultivo de pimiento, puesto que, el tratamiento T4: 4 L Th·ha^{-1} registró el mayor peso del fruto con 96.51 g promedio por fruto y también el mayor rendimiento por planta con 0.599 Kg, mientras que el testigo apenas logró 47.78 g de peso promedio del fruto y 0.142 Kg de rendimiento por planta.

Estos resultados son inferiores a los reportado por Choez (2026), quien en su estudio para determinar el desarrollo morfoagronómico del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*) con la aplicación de varias dosis de *Trichoderma*, reportó que el tratamiento con 2.56 Kg ha^{-1} arrojó el mayor rendimiento por planta con 1.73 Kg, superando significativamente al resto de tratamientos con dosis inferiores incluyendo al testigo que logró 1.25 Kg por planta, permitiéndole concluir que el hongo incremento la productividad.

Aunque los valores promedios de ambas investigaciones difieren quizás por las características propias del material vegetativo utilizado y por las condiciones propia de cada zona de estudio y el manejo agronómico, en ambos casos la aplicación de *Trichoderma* no solo supera al testigo, sino que también en ambos estudios la dosis más alta produjo los mejores resultados, evidenciando un comportamiento similar en la inoculación del microorganismo y el favorecimiento de la producción.

Tabla 23. Rendimiento por planta y peso del fruto en la evaluación de *Trichoderma harzianum* en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Tratamientos	Peso promedio del fruto (g)	Rendimiento por planta (Kg)
T1: 1 L Th·ha^{-1}	55.28 d	0.203 d
T2: 2 L Th·ha^{-1}	61.16 c	0.287 c
T3: 3 L Th·ha^{-1}	72.68 b	0.404 b
T4: 4 L Th·ha^{-1}	96.51 a	0.599 a
T5: Testigo	47.78 e	0.146 e
CV (%)	9.45	13.11
Tratamientos	< 0.0001 *	< 0.0001 *
Bloques	0.0347 *	0.1630 ns

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

12. IMPACTOS

12.1. Técnicos

La presente investigación tiene un aporte técnico significativo, puesto que aporta información sobre el uso de *Trichoderma harzianum* como un bioinsumo para el cultivo de pimiento, bajo condiciones de cultivo protegido o bajo cubierta, puesto que los resultados demuestran como el hongo favorece a la planta en su desarrollo y crecimiento, así como también, en la producción, además de reducir la incidencia de enfermedades, constituyendo una base técnica que servirá como referencia para programas de manejos integrados del cultivo o para futuros estudios a realizarse.

12.2. Social

La utilización de tecnologías biológicas en la producción del pimiento constituye una alternativa a favor del fortalecimiento de los conocimientos de pequeños y medianos productores, profesionales y estudiantes de áreas afines a la agricultura, sobre prácticas agrícolas sostenibles. La información generada en la presente investigación es muy útil para la divulgación o transferencia de tecnologías, fortaleciendo los procesos de capacitación de productores o de la comunidad en general.

12.3. Ambiental

La utilización de hongos benéficos permite favorecer implementación de sistemas de producción agrícola más amigable con el ambiente, al constituir una alternativa biológica no contaminante para el manejo agronómico del cultivo, particularmente en la nutrición vegetal y control fitosanitario, disminuyendo la dependencia de pesticidas de origen químico o sintéticos, reduciendo así los riesgos de contaminación del suelo y del agua.

12.4. Económico

Económicamente hablando el uso de *Trichoderma harzianum* es una alternativa para el mejoramiento de la producción de pimiento, a través del fortalecimiento de la planta en su proceso de desarrollo vegetativo y la disminución de problemas fitosanitarios, contribuyendo así a la reducción de costos productivos asociados a la adquisición de insumos para el control de enfermedades o fertilizantes. Al mejorar los rendimientos también estarían aumentando los ingresos económicos.

13. PRESUPUESTO

Tabla 24. Presupuesto en la evaluación de Trichoderma harzianum en desarrollo vegetativo y rendimiento de pimiento (Capsicum annuum L.) bajo cubierta en el Cantón La Maná.

