



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.*
FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN
PLÁNTULAS DE PIMIENTO”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Agrónomo

Autor:

Tapia Muela Diego Raul

Tutora:

Ing. Arévalo Granda Johanna Valentina

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Tapia Muela Diego Raul, con cédula de ciudadanía No. 1755010442, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.* FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO”**, siendo la Ingeniera Mg. Johanna Valentina Arévalo Granda, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Diego Raul Tapia Muela

C.C: 1755010442

ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TAPIA MUELA DIEGO RAUL**, identificado con cédula de ciudadanía 1755010442 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.* FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutora: Ing. Johanna Valentina Arévalo Granda, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.* FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Diego Raul Tapia Muela

EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.* FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO”, de Tapia Muela Diego Raul de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Arévalo Granda Johanna Valentina, Mg.

C.C: 1715849582

DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Tapia Muela Diego Raul, con el título del Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.* FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Edwin Marcelo Chancusig Espín, Ph.D.

C.C: 0501148837

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Mercy Lucila Ilbay Yupa, Ph.D.

C.C: 0604147900

LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Diana Elizabeth Toapanta Gallegos, Mg.

C.C: 1002749800

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Hoy culmina una etapa que representó esfuerzo, sacrificio y constancia. Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza necesaria para no rendirme en los momentos de dificultad, por iluminar mi camino y permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi vida profesional.

A mi familia, gracias por cada consejo, cada gesto de apoyo y cada sacrificio realizado han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mis docentes, expreso mi más sincero reconocimiento por su orientación, dedicación y compromiso. Sus enseñanzas no solo enriquecieron este trabajo, sino también mi formación como profesional y como persona.

A todas aquellas personas que creyeron en mí y me acompañaron en este proceso, gracias por formar parte de este logro que hoy celebro con profundo orgullo y gratitud.

Diego Raul Tapia Muela

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a mi mamá, quien ha sido mi base, mi refugio y mi mayor motivación para seguir adelante. Este triunfo también les pertenece, porque sin su amor y respaldo constante no habría sido posible.

A mi hija, el motor de mi vida y la razón más grande de mi esfuerzo. Cada paso que doy es pensando en tu futuro. Todo lo que hago y lo que soy, es también por ti y para ti.

Diego Raul Tapia Muela

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE *Trichoderma spp.*
FRENTE A FACTORES ABIÓTICOS: ENSAYOS IN VITRO Y EN PLÁNTULAS DE
PIMIENTO”

Autor:

Tapia Muela Diego Raúl

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de *Trichoderma spp.* frente a diferentes factores abióticos (salinidad, pH y temperatura) en condiciones controladas, mediante ensayos in vitro y en plántulas de pimiento. Se desarrolló una investigación con enfoque cuantitativo y experimental bajo un Diseño Completamente al Azar y prueba de Tukey ($\alpha=0,05$), considerando tratamientos de pH (5,6,7,8), salinidad (0mM, 100mM, 300mM y 500mM) y temperatura (10°C, 20°C, 28°C y 35°C a nivel in vitro y 22°C-Post Helada, 10°C, 22°C y 30°C en ensayos de plántulas). Los ensayos in vitro se evaluaron durante 5 días y los ensayos en plántulas por 21 días, excepto el tratamiento a 22°C-Post helada que se evaluó por 24 días. A nivel in vitro, el mayor crecimiento radial se registró en pH 6, salinidad de 100 mM y temperaturas entre 20–28°C. Los valores extremos de pH, altas concentraciones de salinidad (300–500 mM) y temperaturas bajas o elevadas redujeron significativamente el crecimiento del hongo. Además, se observó que concentraciones de salinidad iguales o superiores a 300 mM inhibieron la esporulación, evidenciando un efecto negativo de la salinidad sobre los procesos reproductivos del hongo. En plántulas de pimiento inoculadas con *Trichoderma spp.*, se registró un incremento en la biomasa seca, especialmente en el tratamiento control de salinidad inoculada con el hongo; se observó además que, las plántulas se desarrollaron de mejor manera a 30°C, sin embargo, no se puede atribuir al efecto del hongo sobre la plántula. Finalmente, a pH 6 en plantas inoculadas con el hongo mostraron mayor altura, número de hojas, área foliar y peso seco de los brotes. Todos los resultados indican que los factores abióticos influyen directamente en el comportamiento de *Trichoderma sp.* a nivel in vitro y también sobre ciertas variables morfológicas de plántulas de pimiento.

Palabras clave: Pimiento, *Trichoderma spp.*, factores abióticos, salinidad, pH, temperatura, Agricultura sostenible.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF *Trichoderma spp.* IN THE FACE OF ABIOTIC STRESS: IN VITRO AND PEPPER SEEDLING TRIALS”

Author:

Tapia Muela Diego Raúl

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the behavior of *Trichoderma spp.* under different abiotic factors (salinity, pH, and temperature) under controlled conditions through in vitro assays and pepper seedlings experiments. A quantitative and experimental approach was applied using a Completely Randomized Design with Tukey’s test ($\alpha = 0.05$), considering pH (5,6,7,8), salinity (0mM, 100mM, 300mM and 500mM), and temperature (10°C, 20°C, 28°C and 30°C in vitro and 22°C post-frost, 10°C, 22°C and 30°C in seedling experiments). In vitro assays were evaluated over 5 days and up to 21 days in seedlings, except for the 22°C post-frost treatment, which was evaluated for 24 days. At the in vitro level, the highest radial growth was recorded at pH 6, 100 mM salinity, and temperatures between 20–28°C. Extreme pH values, high salinity concentrations (300–500 mM), and low or high temperatures significantly reduced fungal growth. Additionally, salinity levels equal to or higher than 300 mM inhibited sporulation, indicating that saline affected negatively the reproductive processes. In pepper seedlings inoculated with *Trichoderma spp.*, an increase in dry biomass was recorded, particularly under control salinity conditions in plants inoculated with fungus. At 30°C a better developed of the seedlings was recorded, however, it can not be attributed to the effect of the fungus. Finally, at pH 6, plants inoculated with the fungus showed greater height, number of leaves, leaf area and shoot dry weight. Overall, the results indicate abiotic factor influence the behavior of *Trichoderma sp* at in vitro level and also on certain morphological variables of pepper seedling.

Keywords: Pepper, *Trichoderma spp.*, Abiotic factors, Salinity, pH, Temperature, Sustainable agriculture.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
5. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	5
5.1. General:.....	5
5.2. Específicos:.....	5
6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
6.1. <i>Trichoderma</i> spp. como microorganismo benéfico del suelo.....	7
6.2. Factores abióticos como factores limitantes en la agricultura	7
6.3. Salinidad como uno de los condicionantes para <i>Trichoderma</i> spp.....	8
6.4. El pH como variable determinante del metabolismo fúngico.....	8
6.5. Temperatura.....	9
6.6. Importancia del pimiento (<i>Capsicum annuum</i>) en América Latina.....	9
6.7. Interacción <i>Trichoderma</i> – planta bajo factor abiótico.....	10

6.8. Cultivo <i>in vitro</i>	10
6.9. Crecimiento micelial.....	11
6.10. Micelio y esporulación (indicadores).....	11
6.11. Bioinsumos microbianos.....	12
7. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	12
7.1. Hipótesis	12
8. METODOLOGÍA Y DISEÑO.....	12
8.1. Área de estudio	12
8.2. Diseño experimental	13
8.3. Enfoque de la investigación	15
8.4. Variables	16
8.4.1. Independientes (factores manipulados).....	16
8.4.2. Dependientes (respuestas medidas).....	16
8.5. Evaluación del impacto de los factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de <i>Trichoderma</i> spp., a nivel <i>in vitro</i>	17
8.5.1. Ensayo de pH	17
8.5.2. Ensayo de salinidad (NaCl).....	17
8.5.3. Ensayo de temperatura	19
8.6. Evaluación del impacto de los factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de semillas de plántulas de pimiento inoculados con <i>Trichoderma</i> spp.	19
8.6.1. Preparación del Sustrato.....	19
8.6.2. Recuento de conidios	20
8.6.3. Desinfección de las semillas	21
8.6.4. Preparación de Hoagland	21
8.7. Monitoreo diario y registro de observaciones.....	22
8.8. Análisis de datos y estadística	22
8.9. Materiales y equipos	23

9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
9.1.	Evaluación del impacto de los factores abióticos (pH, salinidad, temperatura) sobre el desarrollo de <i>Trichoderma</i> spp., a nivel in vitro.	24
9.1.1.	Efecto del pH sobre el crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.	24
9.1.2.	Efecto de la salinidad sobre el crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.	26
9.1.3.	Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.	28
9.2.	Evaluación del impacto de los factores abióticos (pH, salinidad, temperatura) sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con <i>Trichoderma</i> spp.	30
9.2.1.	Efecto del pH sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con <i>Trichoderma</i> spp.	30
9.2.2.	Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con <i>Trichoderma</i> spp.	42
9.2.2.1.	Efecto del efecto de una Post helada sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con <i>Trichoderma</i> spp.	46
9.2.3.	Efecto de la salinidad sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con <i>Trichoderma</i> spp.	56
10.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)	67
10.1	Impacto Social	67
10.2	Impacto Ambiental	67
10.3	Impacto Económico	67
11.	CONCLUSIONES.....	68
12.	RECOMENDACIONES	69
13.	BIBLIOGRAFÍA	70
14.	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados	5
Tabla 2. Factores y tratamientos empleados	14
Tabla 3. Diseño experimental para ensayos de Trichoderma a nivel in vitro	14
Tabla 4: Diseño experimental para ensayos en semillas de plántulas de pimiento inoculadas con Trichoderma sp.	15
Tabla 5. Materiales y equipos de laboratorio.	23
Tabla 6. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el crecimiento radial de Trichoderma spp. a los 5 días	24
Tabla 7. Análisis estadístico para el efecto de la salinidad sobre el crecimiento radial de Trichoderma spp. al día 5	26
Tabla 8. Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el crecimiento radial de Trichoderma spp. al día 5.	28
Tabla 9: Niveles favorables para el crecimiento de Trichoderma en medio de cultivo bajo factores abióticos de pH, salinidad y temperatura al día 5.	30
Tabla 10. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre la altura del tallo, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp., en función del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21)	31
Tabla 11: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el número de hojas en función del pH	32
Tabla 12. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el área foliar, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp., en función del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21)	34
Tabla 13: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre la longitud de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp.	35
Tabla 14: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso húmedo de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp.	36
Tabla 15: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso seco de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp.	38
Tabla 16: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso húmedo de los brotes, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp.	39
Tabla 17: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso seco de los brotes, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con Trichoderma spp.	40
Tabla 18: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la altura del tallo	42
Tabla 19: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el número de hojas	43
Tabla 20: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el área foliar	44
Tabla 21: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la altura del tallo (ensayo post helada)	46
Tabla 22: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el número de hojas (ensayo post helada)	47
Tabla 23: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el área foliar (ensayo post helada)	48