Material o equipo	Cantidad	Unidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Análisis de suelo	1	ud	25	25
Semilla de pimiento híbrido	1	sobre	18	18
Fertilizante DAP	1,46	kg	1,2	1,75
Fertilizante Urea	1,17	kg	0,9	1,05
Fertilizante Cloruro de potasio	2,69	kg	1,3	3,5
Fertilizante Nitrato de calcio	2,65	kg	1,4	3,71
Cañas	20	ud	1,5	30
Plástico para invernadero	72	m²	3,5	252
Malla Sarán	72	m²	1,8	129,6
Calibrador Vernier digital	1	ud	35	35
Cinta métrica	1	ud	8	8
Rollo de piola (50 m)	1	rollo	6	6
Rollo de alambre (50 m)	1	rollo	12	12
Clavos	4	lb	2	8
Sierra manual	1	ud	18	18
Martillo	1	ud	12	12
Azadón	1	ud	22	22
Machete	1	ud	15	15
Libreta de campo	1	ud	3	3
Balanza de precisión digital	1	servicio	15	15
Medidor portátil de clorofila SPAD	1	servicio	25	25
Estufa	1	servicio	20	20
Fundas de papel	20	uds	0,25	5
Subtotal materiales e insumos				**668,61**
Mano de obra				
Preparación del terreno	2	jornales	25	50
Construcción del invernadero	2	jornales	25	50
Siembra y trasplante	2	jornales	25	50
Aplicación de tratamientos	4	jornales	25	100
Fertilización y labores culturales	6	jornales	25	150
Evaluaciones de campo	6	jornales	25	150
Cosecha	2	jornales	25	50
Subtotal mano de obra				600
TOTAL GENERAL				**1.268,61**

Elaborado por: Ayuquina & Jara (2026)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- La aplicación de *Trichoderma harzianum* potencio el crecimiento vegetativo del cultivo de pimiento en condiciones de cubierta plástica, siendo la dosis de 4L ha^{-1} la de mejor comportamiento particularmente al final de la evaluación a los 60 DDT, con 77.60 cm en altura de planta, 12.90 mm de diámetro del tallo, 171.60 cm^2 de área foliar, 40.95 cm de longitud de raíz, poniendo en evidencia un mejor desarrollo estructural con respecto al testigo.

- En el comportamiento productivo el hongo *Trichoderma harzianum* influyó positivamente, puesto que la dosis de 4L ha^{-1} registro la mayor cantidad de frutos por planta con 6.20, de peso promedio del fruto con 96.51 g y de rendimiento por planta con 0.599 Kg, demostrando que el microorganismo también puede potenciar el rendimiento del pimiento.

- En cuanto a lo fisiológico *Trichoderma harzianum* también mejoró el contenido de clorofila con 53.08 unidades de SPAD a los 60 DDT, además de una mejor coloración foliar valorada con un mejor índice de vigor del 88.17, evidenciado por una mayor actividad fotosintética y mejor estado fisiológico de la planta.

- La aplicación de *Trichoderma harzianum* también redujo la incidencia de enfermedades en el cultivo de pimiento con respecto del testigo, ya que la dosis de 4 L ha^{-1} mostró la menor afectación (14.58%) en la evaluación final a los 60 DDT, confirmando la capacidad del hongo para contribuir al control biológico de las enfermedades manteniendo un mejor estado fitosanitario.

- En términos generales la dosis de 4L ha^{-1} de *Trichoderma harzianum* presento la mejor respuesta agronómica, fisiológica, sanitaria y productiva del presente estudio, por lo que se acepta la hipótesis alternativa "La aplicación de *Trichoderma harzianum* tiene efectos sobre el desarrollo vegetativo, comportamiento fisiológico, rendimiento, incidencia de enfermedades en cultivo de pimiento bajo cubierta en el cantón La Maná".