Tabla 24: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la longitud de raíz.....	50
Tabla 25: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el peso húmedo de la raíz.	51
Tabla 26: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso seco de la raíz.....	52
Tabla 27: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso húmedo del brote.	53
Tabla 28: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso seco del brote.....	55
Tabla 29. <i>Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre la altura del tallo.</i>	56
Tabla 30. Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el número de hojas	58
Tabla 31: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el área foliar.	59
Tabla 32: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre la longitud de la raíz.....	60
Tabla 33: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso húmedo de la raíz.....	61
Tabla 34: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso seco de la raíz	62
Tabla 35: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso húmedo de los brotes.	64
Tabla 36: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso seco de los brotes.....	65
Tabla 37: Condiciones abióticas más favorables de pH, temperatura y salinidad para el desarrollo de plántulas de pimiento.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	13
Figura 2. Influencia del pH sobre el crecimiento radial de <i>Trichoderma</i> sp. a nivel in vitro.....	25
Figura 3. Influencia de la salinidad sobre el crecimiento radial de <i>Trichoderma</i> sp. a nivel in vitro. .	27
Figura 4. Influencia de la temperatura sobre el crecimiento radial de <i>Trichoderma</i> sp. a nivel in vitro.	29
Figura 5: Altura del tallo en función del pH y del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21) (Tukey $\alpha=0.05$).	31
Figura 6: Número de hojas en función del Ph (Tukey $\alpha=0.05$).	33
Figura 7. Área foliar en función del pH y del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21) (Tukey $\alpha=0.05$).	34
Figura 8: Longitud de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).	35
Figura 9: Peso húmedo de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).....	37
Figura 10: Peso seco de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).	38
Figura 11: Peso húmedo de brote según pH (Tukey $\alpha=0.05$).	39
Figura 12: Peso seco de brote según pH (Tukey $\alpha=0.05$).	41
Figura 13: Altura del tallo en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).	42
Figura 14: Número de hoja en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).	43
Figura 15: Área foliar en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).	45
Figura 16: Altura del tallo en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).	46
Figura 18: Número de hoja en función de la temperatura post helada (Tukey $\alpha=0.05$).	47
Figura 19: Área foliar en función de la temperatura post helada (Tukey $\alpha=0.05$).....	49
Figura 20: Longitud en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).....	50
Figura 21: Peso húmedo de la raíz en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).	51
Figura 22: Peso seco de la raíz en función de la temperatura	52
Figura 23: Peso húmedo del brote en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).....	54
Figura 24: Peso seco del brote en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).....	55
Figura 25: Altura del tallo en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	57
Figura 26. Número de hojas en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	58
Figura 27: Área foliar en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	59
Figura 28: Longitud de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).....	60
Figura 29: Peso húmedo de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	61
Figura 30: Peso seco de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).....	63
Figura 31: Peso húmedo de los brotes en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	64
Figura 32: Peso seco de los brotes en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).	65

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título

Evaluación del comportamiento de *Trichoderma* spp. frente a factores abióticos: ensayos in vitro y en plántulas de pimiento.

Lugar de ejecución.

Laboratorios de Biotecnología y Fitopatología, Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga – Provincia de Cotopaxi – Zona 3.

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Carrera de Agronomía.

Nombres de equipo de investigadores

Tutor: Ing. Arévalo Granda Johanna Valentina, Mg

Investigadora: Diego Raúl Tapia Muela

Área de Conocimiento.

Agricultura, Silvicultura y Pesca - Ciencias Agrícolas – Microbiología Agrícola

Línea de investigación:

Biotecnología aplicada a la sostenibilidad agrícola

Línea de Vinculación:

Producción agropecuaria sostenible y protección de cultivos

2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza dada la necesidad de obtener un mayor conocimiento sobre la biología y proceso funcional de *Trichoderma* bajo distintas condiciones de factores abióticos. Con la identificación de las cepas de *Trichoderma* spp. que pueden presentar una mayor tolerancia a los cambios de pH, temperatura y salinidad se puede maximizar la eficiencia de los diferentes bioinsumos (Carvajal & Jiménez, 2021). Es así, como el presente estudio busca información sobre la influencia de diversos factores abióticos como la salinidad, el pH y la temperatura sobre el crecimiento del hongo biocontrolador. De igual forma, favorecerá la implementación de protocolos y lineamientos para los procesos de producción, manejo y aplicación de cepas de *Trichoderma* spp., reduciendo de esa forma las incertidumbres existentes para la aplicación de este tipo de técnicas.

El proyecto presenta un aporte con nivel práctico y teórico al integrar los ensayos *in vitro* bajo un sistema experimental para poder evaluar al hongo, permitiendo una mayor comprensión de los diferentes mecanismos de respuesta de *Trichoderma* spp. frente a los diferentes factores abióticos, lo que fomenta y genera información base para una selección de las cepas más eficientes (Cambero *et al.* (2023). Esta información generada contribuirá a los procesos de innovación tecnológica y de producción de bioinsumos que son adaptados a cada una de las condiciones locales a nivel de suelo y del clima, que podrán ser tomados como referencia para futuros estudios sobre los diferentes hongos benéficos, además de las características propias de sus procesos de interacción bajo ambientes de factores abióticos.

El estudio a su vez beneficia de manera directa a cada uno de los productores y formuladores de bioinsumos, laboratorios y cada uno de los programas para un manejo biológico, e incluso en los viveros, ofreciendo una herramienta para favorecer la salud y todo el proceso de desarrollo de las plántulas, lo que influye de manera directa en la calidad y el rendimiento de todo el cultivo. Asimismo, de manera indirecta favorece a toda la comunidad académica, a técnicos y personal agrícola, investigadores durante su proceso de actualización y capacitación sobre la importancia del uso de este tipo de elementos que favorecen a los cultivos. La estandarización de diferentes protocolos de evaluación, selección, conservación y aplicación de cepas de *Trichoderma* así como el manejo de distintas condiciones de factores abióticos pueden contribuir a la adopción de prácticas agrícolas de manera sostenible, fortaleciendo los procesos de producción locales.

El impacto de este proyecto se ve reflejado hacia un proceso de optimización en la utilización de los diferentes bioinsumos, la reducción de agroquímicos y una mejora en la resiliencia funcional y adaptativa de *Trichoderma* spp. frente a las condiciones adversas y factores abiótico, aportando de esa forma información valiosa sobre una adecuada selección de cepas de la especie de *Trichoderma* spp. que son tolerantes a las condiciones adversas, promoviendo de esa forma a una agricultura sostenible y competitiva en toda la región.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios de este proyecto, serán los formuladores de bioinsumos, ya que a través de esta investigación se podrá conocer más sobre la dinámica de crecimiento y tolerancia de *Trichoderma* sp. frente a diversos factores abióticos que pueden simular las condiciones ambientales que podría resistir el hongo en medio agrícolas. De igual manera, los productores de agrícolas podrán beneficiarse del hongo biocontrolador *Trichoderma* sp, al realizar aplicaciones del mismo sobre los cultivos de pimiento aprovechando sus características de tolerancia a factores abióticos. Estas prácticas podrían mejorar los procesos de germinación, sanidad y desarrollo inicial; incrementando la producción y calidad de los diferentes cultivos.

Dentro de los beneficiarios indirectos podrán ser incluidos estudiantes de agronomía, los investigadores y toda la comunidad académica. El trabajo fortalecerá todo el proceso de formación científico y académico a través de la transferencia tecnológica, sirviendo de igual forma como una base fundamental para los estudios en microbiología agrícola y para la comprensión de factores abióticos que influyen en el crecimiento de *Trichoderma* sp. y en la dinámica planta-hongo.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los factores abióticos como salinidad, pH y temperatura, representan uno de los principales obstáculos en el desarrollo, establecimiento y eficacia de microorganismos benéficos utilizados en la agricultura, como es el caso del hongo *Trichoderma* spp (Peñas de la Corte, 2025). Estos mismos factores abióticos influyen directamente sobre las plantas, pudiendo afectar su germinación, desarrollo inicial y el rendimiento final del cultivo lo que impacta negativamente en la estabilidad y la sostenibilidad de cada uno de los sistemas agrícolas por lo que el uso de hongos bioestimulantes podría mitigar estos efectos adversos (Morales, 2023).

En América Latina el pimiento (*Capsicum annuum*) es uno de los cultivos de mayor sensibilidad a los diferentes factores abióticos, que pueden presentar pérdidas significativas en toda su producción y calidad debido a las variaciones ambientales. Aunque han sido desarrolladas una serie de bioinsumos en función de *Trichoderma* spp. cada uno de los estudios específicos sobre el comportamiento frente al factor abiótico son escasos, por ello, es necesario comprender estas interacciones para alcanzar una adecuada selección de las cepas con mayor eficiencia y adaptabilidad.

A nivel local, las variaciones de pH, fluctuaciones térmicas, cambios en salinidad del suelo influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La aplicación de *Trichoderma* spp. como bioestimulante es uno de los principales usos que se le da al hongo en la actualidad. Sin embargo, es importante conocer su tolerancia frente a diferentes factores abióticos buscando garantizar su efectividad en el campo. Este estudio contribuye a generar información valiosa de cepas nativas de Cotopaxi, permitiendo a futuro, la adopción de *Trichoderma* sp. como una nueva estrategia para un manejo biológico eficiente.

El uso del hongo *Trichoderma* spp. en los cultivos agrícolas ha favorecido el crecimiento vegetal actuando como agente para el biocontrol frente a otros patógenos del suelo y también actuando como bioestimulante de las plantas. Sin embargo, existe un conocimiento limitado sobre el comportamiento de ciertas cepas frente a condiciones variables de pH, salinidad y temperatura a nivel *in vitro*, lo que restringe su selección y aplicación en los procesos de agricultura sostenible (Andrade *et al.* (2023).

Los diferentes ensayos *in vitro* representan una de las principales herramientas para garantizar el análisis del comportamiento de *Trichoderma* spp. bajo diferentes factores abióticos, como la salinidad, el pH y la temperatura. Por otro lado, los ensayos en laboratorio a partir de semillas inoculadas con *Trichoderma* permiten conocer la influencia del hongo sobre el desarrollo de la planta, así como entender la tolerancia que puede brindar el hongo a la planta al ser sometida a variaciones de factores abióticos. Con la etapa experimental, se establecen protocolos para las inoculaciones y el manejo de los hongos en una serie de condiciones controladas a nivel *in vitro* y a nivel de ensayos en plántulas en el laboratorio, pudiendo proponer la aplicación de *Trichoderma* a nivel de campo, una vez que se genere información para la selección de cepas adaptadas a diferentes condiciones. Este proceso permitirá considerar a *Trichoderma* como alternativa para el manejo sostenible de cultivos de pimiento,

contribuyendo a su vez en la mejora de la calidad, la productividad y la resiliencia del cultivo frente a condiciones adversas.

5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

5.1. General:

Evaluar el comportamiento de *Trichoderma* spp. frente a diferentes factores abiótico (salinidad, pH y temperatura) en condiciones controladas, mediante ensayos *in vitro* y en plántulas de pimiento.

5.2. Específicos:

- Evaluar el impacto de los factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el crecimiento de *Trichoderma* spp., a nivel *in vitro*.
- Evaluar el impacto de factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de plántulas de pimiento inoculados con *Trichoderma* spp.