14.2. Recomendaciones

- Incorporar al hongo *Trichoderma harzianum* en programas para el manejo integral de cultivos, particularmente pimiento, complementado a la fertilización y prácticas

agronómicas apropiadas, a fin de mejorar la productividad del cultivo y su estado fitosanitario.

- Emplear la dosis de 4L ha^{-1} de *Trichoderma harzianum* para la producción de pimiento, puesto que presenta buenos resultados buen comportamiento agronómico, fisiológico, productivo y sanitario en el cultivo evidenciados en el presente estudio.

- Efectuar investigaciones de mayor tiempo de evaluación, para validar dosis y analizar los efectos residuales de la aplicación de *Trichoderma harzianum* sobre la fertilidad del suelo y la dinámica microorganismo - planta, en ciclos productivos continuos. Además de evaluar parámetros microbiológicos y bioquímicos del suelo, a fin de comprender los mecanismos que *Trichoderma harzianum* emplea para mejorar el crecimiento, la productividad y la sanidad del cultivo.

- Promover el uso del microorganismo *Trichoderma harzianum* como una alternativa viable que permite contribuir a reducir la dependencia de pesticidas, especialmente los fertilizantes sistémicos, aportando a la sostenibilidad del sistema agrícola productivo.

15. BIBLIOGRAFÍA

Abdullah, N., Doni, F., Mispan, M., Saiman, M., Yusuf, Y., Oke, M., & Suhaimi, N. (2021). Harnessing Trichoderma in agriculture for productivity and sustainability. *Agronomy*, 11(12), 2559. https://doi.o°rg/10.3390/agronomy11122559

Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press. https://es.slideshare.net/slideshow/agrios-2005-plant-pathology-5-edpdf/257736607#5

Ahmad, Z., Farooq, M., Fatima, A., Nisa, S., Tabassum, S., Ismat, B., ... Munis, M.. (2023). Diagnóstico molecular de la pudrición roja de la caña de azúcar en Pakistán y control in vitro de patógenos aislados mediante rizobacterias. *Ciencias de la protección de plantas*, 59 (2), 124-133. doi: 10.17221/45/2022-PPS

Altieri, M. & Nicholls, C. (2017). El potencial de adaptación y mitigación de la agricultura tradicional en un clima cambiante. *Climatic Change* 140, 33–45. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y

Barboza, G., García C., Bianchetti, L., Romero, M., Scaldaferro, M. (2022). Monograph of wild and cultivated chili peppers (Capsicum L., Solanaceae). *PhytoKeys* 200: 1-423. https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667

Bakker, J. (1991). *Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables*. Wageningen Agricultural University. https://edepot.wur.nl/206443

Barea, J., Pozo, M., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 56(417), 1761–1778. https://doi.org/10.1093/jxb/eri197

Bashan, Y., De-Bashan, L., Prabhu, S., & Hernandez, J. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378(1–2), 1–33. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x

Berendsen, R., Pieterse, C., & Bakker, P. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478–486. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001

Bosland, P., & Votava, E. (2013). *Peppers: Vegetable and spice capsicums* (2nd ed.). CABI Publishing.

Carrera, A. (2014). *Evaluación de cuatro tratamientos en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) Variedad tropical Irazú a campo abierto, para el control de marchitez por Phytophthora (Phytophthora capsici Leo.) en la parroquia de Imbaya provincia de Imbabura* (Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte). Repositorio Institucional de la UTN. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2815?utm_source

Carrillo, C., Álvarez-Fuentes, G., & Aguilar, G. (2022). Análisis de la calidad del suelo bajo producción intensiva de chile (*Capsicum annuum* L.) en la región irrigada por el acuífero, Calera, Zacatecas, México. *Terra Latinoamericana, 40*, 1-14. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.942

Castilla, N. (2013). *Greenhouse technology and management* (2nd ed.). CABI Publishing. https://rexresearch1.com/GreenhouseLibrary/GreenhouseTechnologyManagement.pdf