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados

OBJETIVO ESPECÍFICO	METODOLOGÍA	ACTIVIDADES	RESULTADOS ESPERADOS
Evaluar el impacto de factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de <i>Trichoderma</i> spp. a nivel <i>in vitro</i> .	Reactivación de la cepa <i>Trichoderma</i> spp. en PDA. Preparación de medios de cultivos PDA ajustando la salinidad y el pH. Siembra e incubación de placas según las	Reactivación e incubación de la cepa de <i>Trichoderma</i> sp. en PDA. Preparación de los diferentes medios de cultivo. Montaje de cada ensayo por factor abiótico evaluado.	Cepas activas y presentes de manera puras. Medios de cultivo puros y ajustados el pH y la salinidad. Implementación de los ensayos de pH, salinidad y temperatura.

	<p>diferentes condiciones de factores abióticos.</p> <p>Medición de crecimiento de <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>Registro fotográfico.</p>	<p>Monitoreo y registro diario del crecimiento del hongo.</p>	<p>Base de datos.</p> <p>Comparaciones estadísticas.</p>
<p>Evaluar la respuesta fisiológica del pimiento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en condiciones de factores abiótico.</p>	<p>Selección y desinfección del sustrato y de las semillas de pimiento.</p> <p>Preparación de solución de esporas de <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>Inoculación de semillas con <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>Siembra de macetas para ensayos frente a diversos factores abióticos y macetas control.</p> <p>Preparación de solución Hoagland para el riego y</p>	<p>Preparación y esterilización del sustrato.</p> <p>Selección, desinfección de semillas de pimiento en solución de hipoclorito de sodio al 1% y lavado de semillas en agua destilada estéril.</p> <p>Inoculación de semillas en suspensión del hongo.</p> <p>Siembra de semillas en macetas para cada ensayo.</p>	<p>Semillas inoculadas con <i>Trichoderma sp.</i></p> <p>Crecimiento de plántulas.</p> <p>Ensayos instalados para cada condición de los factores abióticos seleccionados.</p> <p>Base de Datos.</p> <p>Comparaciones estadísticas.</p>

	<p>mantenimiento de la salinidad y pH del sustrato.</p> <p>Mediciones de variables morfológicas en las plántulas.</p>	<p>Aplicación de las condiciones seleccionadas de los factores abióticos en los cultivos de plántulas de pimiento.</p> <p>Monitoreo diario y medición de variables.</p>	
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Realizado por: Tapia, 2026.

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1. *Trichoderma* spp. como microorganismo benéfico del suelo

El hongo *Trichoderma* spp. constituye uno de los principales géneros que han sido más estudiados dentro del área de microbiología agrícola producto de su gran capacidad para favorecer el crecimiento vegetal, además de actuar como un bioestimulante natural. Son organismos saprófitos que colonizan de una manera eficiente toda la rizosfera, estableciendo una serie de interacciones que son benéficas y se relacionan con raíces múltiples de diferentes especies hortícolas. Su rápido crecimiento, además de su capacidad enzimática y toda la versatilidad fisiológica les permite competir y favorecer todo un espacio y nutrientes cuando las condiciones son adversas (Cortes *et al.* (2024).

Además, muchas de sus especies cuentan con una serie de mecanismos de micoparasitismo, mediante los cuales pueden degradar y neutralizar todos los patógenos como *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*. Bajo el contexto del estudio, es fundamental alcanzar una comprensión de las diferentes respuestas que puede dar el hongo a las condiciones adversas de salinidad, pH y temperatura, dado a que estos condicionan toda su viabilidad, el crecimiento micelial y su capacidad para realizar colonizaciones en las raíces, por lo que representa una herramienta estratégica de sostenibilidad agrícola (Chango, 2023).

6.2. Factores abióticos como factores limitantes en la agricultura

El desarrollo y crecimiento *Trichoderma* spp. pueden ser condicionados por factores varios del ambiente, lo que resulta desfavorable. Entre los más significativos, se pueden mencionar la salinidad, la temperatura, el nivel del pH, que afectan la biosíntesis y el metabolismo del segundo, la reproducción y la colonización del suelo. De acuerdo con la variabilidad de estas condiciones en promedio natural, se refleja en su masividad en procesos de laboratorio o de producción de bioproductos basados en estos hongos (Castillo, 2022).

El efecto de las condiciones ambientales desfavorables sobre el hongo FO *Trichoderma* spp. es particular, ya que directamente afectan su supervivencia, desarrollo, actividades metabólicas y de colonización. Por esta razón, la evaluación experimental de las diversas condiciones adversas es fundamental para garantizar la eficacia y la estabilidad para su aplicación en la biotecnología y la producción de bioproductos que depende de este hongo (Castillo, 2022).

6.3. Salinidad como uno de los condicionantes para *Trichoderma* spp.

En *Trichoderma* spp. la salinidad puede causar un efecto sobre el crecimiento micelial, con la esporulación e incluso la síntesis de algunos metabolitos son asociados a las actividades bioestimuladoras (Herrera, 2025). La salinidad es uno de los factores de mayor factor abiótico presente en los suelos agrícolas que se presentan en las zonas semiáridas en cada uno de los sistemas de riego intensivo. Con la presencia del uso excesivo de las sales, sobre todo los cloruros de sodio, la alteración del potencial osmótico del medio de cultivo, reduce toda disponibilidad del agua para cada microorganismo.

Cuando se desarrolla en concentraciones moderadas, algunas de estas cepas pueden tolerar toda la presión osmótica a través de un proceso de ajuste de sus membranas o el incremento en la producción de osmoprotectores. Sin embargo, con los niveles elevados de la salinidad suelen producir algunas disminuciones significativas de la viabilidad y todo el vigor micelial. Evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones permitirá la determinación de umbrales fisiológicos para su tolerancia, identificando de igual forma cuales cepas pueden enfrentarse a cada contexto de condiciones ambientales.

6.4. El pH como variable determinante del metabolismo fúngico

El pH es un medio que constituye una de las bases fundamentales que permiten la regulación enzimática, la estabilidad de las membranas celulares y toda la disponibilidad de

nutrientes incluso en hongos como el *Trichoderma* spp. La mayoría de las cepas alcanzan a prosperar en ambientes ácidos de hasta pH 5.0, sin embargo, esta capacidad varía según la especie, por lo que estas variaciones pueden modificar una serie de procesos que son esenciales como lo es la síntesis de las quitinasas, las germinaciones de los conidios y toda la secreción de los compuestos antifúngicos (La Torre, 2025).

El hongo *Trichoderma* spp. es constantemente expuesto a cambios de pH provenientes de las características químicas y geológicas de su ambiente. Es por esto que es imprescindible estudiar el crecimiento y especialmente la actividad enzimática del hongo en un rango de pH desde 5 a 8, para poder determinar sus condiciones óptimas de crecimiento y la tolerancia de pH. La información revelada es fundamental para el diseño de bioinsumos que aseguren la efectividad del hongo en diversas matrices y aplicaciones de biotecnología.

6.5. Temperatura

La temperatura afecta de una manera directa toda la tasa metabólica, la esporulación y todo el crecimiento micelial de *Trichoderma* spp. Cada una de las cepas presenta un rango óptimo para la temperatura donde su proceso y actividad biológica es máxima, siendo para la mayoría de los estudios de 25° a 30° C. No obstante, todas las condiciones de campo pueden incluir una serie de temperaturas más bajas 20° C e incluso altas hasta unos 35° C, pudiendo limitar de esa forma la eficacia del hongo como un bioestimulador. La exposición a estas diferentes temperaturas extremas puede alcanzar a generar un factor térmico, la desnaturalización de las proteínas y la reducción de la viabilidad celular (Sánchez L. , 2025).

Es así que su análisis bajo diferentes rangos que sean controlados permitirá la identificación de las alteraciones que pueden influir en su velocidad de crecimiento, la morfología y esporulación micelial bajo todo el factor térmico. El hongo *Trichoderma* spp. ha demostrado poder desarrollarse y ser activo en diferentes condiciones de pH, temperatura y nutrientes. Esta capacidad de adaptarse es vital para la colonización, el crecimiento y el metabolismo del mismo, y le confiere al hongo valor como microorganismo para la formulación de bioinsumos y la aplicación en biotecnología. La experimentación de sus comportamientos con respecto a las mismas permite identificar rangos, de modo de usar solo la cantidad necesaria para su eficacia y estabilidad, garantizando que se mantendrán sus funciones al aplicarlo en los diferentes ambientes (Cortés C. , 2024).

6.6. Importancia del pimiento (*Capsicum annuum*) en América Latina

El pimiento es uno de los cultivos de mayor valor económico, gastronómico e incluso nutricional para América Latina, el cual es producido a grandes escalas en las zonas tropicales y subtropicales. Su importancia radica en su gran demanda para el consumo fresco como todo su procesamiento industrial. Sin embargo, es altamente sensible a elementos de factor abiótico sobre todo durante las fases iniciales para toda su germinación y establecimiento. Los factores como la salinidad, variaciones en el pH así como las térmicas pueden afectar de manera negativa toda su longitud radicular, la biomasa y su capacidad sintética (Guananga & Guadamud, 2024).

Bajo este contexto, los diferentes hongos como *Trichoderma* spp. representan una de las estrategias potenciales para mejorar su tolerancia al factor, fortaleciendo de esa forma todo el establecimiento de las plántulas y una uniformidad para su crecimiento. Comprender este tipo de interacciones bajo una serie de escenarios controlados permitirá el desarrollo de las diferentes estrategias de manejo de forma eficaz para alcanzar a mejorar toda su productividad y resiliencia del cultivo en los sistemas agrícolas vulnerables.

6.7. Interacción *Trichoderma* – planta bajo factor abiótico

La interacción entre *Trichoderma* spp. y las diferentes plantas es un proceso complejo que involucra una serie de señales químicas, como la colonización radicular además de los cambios fisiológicos en algunos organismos. Bajo algunas de las condiciones de factor abiótico, esta relación es de mayor relevancia, debido a que todo el hongo puede realizar una inducción de los mecanismos de tolerancia en toda la planta. Entre los diferentes efectos que son más destacados se encuentra el proceso de absorción de los nutrientes, con un aumento de la longitud de todas sus raíces y la síntesis de fitohormonas como lo son la auxina además de la activación de antioxidantes.

Además, con la presencia de cada hongo se puede modular la expresión de los diferentes genes que están relacionados con el proceso de tolerancia a factor abiótico osmótico o térmico, lo cual favorece el incremento y la capacidad de la planta para poder adaptarse a las condiciones adversas. Para ello se debe investigar cuales de los mecanismos de las plántulas de pimiento permiten establecer una serie de bases científicas para el uso del hongo como uno de los bioestimulantes y componente es esenciales en los programas de agricultura sostenible (Chango, 2023).

6.8. Cultivo *in vitro*

Los diferentes ensayos *in vitro* son fundamentales para el estudio del comportamiento de cada uno de los hongos que sean de mayor interés, buscando eliminar de esa forma la complejidad de los ambientes naturales. Este tipo de experimentos permiten una manipulación de cada una de las variables de una manera independiente, en donde la salinidad, el pH y la temperatura pueden ofrecer una serie de datos precisos para la fisiología de cada microorganismo. En *Trichoderma* spp. este conjunto de modelos proporciona informaciones importantes como el crecimiento micelial, la producción de esporas e incluso la capacidad de germinación (Andrade *et al.* (2023).