Chan, W., González, K., Avalos, A., & Sánchez, J. (2023). Influencia de la inoculación de Trichoderma harzianum y la poda sobre el crecimiento y rendimiento de Capsicum chinense Jacq. Agroindustrial Science, 13(3), 173–180. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.08

Chacha, C. (2024). *Evaluación de Trichoderma harzianum en el control de Oidiopsis (Leveillula taurica) en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) en la parroquia Izamba* (Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador). Repositorio Institucional de la UTA. https://repositorio.uta.edu.ec/items/889f7675-8c1d-4015-94f2-fceec8c4cfd4?utm_source

Chiguano, N. & Pilatagsi, E. (2022). *Control biológico en el cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) con la aplicación de Trichoderma harzianum* (Trabajo de titulación,

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador). Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi. https://repositorio.utc.edu.ec/items/2cd543e3-1c80-45cc-b278-05ba4896f479

Choez, J. (2026). *Determinación del desarrollo morfoagronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annuum) con la aplicación de varias dosis de Trichoderma en Finca Andil de la UNESUM.* (Trabajo de Titulación, Universidad Estatal del Sur de Manabí). Repositorio Institucional de la UNESUM. https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/9039/1/Choez%20Cimarra%20Jean%20Carlos.pdf

Colla, G., Rouphael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., & Cardarelli, M. (2015). Co-inoculation of Glomus intraradices and Trichoderma atroviride acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(8), 1706–1715. https://doi.org/10.1002/jsfa.6875

Contreras-Cornejo, H., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., & Larsen, J. (2016). Ecological functions of Trichoderma spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: Interactions with plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(4), fiw036. https://doi.org/10.1093/femsec/fiw036

Contreras-Cornejo, H., Schmoll, M., Esquivel-Ayala, B., González-Esquivel, C., Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Mechanisms for plant growth promotion activated by Trichoderma in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, 281, 127621. https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621

Díaz-Pérez, J. (2013). Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) Crop as Affected by Shade Level: Microenvironment, Plant Growth, Leaf Gas Exchange, and Leaf Mineral Nutrient Concentration. *HortScience*, 48(2), 175–182. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.2.175

Dorais, M. (2003). The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. *Canadian Greenhouse Conference*, 1–8. https://share.google/qrwwl7v1u6sPXZ2RL

Duan, X., Zou, C., Jiang, Y., Yu, X., & Ye, X. (2023). Effects of Reduced Phosphate Fertilizer and Increased Trichoderma Application on the Growth, Yield, and Quality of Pepper. *Plants, 12*(16), 2998. https://doi.org/10.3390/plants12162998

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], & Intergovernmental Technical Panel on Soils [ITPS]. (2015). *Status of the world's soil resources: Main report*. FAO. https://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf

FAO. (2017). *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i3284e/i3284e.pdf

FAO. (2022). Introduction and advantages of protected cultivation systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1697565/

FAO. (2024). *Pesticides use and trade. 1990–2022*. FAOSTAT analytical brief. https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/pesticides-use-and-trade-1990-2022/en

Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44–49. https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002

Glick, B. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401. https://doi.org/10.6064/2012/963401

Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species—Opportunistic, avirulent plant symbionts, 2(1), 43–56. https://doi.org/10.1038/nrmicro797

Herrera-Parra, Elizabeth, Cristóbal-Alejo, Jairo, & Ramos-Zapata, José A. (2017). Cepas de Trichoderma como promotores de crecimiento en *Capsicum annuum* y como agentes de biocontrol en Meloidogyne incognita. *Revista chilena de investigaciones agrícolas*, 77 (4), 318-324. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392017000400318

Hochmuth, G., Hochmuth, R., & Olson, S. (2008). Polyethylene Mulching for Early Vegetable Production in North Florida: Cir805/CV213, 11/2008. EDIS, 2008(7). https://doi.org/10.32473/edis-cv213-2001 (Original work published October 10, 2001)