Asimismo, este conjunto de ensayos puede servir de base para una etapa preliminar que permite el análisis de cada experimento en las plantas, siendo identificadas aquellas que son más resistentes. Con esta base de información, cada investigador podrá establecer una serie de predicciones para las futuras inoculaciones de manera eficiente, siendo la base científica generada *in vitro* la que constituye todo un soporte de manera sólida para su aplicación.

6.9. Crecimiento micelial

El crecimiento micelial de los hongos del género *Trichoderma* es un indicador fundamental de su capacidad para colonizar sustratos, competir con otros microorganismos y ejercer sus efectos benéficos en sistemas agrícolas. Este crecimiento depende de diversos factores abióticos como el pH, la temperatura, la humedad, la disponibilidad de nutrientes y la salinidad, los cuales influyen directamente en la actividad metabólica y en la velocidad de expansión del micelio. En condiciones óptimas generalmente pH ligeramente ácido a neutro y temperaturas moderadas entre 25 y 30 °C *Trichoderma* presenta un crecimiento rápido y abundante, lo que favorece su capacidad para antagonizar patógenos del suelo y promover el desarrollo vegetal. Sin embargo, valores extremos de estos factores pueden reducir la tasa de crecimiento micelial, alterar la morfología del micelio o incluso inhibir su desarrollo. Aun así, muchas cepas muestran una alta tolerancia a variaciones ambientales, lo que explica su amplia distribución en distintos ecosistemas y su uso en agricultura sostenible como agente de control biológico y bioestimulante.

6.10. Micelio y esporulación (indicadores)

El crecimiento micelial además de la esporulación es dos de las variables de manera crítica utilizadas en una caracterización de los hongos de *Trichoderma* spp. Con una tasa de crecimiento para el micelio que permite inferir toda la vitalidad del organismo además de su

capacidad para la colonización de las superficies aun cuando incluyen todo el sustrato vegetal. La esporulación, por su parte, representa una de las medidas potenciales reproductivas además de su capacidad para la dispersión y sobrevivencia en cada condición adversa (Sánchez L. , 2025).

Las condiciones abióticas extremas pueden favorecer la formación de las esporas, alterando su forma e incluso la disminución de su visibilidad. De allí que sea fundamental el proceso de evaluación de cada uno de los factores que pueden generar un factor abiótico, asegurando de esa forma la selección de las cepas con mayor estabilidad y predicción para condiciones ambientales que se presenten de manera alterada.

6.11. Bioinsumos microbianos

El uso de los diferentes bioinsumos que consideran como base el *Trichoderma* spp. ha ganado una gran importancia ya que ha sido usado como una técnica para la reducción de fertilizantes y agroquímicos sintéticos. Esta serie de productos pueden contribuir de manera significativa para una sostenibilidad agrícola al mejorar toda la salud del suelo, aumentando la eficiencia para la absorción de los diferentes nutrientes y la reducción de la incidencia en cada enfermedad. Sin embargo, para que se alcance una mayor eficacia en los diferentes bioinsumos se debe tener claro los factores como la calidad de cada cepa, las condiciones abióticas y la capacidad de adaptación bajo un ambiente de aplicación (Sánchez L. , 2025).

7. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. Hipótesis

H0: Los factores abióticos no influyen en el comportamiento de *Trichoderma* spp. en ensayos in vitro y en plántulas de pimiento.

H1: Los factores abióticos influyen en el comportamiento de *Trichoderma* spp. en ensayos in vitro y en plántulas de pimiento.

8. METODOLOGÍA Y DISEÑO

8.1. Área de estudio

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en los laboratorios de microbiología agrícola de la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache (Figura 1; Latitud: 00°59'47.68" N;

Longitud: 78°37'19.16" O), bajo condiciones controladas para el manejo de cada uno de los ensayos implementados.



Figura 1. Ubicación del laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fuente: Google Earth (2025).

8.2. Diseño experimental

En las Tablas 2 y 3, se observa la distribución del experimento con tres ensayos establecidos de manera independiente, dentro del cual cada uno correspondió a un factor abiótico: temperatura, salinidad y pH. Se empleó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con un solo factor a nivel *in vitro* y un diseño factorial completamente al azar para los ensayos realizados en plántulas; cada tratamiento presentó cuatro niveles y cuatro réplicas, es decir:

- *In vitro*: el experimento fue unifactorial de manera independiente por cada factor abiótico (pH, temperatura, salinidad) con 4 niveles cada uno (control más tres niveles de factor abiótico) y las cuatro replicas por cada tratamiento (cajas de Petri).
- En plántulas: se empleó un diseño factorial de 5 x 3 (tratamientos vs días). Se consideraron cinco tratamientos en plántulas que incluyeron 4 niveles en cada tratamiento (plántulas provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma sp.*) y un control negativo (plántulas sin inoculación de *Trichoderma sp.*), en tres días de análisis al día 7, 14 y 21 para el análisis de las variables altura de planta, y área foliar. Para las variables de longitud de raíz, peso húmedo y seco de raíz y peso húmedo y seco de brotes se realizó un diseño completamente al azar unifactorial al día 21.

Tabla 2. Factores y tratamientos empleados

Ensayo	pH	NaCl (mM)	Temperatura °C
In vitro	5, 6, 7, 8	0, 100, 300 y 500	10, 20, 28, 35
En plantas	5, 6, 7, 8	0, 100, 300, 500	0, 10, 22, 30

Realizado por: Tapia, 2026.

Nota: para los valores seleccionados se usaron como referencias: Senizza *et al.* (2023).

Diversos estudios científicos, como el de Senizza *et al.* (2023), indican que *Trichoderma* spp tolera rangos amplios de pH (5–8), salinidad (0–500 mM de NaCl) y temperatura, tanto in vitro como en plántulas (8-40°C), lo que justifica los tratamientos aplicados en el ensayo. Esta capacidad de adaptación permite a las plantas inoculadas mantener el crecimiento y la respuesta fisiológica frente a cada factor abiótico, respaldando el diseño experimental del estudio (Sánchez et al., 2021).

Diseño experimental

Tabla 3. *Diseño experimental para ensayos de Trichoderma a nivel in vitro*

Experimento in vitro	Tratamiento	Nivel	Nº réplicas	Total placas
pH	Ácido	5.0	4	4
pH	Control	6.0	4	4
pH	Normal	7.0	4	4
pH	Alcalino	8.0	4	4
Salinidad	Control	0 mM*	4	4
Salinidad	Bajo	100 mM	4	4
Salinidad	Medio	300 mM	4	4
Salinidad	Alto	500 mM	4	4
Temperatura	Baja	10 °C	4	4
Temperatura	Media	20°C	4	4
Temperatura	Control	28 °C	4	4
Temperatura	Alta	35 °C	4	4

Realizado por: Tapia, 2026.

* La salinidad 0mM hace referencia a que se mantuvieron las concentraciones propias del medio y no se añadió NaCl.

Tabla 4: *Diseño experimental para ensayos en semillas de plántulas de pimiento inoculadas con Trichoderma sp.*

Experimento en plántulas	Tratamiento	Nivel	N° réplicas	Total placas
pH	Ácido	5.0	4	4
pH	Control	6.0	4	4
pH	Normal	7.0	4	4
pH	Alcalino	8.0	4	4
pH	Control negativo*	6.0	4	4
Salinidad	Control	0 mM**	4	4
Salinidad	Bajo	100 mM	4	4
Salinidad	Medio	300 mM	4	4
Salinidad	Alto	500 mM	4	4
Salinidad	Control negativo*	0mM**	4	4
Temperatura	Baja	10 °C	4	4
Temperatura	Media	22°C	4	4
Temperatura	Control	0 °C	4	4
Temperatura	Alta	30 °C	4	4
Temperatura	Control negativo*	22°C	4	4

Realizado por: Tapia, 2026.

* Control Negativo: semillas de plántulas que no fueron inoculadas con *Trichoderma sp.*

** Salinidad 0mM hace referencia a que se mantuvieron las concentraciones propias de la Solución Hoagland y no se añadió NaCl.

8.3. Enfoque de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo – experimental, orientado a medir cada uno de los cambios de las variables biológicas seleccionadas bajo condiciones controladas a nivel in vitro y a nivel de ensayos en plántulas mantenidas en el laboratorio. Se analizaron tres factores abióticos (pH, salinidad, temperatura) además de la presencia/ausencia de inoculación de *Trichoderma spp.* con el fin de cuantificar tanto la respuesta fúngica (esporulación, crecimiento micelial), como la respuesta morfológica de las plántulas del pimiento inoculadas con el hongo (*Capsicum annuum*), al medir las variables de biomasa, altura de la planta, cantidad de hojas, área foliar. Los datos se analizaron mediante técnicas estadísticas

inferenciales, buscando establecer relaciones entre las diferentes variables que serán manipuladas.

8.4. Variables

8.4.1. Independientes (factores manipulados)

Ensayos de *Trichoderma* a nivel in vitro

- Salinidad: 0 mM (control), 100 mM, 300 mM, 500 mM.
- pH: 5.0, 6.0 (normal), 7.0, 8.0.
- Temperatura: 10°, 20 °C, 28 °C (control), 35 °C.

Semillas de plántulas de pimiento inoculadas con *Trichoderma sp.*

- Salinidad: 0 mM (control), 100 mM, 300 mM, 500 mM.
- pH: 5.0, 6.0 (normal), 7.0, 8.0.
- Temperatura: 0°C, 10 °C, 22 °C, (control), 30 °C.
- Inoculación: Presencia/ausencia de *Trichoderma* spp. en semillas de plántulas de pimiento.

8.4.2. Dependientes (respuestas medidas)

Ensayos de *Trichoderma* a nivel in vitro

- Crecimiento de colonia - crecimiento radial (cm).

Ensayos en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con y sin *Trichoderma sp.*

- Altura de la planta (cm).
- Número de hojas (unidades).
- Área foliar (cm²).
- Longitud de las raíces (cm).
- Peso húmedo y peso seco de raíz (g)
- Peso húmedo y peso seco de brotes (g)

Variables de control

- Medio de cultivo (PDA).
- Tipo de sustrato para ensayos en plántulas.
- Solución Hoagland
- Suspensión del Inóculo (conidios por ml).
- Tiempo utilizado para la medición (días).

8.5. Evaluación del impacto de los factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de *Trichoderma* spp., a nivel in vitro.

8.5.1. Ensayo de pH

Para este factor se definieron 4 tratamientos (5, 6, 7, 8) con cuatro repeticiones por tratamiento. Se prepararon 4 botellas de 100mL cada una de medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), siguiendo las instrucciones del fabricante (39g de PDA en 1000 mL), es decir, disolviendo 3,9 g de PDA en 100mL de agua destilada. En cada botella se ajustó el pH con NaOH o HCl para obtener un pH de 5, 6, 7, 8. El pH 6 fue el pH del medio de cultivo el cual fue tomado como el pH del medio de control. Los medios de cultivo fueron esterilizados mediante autoclave y se dispensados en cajas petri. Posteriormente, la inoculación de las cajas con agar PDA se la realizó tomando un disco de crecimiento esporular de *Trichoderma* sp. de 7 días y colocándolo en la mitad de cada caja Petri con ayuda de una punta de micropipeta de 1000uL y una jeringa estéril. Las cajas fueron incubadas a una temperatura de 28 °C durante cinco días. Cada día se midió el crecimiento radial del hongo en centímetros (González, 2024).

8.5.2. Ensayo de salinidad (NaCl)

Se establecieron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones a los cuales se les añadió cloruro de sodio (NaCl) para ajustar la concentración de sal a 100 mM para el Tratamiento 1 (T1), 300 mM para el tratamiento 2 (T2) y 500 mM para el tratamiento 3 (T3). En el tratamiento control no se añadió cloruro de sodio es decir 0mM. Se realizaron los siguientes cálculos de las concentraciones:

$$M = \frac{n}{V} = \frac{m}{PM * V}$$

Donde:

M: corresponde a la molaridad

n: cantidad de moles

V: Volumen

m: masa

PM: Peso molecular

Por lo tanto, la masa de cloruro de sodio para cada tratamiento se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$m_{NaCl} = M * PM_{NaCl} * V$$

- Para el T1 salinidad de 100 mM:

$$M = 100 \text{ mM} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_{PDA} = 4 * 25\text{mL} = 100 \text{ mL} = 0,10 \text{ L}$$

$$m_{NaCl} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,10 \text{ L} = 0,58 \text{ g NaCl}$$

- Para el T2 salinidad de 300 mM:

$$M = 300 \text{ mM} = 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_{PDA} = 4 * 25\text{mL} = 100 \text{ mL} = 0,10 \text{ L}$$

$$m_{NaCl} = 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,10 \text{ L} = 1,75 \text{ g NaCl}$$

- Para el T3 salinidad de 500 mM:

$$M = 500 \text{ mM} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_{PDA} = 4 * 25mL = 100 mL = 0,10 L$$

$$m_{NaCl} = 0,5 \frac{mol}{L} * 58,44 \frac{g}{mol} * 0,1 L = 2,92 g NaCl$$

Se prepararon 4 botellas con 100mL cada una de medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), siguiendo las instrucciones del fabricante (39g de PDA en 1000 mL), es decir, disolviendo 3,9 g de PDA en 100mL de agua destilada. En cada botella se añadió la cantidad de NaCl para cada tratamiento. En una botella se mantuvieron las condiciones propias del medio, por lo que fue considerada el control (salinidad 0mM). Se esterilizó el medio mediante autoclave y se dispensó. Posteriormente, la inoculación de las cajas con agar PDA se la realizó tomando un disco de crecimiento esporular de *Trichoderma sp.* de 7 días y colocándolo en la mitad de cada caja Petri con ayuda de una punta de micropipeta de 1000uL y una jeringa estéril. Las cajas fueron incubadas a una temperatura de 28 °C durante cinco días. Cada día se midió el crecimiento radial del hongo en centímetros.

8.5.3. Ensayo de temperatura

Para el ensayo de temperatura, se establecieron 4 niveles de temperatura (10°, 20°, 28° y 35° C) con cuatro repeticiones cada uno. La temperatura a 28°C fue el control del ensayo. Se preparó 400mL de medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), siguiendo las instrucciones del fabricante (39g de PDA en 1000 mL), es decir, disolviendo 15,6 g de PDA en 400mL de agua destilada. Se esterilizó el medio mediante autoclave y se dispensó en 16 cajas petri. La inoculación de las cajas con agar PDA se la realizó tomando un disco de crecimiento esporular de *Trichoderma sp.* de 7 días y colocándolo en la mitad de cada caja Petri con ayuda de una punta de micropipeta de 1000uL y una jeringa estéril. Las cajas fueron incubadas en las temperaturas correspondientes (28 °C, 20°C, 10 °C, 35 °C) durante cinco días. Cada día se midió el crecimiento radial del hongo en centímetros.

8.6. Evaluación del impacto de los factores abióticos (salinidad, pH, temperatura) sobre el desarrollo de semillas de plántulas de pimiento inoculados con *Trichoderma spp.*

8.6.1. Preparación del Sustrato

Para la preparación del sustrato se consideró que cada maceta se llenaría con 0,160 kg sustrato (perlita y tierra negra) y se múltiplo para las 60 macetas (48 macetas con el hongo *Trichoderma spp.* y 12 macetas sin el hongo) dando un total de 9,6 kg de sustrato. De esto 50% correspondió a tierra negra y el 50% a perlita, siendo entonces, 4,8 kg de tierra negra y la misma

cantidad de perlita (4,8kg). Una vez mezclado el sustrato, este fue esterilizado en la autoclave por un total de 45 min y dispensado en cada maceta.

8.6.2. Recuento de conidios

En un frasco previamente esterilizado fueron colocados 50 mL de agua destilada estéril. Se tomó una caja con cultivo de 7 días del hongo *Trichoderma sp.*, se realizó el raspado de la superficie con ayuda de un bisturí y posteriormente se colocaron todas las esporas sobre un papel aluminio para ser pesadas. Las esporas fueron colocadas en el frasco con agua destilada estéril. Se mezcló la suspensión con ayuda de un vórtex y se tomó 50uL para realizar el recuento de conidios en la cámara Neubauer. Se seleccionaron 5 cuadrantes de los 25 cuadrantes del cuadro central y se contó el total de conidios tomando como regla el recuento de los conidios que topen el filo izquierdo y el filo superior, los conidios que tocaron el filo derecho y el inferior no fueron contados.

La concentración de conidios por mililitro se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum \text{conidios}}{5 \text{ cuadrantes}} \times \frac{25 \text{ cuadrantes}}{1 \text{ cuadrado}} \times \frac{1 \text{ cuadrado}}{(1 * 1 * 0,1) \text{ mm}^3} \times \frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ mL}} \times FD$$

$$C = \frac{922 \text{ conidios}}{5 \text{ cuadrantes}} \times \frac{25 \text{ cuadrantes}}{1 \text{ cuadrado}} \times \frac{1 \text{ cuadrado}}{(1 * 1 * 0,1) \text{ mm}^3} \times \frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ mL}} \times 1$$

$$C = 4,61 \times 10^7 \frac{\text{conidios}}{\text{mL}}$$

Para alcanzar la concentración de conidios deseada 2×10^7 conidios/ml se procede de la siguiente forma:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$V_2 = \frac{4,61 \times 10^7 \frac{\text{conidios}}{\text{mL}} * 50 \text{ mL}}{2 \times 10^7 \frac{\text{conidios}}{\text{mL}}} = 115,25 \text{ mL}$$

Entonces, se añadió 65,25 mL de agua destilada estéril a los 50mL de suspensión de conidios.

8.6.3. Desinfección de las semillas

En una solución de 500 mL de hipoclorito de cloro al 1% (100 mL de cloro comercial al 5% con 400 mL de agua destilada), se colocaron las 60 semillas para su desinfección y se agitó por 10 minutos. Luego, las semillas fueron lavadas y enjuagadas en agua destilada estéril por tres ocasiones. Posteriormente, las semillas fueron incorporadas a la solución de 2×10^7 conidios/mL y se dejó reposar por de 12 horas. Las semillas utilizadas como control fueron desinfectadas y sumergidas en agua destilada estéril por 12 horas.

Se sembraron 48 macetas con semillas desinfectadas e inoculadas con el hongo *Trichoderma sp.* las cuales se utilizaron para los tratamientos y 12 macetas fueron utilizadas como control negativo en donde se sembró únicamente semillas sumergidas en agua destilada estéril sin el hongo.

Para el estudio de la influencia del pH sobre el desarrollo de plantas que provienen de semillas inoculadas con *Trichoderma sp.* se establecieron 20 macetas, de estas en 4 macetas fueron sembradas con semillas en suspensión del hongo para el estudio del efecto del pH 5, en 4 macetas el efecto del pH 6 (control), en 4 el efecto del pH 7, en 4 el pH 8 y 4 macetas fueron el control negativo.

Para el estudio de la influencia de la salinidad sobre el desarrollo de plantas que provienen de semillas inoculadas con *Trichoderma sp.* se establecieron 20 macetas, de estas en 4 macetas sembradas con semillas en suspensión del hongo se estudió el efecto de la salinidad a 100mM de NaCl, en 4 el efecto de la salinidad a 300mM de NaCl, en 4 el efecto de la salinidad a 500mM de NaCl. 4 macetas sembradas con semillas inoculadas con el hongo fueron consideradas como salinidad 0mM de NaCl (control) y 4 macetas fueron el control negativo.

Para el estudio de la influencia de la temperatura sobre el desarrollo de plantas que provienen de semillas inoculadas con *Trichoderma sp.* también se establecieron 20 macetas, de estas en 4 macetas sembradas con semillas en suspensión del hongo se estudió el efecto de la temperatura a 10°C, en 4 el efecto de la temperatura a 22°C (Temperatura ambiente, control), en 4 el efecto de la temperatura a 30°C, y 4 macetas fueron el control negativo. Se sembraron 4 macetas extras que se mantuvieron por 21 días a temperatura control (22°C); posteriormente se dejó una noche a 0°C y se evaluó por 3 días más.

8.6.4. Preparación de Hoagland

Para regar cada una de las macetas se procedió a preparar la solución Hoagland; en un frasco de 5 litros previamente esterilizado, se añadieron 25 mL de la solución A (frasco de solución amarilla), 25 mL de la solución B (frasco de solución roja) y se completó el volumen añadiendo 4950 mL de agua destilada estéril.

Luego se distribuyó en 4 botellas un total de 400 mL cada una, y en estas se ajustó los pH a 5, 6 (control), 7, y 8.

Posteriormente, a los 3400 ml restantes se les ajustó el pH a 6. De estos, se volvió a repartir 400 mL en cuatro botellas a las cuales se les ajustó la salinidad con 0g de NaCl para el tratamiento control (0mM); 2,34 g de NaCl para el tratamiento a 100 mM; 7,31 g de NaCl para el tratamiento a 300 mM y 11,6 g de NaCl para el tratamiento a 500 mM.

$$m_{\text{NaCl}(100\text{mM})} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,4 \text{ L} = 2,34 \text{ g NaCl}$$

$$m_{\text{NaCl}(300\text{mM})} = 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,4 \text{ L} = 7,01 \text{ g NaCl}$$

$$m_{\text{NaCl}(500\text{mM})} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,4 \text{ L} = 11,69 \text{ g NaCl}$$

8.7. Monitoreo diario y registro de observaciones

Los ensayos in vitro fueron evaluados por 7 días en donde se registró el crecimiento radial del hongo en centímetros. Los ensayos en plántulas se evaluaron por 21 días a excepción del tratamiento de temperatura en su nivel de 0°C el cual fue evaluado por 24 días. En los ensayos de plántulas se midieron las variables altura de la planta, cantidad de hojas, área de las hojas, longitud de la raíz, peso húmedo de brotes y raíz, peso seco de brotes y raíz.

8.8. Análisis de datos y estadística

Los datos correspondientes a las variables asociadas al crecimiento in vitro de *Trichoderma* spp. fueron organizados en hojas Excel colocando en columnas: tratamiento, factor, réplica, variable, fecha.