Hunde, N. (2020). Yield response and nutrient use efficiencies of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to inorganic fertilizers in Ethiopia: A review article. International Journal of Research in Agronomy, 3(1), 25–32. https://www.researchgate.net/publication/340502391_Yield_response_and_nutrient_use_efficiencies_of_hot_pepper_Capsicum_annuum_L_to_inorganic_fertilizers_in_Ethiopia_A_review_article

Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI]. (2017). Diagnóstico visual de deficiencias nutrimentales. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/Diagnostico-Visual-de-Deficiencias-Nutrimentales

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2012). *INIAP-282: Maíz blanco harinoso para consumo humano*. Estación Experimental Santa Catalina. https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/b1028e3e-1509-43f8-816d-77463a652cd8/content

Jarvis, W. (1992). *Managing diseases in greenhouse crops*. APS Press. https://share.google/NCG0sYqhMPZsJmoXY

Jensen, M., & Malter, A. (1995). *Protected agriculture: A global review*. World Bank Technical Paper No. 253. https://share.google/Bd9s44xFKngW7aBVS

Kouokap, L., Eke, P., Dinango, V., Yimta, D., Tamghe, P., Kansci, G., & Wakam, L. (2023). Trichoderma bio-inoculant promotes the growth and yield of pepper (Capsicum *annuum* L.): *An open field trial. Plant*, 11(2), 41-49. https://doi.org/10.11648/j.plant.20231102.11

Kraft, K., Luna Ruiz, J., & Gepts, P. (2013). A new collection of wild populations of Capsicum in Mexico and the southern United States. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(1), 225–232. https://doi.org/10.1007/s10722-012-9827-5

Kredics, L., Büchner, R., & Balázs, D. (2024). Recent advances in the use of Trichoderma-containing multicomponent microbial inoculants for pathogen control and plant growth promotion. *World Journal of Microbiology and* Biotechnology, 40, 162. https://doi.org/10.1007/s11274-024-03965-5

Kubiak, A., Wolna-Maruwka, A., Pilarska, A., Niewiadomska, A., & Piotrowska-Cyplik, A. (2023). Fungi of the Trichoderma Genus: Future Perspectives of Benefits in Sustainable Agriculture. *Applied Sciences*, *13*(11), 6434. https://doi.org/10.3390/app13116434

Liu, Q., Meng, X., Li, T., Raza, W., Liu, D., & Shen, Q. (2020). Promoción del crecimiento de pimientos (*Capsicum annuum* L.) mediante fertilizante orgánico biológico a base de Trichoderma guizhouense NJAU4742: posible papel del aumento de la disponibilidad de nutrientes. *Microorganisms* , *8* (9), 1296. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091296

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

Malusá, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielska, J. (2012). Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *Scientific World Journal*, 2012, 491206. https://doi.org/10.1100/2012/491206

Martínez, Y., Ribera, J., Schwarze, F. W. M. R., & De France, K. (2023). Biotechnological development of Trichoderma-based formulations for biological control. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, 5595–5612. https://doi.org/10.1007/s00253-023-12687-x

Nintanga S.A.S. (s. f.). Trichobion Plus®. https://www.nintanga.com.ec/en_US/inoculantes-y-fertilizantes/

Olas, J. J., Fichtner, F., & Apelt, F. (2020). All roads lead to growth: Imaging-based and biochemical methods to measure plant growth. Journal of Experimental Botany, 71(1), 11–21. https://doi.org/10.1093/jxb/erz406

Pagamas, P., & Nawata, E. (2008). Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 117(1), 21–25. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.03.017

Perry, L., Dickau, R., Zarrillo, S., Holst, I., Pearsall, D. M., Piperno, D. R., Berman, M. J., Cooke, R. G., Rademaker, K., Ranere, A. J., Raymond, J. S., Sandweiss, D. H., Scaramelli, F., Tarble, K., & Zeidler, J. A. (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum spp.* L.) in the Americas. *Science*, 315(5814), 986–988. https://doi.org/10.1126/science.1136914

Philippot, L., Raaijmakers, J., Lemanceau, P., & van der Putten, W. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789–799. https://doi.org/10.1038/nrmicro3109

Poveda, J., Millen, M., & Bailey, A. (2024). Plant growth-promoting mechanisms and agricultural applications of *Trichoderma*: A review. *Journal of Plant Physiology.* https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105424.

Ramírez, V. (2024). *Trichoderma harzianum como biocontrolador de enfermedades fúngicas radiculares del Capsicum frutescens L. (ají charapita) y su efecto en el rendimiento de frutos – Zungarococha – San Juan* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú. https://hdl.handle.net/20.500.12737/12269

Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Mechanisms for plant growth promotion activated by *Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research, 281*, 127621. https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621

Rodrigues, A., De Mio, L., & Soccol, C. (2023). Trichoderma as a powerful fungal disease control agent for a more sustainable and healthy agriculture: Recent studies and molecular insights. *Planta*, 257(2), 31. https://doi.org/10.1007/s00425-022-04053-4

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science, 11, 40. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, MS, Ramakrishnan, M., Landi, M., Araniti, F., & Sharma, A. (2020). Trichoderma : Los "secretos" de un agente de biocontrol multifacético. *Plants* , *9* (6), 762. https://doi.org/10.3390/plants9060762

Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., & Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91–108. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2

Syngenta. (s. f.). *Nathalie: Pimiento híbrido tipo cascadura*. Ficha técnica. Syngenta Semillas de Vegetales. https://www.syngenta.com.co/media/406/download

Singh, J., Pandey, V., & Singh, D. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3–4), 339–353. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017

Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M., Ramakrishnan, M., Landi, M., Araniti, F., Li, Y., & Sharma, A. (2020). Trichoderma: The "Secrets" of a Multitalented Biocontrol Agent. *Plants, 9*(6), 762. https://doi.org/10.3390/plants9060762

Tripodi, P., & Kumar, S. (2019). The Capsicum crop: An introduction. In P. Tripodi & S. Kumar (Eds.), The Capsicum genome (pp. 1–8). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_1

Villegas, D., Acosta, C., & Milla, M. (2018). Dinámica de crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) sometidas a la aplicación de *Trichoderma harzianum* Rifai en ambientes controlados. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable, 2*(1), 21–27. https://doi.org/10.25127/aps.20181.380

Vessey, J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586. https://doi.org/10.1023/A:1026037216893

Walsh, B., & Hoot, S. (2001). Phylogenetic relationships of Capsicum (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: The chloroplast atpB-rbcL spacer region and nuclear waxy introns. *International Journal of Plant Sciences*, 162(6), 1409–1418. https://doi.org/10.1086/323273

Walter, A., Liebisch, F., & Hund, A. (2015). Plant phenotyping: From bean weighing to image analysis. Plant Methods, 11(14), 1–11. https://doi.org/10.1186/s13007-015-0056-8

Woo, S., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312–326. https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5

Woo, S., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise, S., Manganiello, G., & Lorito, M. (2014). Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, 8(1), 71–126. https://doi.org/10.2174/1874437001408010071

Xiao, Z., Zhao, Q., Li, W., Gao, L., & Liu, G. (2023). Strain improvement of Trichoderma harzianum for enhanced biocontrol capacity: Strategies and prospects. *Front. Microbiol.* 14:1146210. doi: 10.3389/fmicb.2023.1146210

Yusuf, N., & Hamed, N. (2021). Effects of water deficit on the growth and chlorophyll content of *Capsicum frutescens*. *Journal of Sustainability Science and Management, 16*(6), 148–158. https://doi.org/10.46754/jssm.2021.08.013

Zhang, X., Ma, X., Wang, S., Liu, S., & Shi, S. (2024). Physiological and Genetic Aspects of Resistance to Abiotic Stresses in Capsicum Species. *Plants*, *13*(21), 3013. https://doi.org/10.3390/plants13213013

Zin, N. & Badaluddin, N. (2020). Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003