Se realizaron pruebas preliminares para verificar la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. En caso de incumplimiento, se consideraron transformaciones de los datos (logarítmica o raíz cuadrada) o análisis no paramétricos.

Para el análisis estadístico a nivel in vitro, en cada factor evaluado (salinidad, pH y temperatura) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y, cuando se detectaron diferencias, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) la cual permite identificar específicamente qué tratamientos difieren entre sí controlando el error experimental tipo I. Este método agrupa las medias en categorías homogéneas representadas por letras, facilitando la interpretación de los resultados y la determinación de los niveles más favorables de cada factor evaluado. Se elaboraron gráficos de barras para visualizar la dinámica del micelio de *Trichoderma* spp. y comparar el efecto de cada factor sobre su crecimiento.

Para el análisis estadístico en plántulas se realizó un análisis de varianza ANOVA factorial (nivel de factor \times día); buscando de esa forma la evaluación de las diferentes interacciones entre factores. Cuando existieron diferencias significativas ($p<0,05$) se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey con nivel de significancia al 5% para identificar diferencias entre medias. Se realizó un ANOVA factorial para las variables de longitud de raíz, peso húmedo y seco de raíz y peso húmedo y seco de brote a los 21 días.

El análisis estadístico se realizó en el software InfoStat con un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0,05$).

8.9. Materiales y equipos

Con la implementación de los diferentes materiales y equipos (Tabla 4), para garantizar de esa forma la obtención de resultados válidos y una manipulación adecuada según las medidas y lineamientos establecidos.

Tabla 5. *Materiales y equipos de laboratorio.*

Equipos / Materiales	Marca / Procedencia	Modelo / Presentación	Cantidad
Autoclave	TUTTNAUER	2540M	1
Balanza analítica	HOCHOICE	HC500	1
Cabina de flujo laminar	BIOBASE	BBS-H1300	1
Calefactor	GENERAL ELECTRIC	Modelo doméstico	1
Cámara Neubauer	HEMOCYTOMETER	Modelo estándar	1
Cámaras de crecimiento	PHYTOTRON	Modelo PG-100	2
HCl	MERCK	37% solución	1 L
Incubadora	REBELK	RISO	1
Incubadora	Binder	BD56	1
Micropipetas	BOECO	M-200 HL	3
NaCl	MERCK	Cristal puro	1 kg
NaOH	MERCK	1 M solución	1 L
PDA (agar dextrosa)	DIFCO / Sigma	–	5 kg
Placas Petri	PYREX	90 mm	50
Semillas de pimiento	PIMIENTO SEEDS CO.	Variedad híbrida	100 g
Solución Hoagland	ELABORACIÓN PROPIA	–	2 L
Termohigrómetro	TFA	30.1037	1
Ventilador	PANASONIC	F-45	1

Realizado por: Tapia, 2026.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Evaluación del impacto de los factores abióticos (pH, salinidad, temperatura) sobre el desarrollo de *Trichoderma* spp., a nivel in vitro.

9.1.1. Efecto del pH sobre el crecimiento de *Trichoderma* spp.

Tabla 6. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el crecimiento radial de *Trichoderma* spp. a los 5 días

<u>Día</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
5	Crecimiento radial (cm)	16	0,96	0,95	3,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,56	3	1,52	97,32	<0,0001
pH	4,56	3	1,52	97,32	<0,0001
Error	0,19	12	0,02		
Total	4,75	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,26242

Error: 0,0156 gl: 12

pH	Mediasn	E.E.	
8	2,50	4	0,06 A
7	3,10	4	0,06 B
5	3,23	4	0,06 B
6	4,00	4	0,06 C

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

Realizado por: Tapia, 2026.

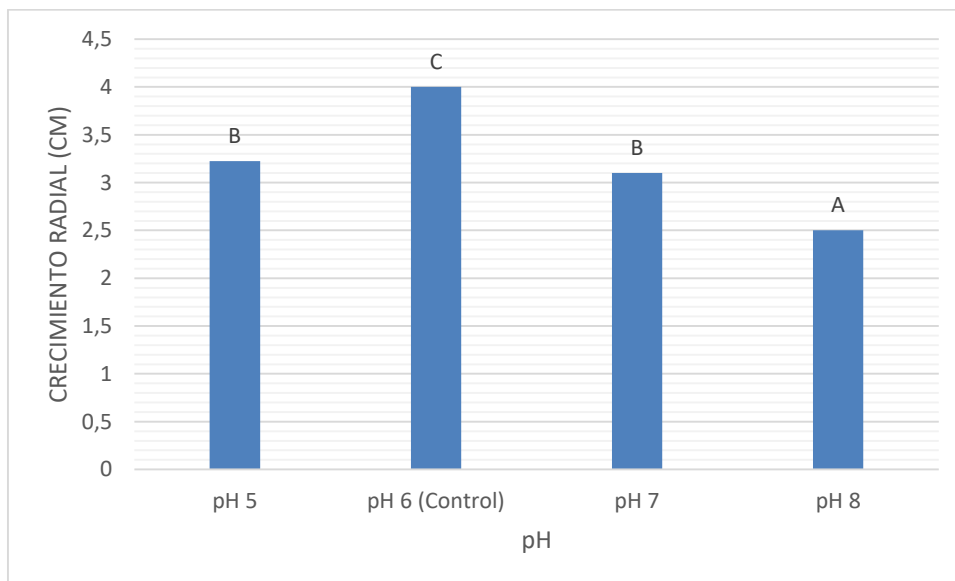


Figura 2. Influencia del pH sobre el crecimiento radial de *Trichoderma* sp. a nivel in vitro.

Realizado por: Tapia, 2026.

Interpretación:

El análisis de varianza demostró que el pH ejerció un efecto altamente significativo sobre el crecimiento radial del agente biológico en estudio. El modelo explica el 96% de la

variabilidad, lo que se corresponde con un excelente ajuste experimental y una alta fiabilidad de los resultados. Asimismo, el coeficiente de variación fue del 3,90%, indicando la baja dispersión de los datos. La prueba de Tukey $\alpha = 0,05$ mostró que el mayor crecimiento se observó a pH 6, con 4,00 cm, que fue significativamente diferente del resto de tratamientos. Los tratamientos pH 5 y 7 mostraron crecimiento intermedio, los que no se diferenciaron significativamente entre sí, con 3,25 y 2,75 cm, respectivamente. A su vez, el pH 8 presentó el crecimiento radial más bajo, con 2,50 cm.

El análisis de varianza (ANOVA) del pH sobre el crecimiento radial medido en centímetros muestra que existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. El valor de P (<0.0001) es mucho menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), lo que confirma que existe un efecto significativo del pH.

9.1.2. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento de *Trichoderma spp.*

Tabla 7. Análisis estadístico para el efecto de la salinidad sobre el crecimiento radial de *Trichoderma spp.* al día 5

Día	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Crecimiento radial (cm)	16	0,83	0,78	20,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,64	3	5,21	18,91	0,0001
Salinidad (mM)	15,64	3	5,21	18,91	0,0001
Error	3,31	12	0,28		
Total	18,94	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,10215

Error: 0,2756 gl: 12

Salinidad (mM)	Mediasn	E.E.
300	1,35	4 0,26 A
500	1,98	4 0,26 A B
0-Control	2,75	4 0,26 B
100	4,00	4 0,26 C

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

Realizado por: Tapia, 2026.

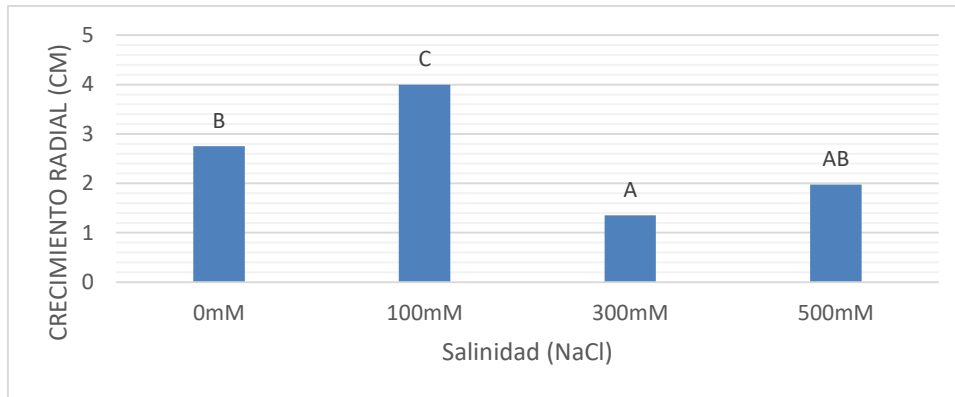


Figura 3. Influencia de la salinidad sobre el crecimiento radial de *Trichoderma* sp. a nivel in vitro.

Realizado por: Tapia, 2026.

Interpretación:

El ANOVA muestra que la salinidad entre los tratamientos realizados tuvo un efecto altamente significativo sobre el crecimiento radial del hongo, $p = 0.0001$. El modelo explica el 83% de la variabilidad observada, $R^2 = 0,83$, lo que indica un buen modelo ajustado. Sin embargo, el coeficiente de variación, $CV=20.84\%$, demostró una variabilidad moderada entre las repeticiones. El análisis de Tukey $\alpha = 0,05$ mostró que 100 mM; 4.00 cm presentó el mayor carácter significativo con respecto al resto de los tratamientos y al control (0mM). *Trichoderma spp.* tolera pequeñas y moderadas cantidades de salinidad, teniendo un mejor crecimiento a 100 mM, en comparación con cantidades mayores 300-500 mM.

Los resultados obtenidos se ajustan a lo descrito por Herrera (2025), quien señala que la salinidad influye directamente en el crecimiento micelial y en procesos fisiológicos clave de *Trichoderma spp.* En el presente estudio se observó una tendencia donde las concentraciones moderadas (100 mM) presentaron el mayor crecimiento, mientras que niveles más altos o intermedios redujeron los valores, lo que sugiere un efecto osmótico progresivo del NaCl sobre el hongo. Esto coincide con el planteamiento de que, en condiciones moderadas, algunas cepas pueden tolerar la presión salina mediante mecanismos de ajuste celular y producción de osmoprotectores, pero a concentraciones elevadas la disponibilidad de agua disminuye y se afecta el vigor micelial. Por tanto, los resultados respaldan la idea de que *Trichoderma spp.* posee tolerancia a la salinidad dentro de ciertos umbrales, información relevante para su aplicación en suelos agrícolas con factor salino. No obstante, se observó que la salinidad influyó

también en la esporulación, ya que en concentraciones de 300 mM o superiores no se evidenció formación de esporas en las cajas Petri, lo que indica que niveles elevados de estrés salino no solo reducen el crecimiento radial, sino que también afectan procesos reproductivos del hongo.

9.1.3. Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de *Trichoderma* spp.

Tabla 8. Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el crecimiento radial de *Trichoderma* spp. al día 5.

Día	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
5	Crecimiento Radial (cm)	16	0,99	0,98	12,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53,84	3	17,95	277,00	<0,0001
Temperatura	53,84	3	17,95	277,00	<0,0001
Error	0,78	12	0,06		
Total	54,62	15			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,53437

Error: 0,0648 gl: 12

Temperatura	Mediasn	E.E.	
35	0,13	4	0,13 A
10	0,30	4	0,13 A
28	3,75	4	0,13 B
20	4,00	4	0,13 B

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

Realizado por: Tapia, 2026.

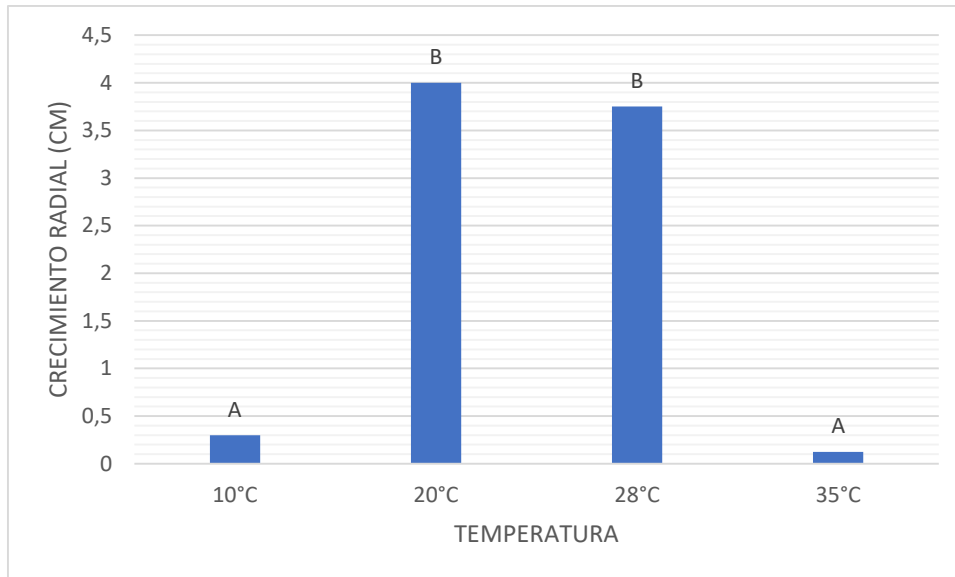


Figura 4. Influencia de la temperatura sobre el crecimiento radial de *Trichoderma* sp. a nivel in vitro.

Realizado por: Tapia, 2026.

Interpretación:

La temperatura influyó de manera altamente significativa en el crecimiento radial, el cual presentó un excelente ajuste del modelo. Las mayores medias, según Tukey, se registraron a 20 °C ,4,00 cm y 28 °C ,3,75 cm, sin diferencias significativas entre ellas, mientras que en 10 °C y 35 °C el crecimiento fue mínimo y estadísticamente igual. En cualquier caso, *Trichoderma* spp. presenta un mejor desarrollo en temperaturas intermedias, 20–28 °C, sin embargo, una temperatura más baja o más alta limita significativamente el crecimiento.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo planteado por Sánchez (2025), quien señala que la temperatura regula directamente el crecimiento y la actividad biológica de *Trichoderma* spp., existiendo un rango óptimo donde su metabolismo es máximo. En el presente estudio, las mayores respuestas se registraron a 20 °C y 28 °C, lo que confirma que temperaturas templadas favorecen el desarrollo del hongo, mientras que los valores extremos de 10 °C y 35 °C redujeron drásticamente el crecimiento, evidenciando condiciones de factor térmico. Esto respalda la idea de que temperaturas muy bajas disminuyen la actividad metabólica y que temperaturas altas pueden afectar la viabilidad celular y la estabilidad proteica. Por tanto, los resultados validan que el desempeño óptimo de *Trichoderma* spp. se encuentra en un rango intermedio de

temperatura, coherente con su uso como agente de biocontrol en condiciones ambientales moderadas.

Tabla 9: Niveles favorables para el crecimiento de *Trichoderma* en medio de cultivo bajo factores abióticos de pH, salinidad y temperatura al día 5.

Variable	pH	Salinidad	Temperatura
Nivel más favorable	6	<100mM	20-28°C
P-valor	<0.0001	0.0001	<0.0001

Realizado por: Tapia, 2026.

Los resultados obtenidos muestran que las condiciones óptimas para el crecimiento de *Trichoderma* spp. son pH 6, salinidad de 100 mM y temperaturas de entre 20 y 28° C, debido a que mostraron la media de crecimiento radial más alta en esas condiciones. Los valores de p (<0,0001 y 0,0001) demuestran que estos factores abióticos afectaron al desarrollo del hongo de modo significativo. Por tanto, se puede afirmar que *Trichoderma* spp. prefiere condiciones ligeramente ácidas, con salinidad moderada y temperatura media.

9.2. Evaluación del impacto de los factores abióticos (pH, salinidad, temperatura) sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

9.2.1. Efecto del pH sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

A lo largo del periodo de evaluación, la altura del tallo y el número de hojas fueron creciendo de forma constante en cada uno de los tratamientos de pH, mostrando un desarrollo acumulativo (Tabla 10). Desde el día 7 hasta el día 21, la tendencia fue claramente ascendente en ambas variables, sin embargo, a pH 6 fue más evidente debido a que las plántulas inoculadas con *Trichoderma* sp. no solo se alargaron más, sino que también produjeron un mayor número de hojas, siendo el nivel donde se presentó mayor vigor de la planta. En cambio, los tratamientos sin hongo y con un pH 5 y 8 exhibieron un crecimiento contenido, sobre todo en las primeras etapas, como si el metabolismo avanzara de manera pausada. El pH 7, a su vez, ocupó un punto intermedio, permitiendo una adaptación adecuada, aunque sin alcanzar el desarrollo máximo observado en pH 6. Estos resultados confirman que el pH influye de manera decisiva tanto en

la dinámica temporal del crecimiento del tallo, así como en la producción de hojas, siendo el rango ligeramente ácido el que ofrece las condiciones más favorables para el desarrollo vegetativo.

Tabla 10. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre la altura del tallo, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma spp.*, en función del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura	60	0,52	0,37	28,75	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,30	14	0,59	3,51	0,0007
pH	2,79	4	0,70	4,12	0,0062
Día	5,04	2	2,52	14,92	<0,0001
pH*Día	0,47	8	0,06	0,35	0,9422
Error	7,61	45	0,17		
Total	15,91	59			

Realizado por: Tapia, 2026.

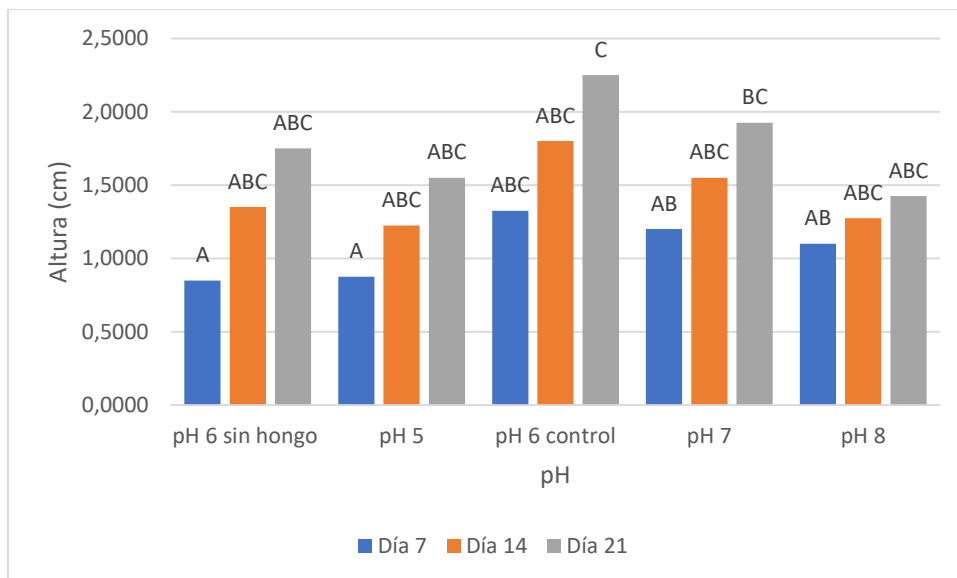


Figura 5: Altura del tallo en función del pH y del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21) (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis indica que el pH tuvo una influencia media sobre la altura del tallo, ya que el modelo explica el 52 % de la variación ($R^2 = 0.52$). La mayor media se registró en pH 6 (2,5), seguido de pH 7 (1.93), mientras que los valores más bajos se observaron en pH 5 (1.55) y pH 8 (1.43) a los 21 días. La prueba de comparación de medias muestra que pH 6 pertenece al grupo C y los demás tratamientos comparten letras AB, ABC lo que indica que a pH 6 se presenta tendencia a un mayor crecimiento.

Los resultados obtenidos en plántulas muestran que el pH 6 presentó la mayor altura del tallo, mientras que los demás tratamientos exhibieron valores intermedios o menores, lo que sugiere que condiciones ligeramente ácidas favorecen el desarrollo asociado a *Trichoderma* spp. Esto coincide con lo señalado por La Torre (2025), quien indica que el pH regula procesos fundamentales como la actividad enzimática, la estabilidad de las membranas y la disponibilidad de nutrientes, factores clave para la germinación, el crecimiento y la producción de compuestos antifúngicos del hongo. Asimismo, aunque muchas cepas toleran pH cercanos a 5, la variación entre especies puede modificar su desempeño biológico, lo que explicaría por qué el pH 6 resultó más favorable en este ensayo. Por tanto, los resultados respaldan que un pH moderadamente ácido optimiza la interacción del hongo con la planta y su funcionamiento fisiológico.

Tabla 11: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el número de hojas en función del pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de hojas	60	0,58	0,45	25,00	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,33	14	1,95	4,39	0,0001
pH	2,17	4	0,54	1,22	0,3162
Día	21,43	2	10,72	24,11	<0,0001
pH*Día	3,73	8	0,47	1,05	0,4143
Error	20,00	45	0,44		
Total	47,33	59			

Realizado por: Tapia, 2026.

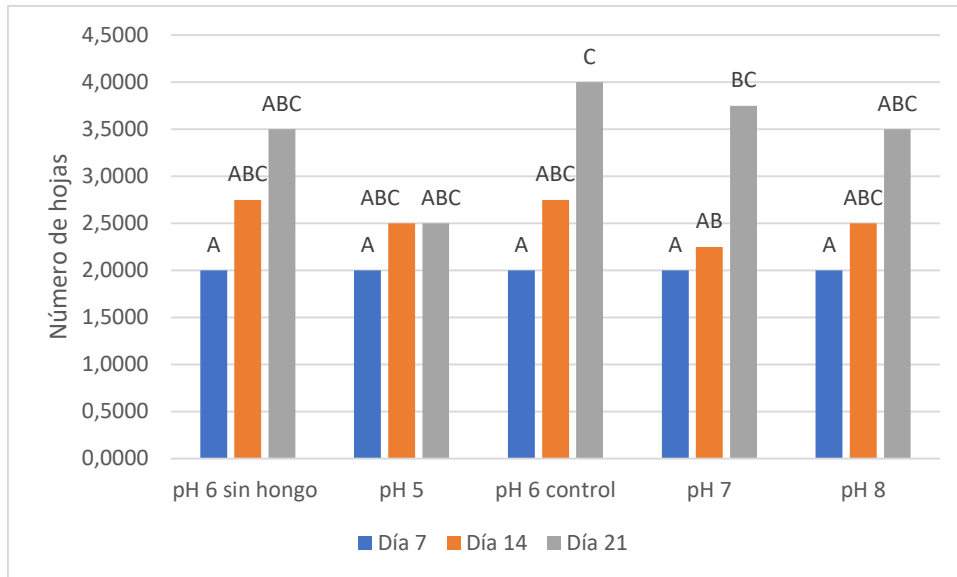


Figura 6: Número de hojas en función del Ph (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

Los resultados obtenidos para el número de hojas indican que a los 21 días se todos los tratamientos presentaron la mayor cantidad de hojas. Sin embargo se observa que el pH 6 de plántulas inoculadas con *Trichoderma sp.* tiene ligeramente mayor cantidad de hojas que el resto de tratamientos. Este comportamiento coincide con lo señalado por La Torre (2025), quien menciona que *Trichoderma spp.* puede prosperar en un rango ácido cercano a pH 5 y tolerar variaciones de pH debido a su capacidad de mantener la regulación enzimática, la estabilidad celular y la disponibilidad de nutrientes. Por tanto, la ausencia de diferencias marcadas sugiere que todos los niveles evaluados se encuentran dentro del rango fisiológicamente adecuado para la actividad del hongo, permitiendo un desarrollo foliar similar en las plántulas.

Tabla 12. Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el área foliar, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma spp.*, en función del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Área Foliar	60	0,71	0,62	41,38	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,30	14	2,24	8,02	<0,0001
pH	9,91	4	2,48	8,89	<0,0001
Día	19,70	2	9,85	35,34	<0,0001
pH*Día	1,69	8	0,21	0,76	0,6394
Error	12,54	45	0,28		
Total	43,85	59			

Realizado por: Tapia, 2026.

Nota: Cálculo: $LA = 0,57 \times \text{largo} \times \text{ancho}$

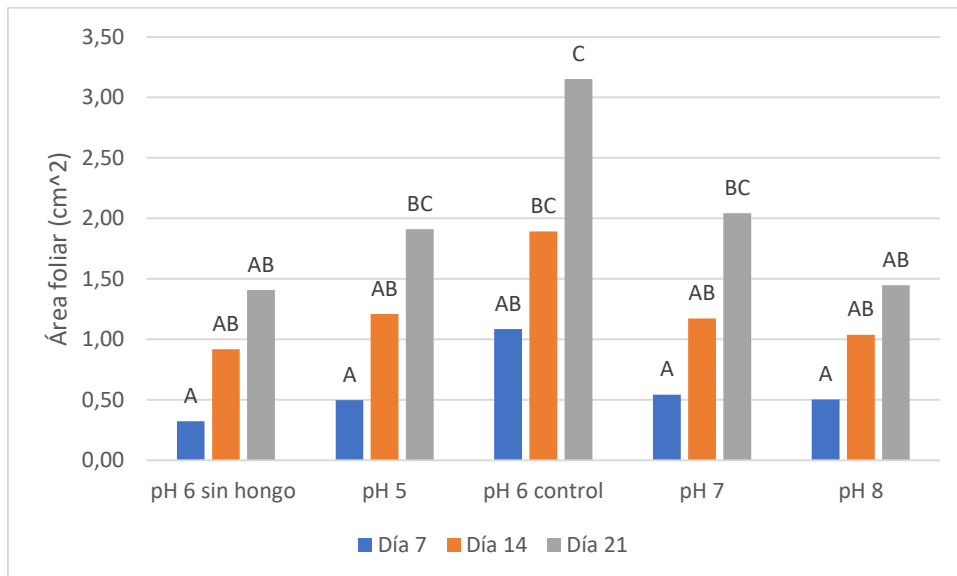


Figura 7. Área foliar en función del pH y del tiempo de evaluación (días 7, 14 y 21) (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis indica que el pH tuvo una influencia alta sobre el área foliar, ya que el modelo explica solo el 71 % de la variación y el valor de significancia ($p < 0.0001$) demuestra que

existen diferencias estadísticas entre los tratamientos. La mayor media se observó en pH 6 (3.15 cm²) y la menor en pH 8 (1.45cm²) y a pH 6 sin hongo (1.41 cm²) a los 21 días.

Este comportamiento concuerda con lo descrito por La Torre (2025), quien señala que *Trichoderma* spp. puede mantener su funcionamiento fisiológico en un amplio rango de pH gracias a la regulación enzimática, la estabilidad de las membranas y la adecuada disponibilidad de nutrientes. En consecuencia, la variación entre tratamientos sugiere que a pesar de que existen diferencias las plántulas inoculadas con *Trichoderma* presentaron mayor área foliar entre los pH 5 – 7 al ser comparadas con el control a los 21 días. Es decir *Trichoderma* incrementa el área foliar en estos pH.

Tabla 13: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre la longitud de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Longitud de Raíz	20	0,07	0,00	35,00	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,46	4	0,61	0,26	0,8960
pH	2,46	4	0,61	0,26	0,8960
Error	34,78	15	2,32		
Total	37,23	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

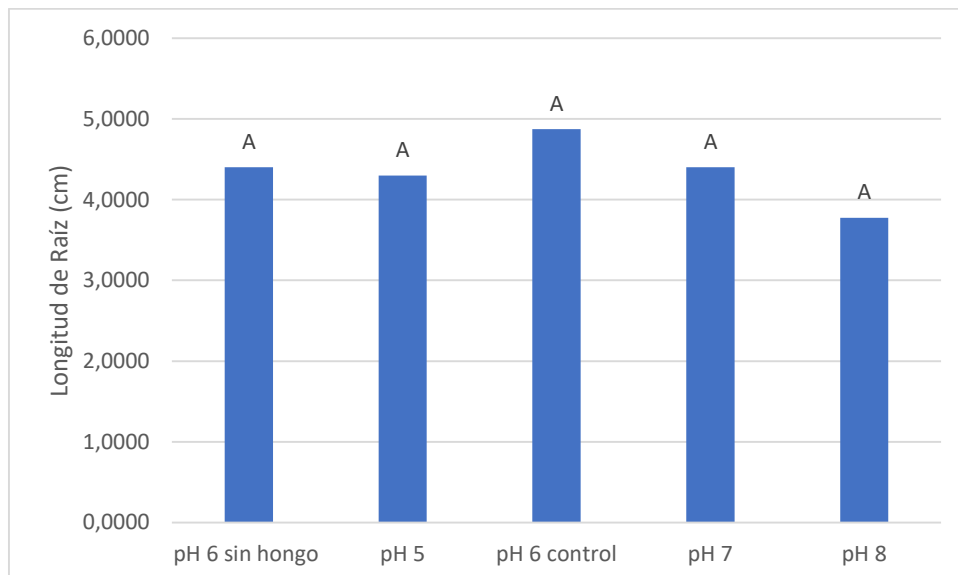


Figura 8: Longitud de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que el pH tuvo una influencia mínima sobre la longitud, ya que el modelo explica solo el 7 % de la variación y el valor de significancia ($p = 0.8960$) indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos. Aunque la mayor media se registró en pH 6 (4.88cm) y la menor en pH 8 (3.78cm), todas las medias presentan la misma letra (A), lo que confirma que la longitud fue estadísticamente similar en todos los niveles de pH evaluados.

Los resultados para la longitud muestran que el pH no ejerció un efecto significativo ($P = 0.8960$), debido a que todas las medias pertenecen al mismo grupo estadístico, aunque el pH 6 presentó el valor numéricamente más alto y el pH 8 el más bajo. Este comportamiento coincide con lo señalado por La Torre (2025), quien indica que *Trichoderma* spp. posee una amplia tolerancia a variaciones de pH gracias a su capacidad de mantener procesos fisiológicos esenciales como la regulación enzimática, la estabilidad celular y la absorción de nutrientes. En consecuencia, la similitud entre los tratamientos sugiere que los niveles evaluados se encuentran dentro de un rango adecuado para el desarrollo del organismo y su interacción con la planta, permitiendo un crecimiento longitudinal comparable sin diferencias atribuibles al pH.

Tabla 14: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso húmedo de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso Húmedo Raíz	20	0,19	0,00	24,74	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,8E-05	4	9,6E-06	0,89	0,4947
pH	3,8E-05	4	9,6E-06	0,89	0,4947
Error	1,6E-04	15	1,1E-05		
Total	2,0E-04	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

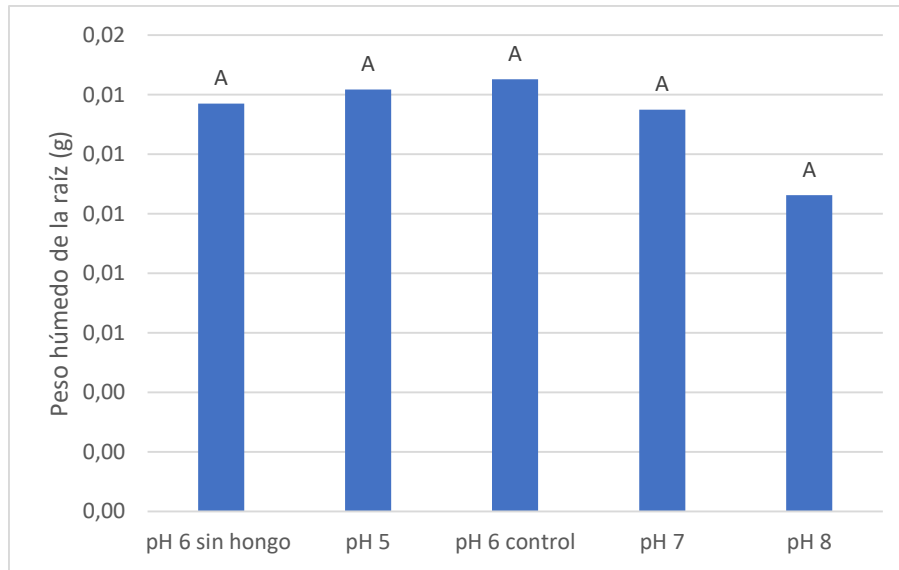


Figura 9: *Peso húmedo de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).*

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis indica que el pH no tuvo un efecto significativo sobre el peso húmedo de la raíz, ya que el modelo explica una baja proporción de la variabilidad ($R^2 = 0.19$) y el valor de significancia ($p = 0.4947$) es mayor a 0.05. Además, todas las medias son prácticamente iguales (0.01g) y comparten la misma letra (A), lo que confirma que no existen diferencias estadísticas entre los niveles de pH evaluados. Esto evidencia que el peso fresco radicular se mantuvo estable independientemente del tratamiento de pH.

Estos resultados se explican por la capacidad de *Trichoderma* spp. para desarrollarse en un amplio rango de pH sin afectar de manera notable sus funciones fisiológicas esenciales. Según La Torre (2025), el pH regula procesos como la actividad enzimática, la estabilidad de las membranas celulares y la disponibilidad de nutrientes; sin embargo, muchas cepas poseen mecanismos de adaptación que les permiten mantener su metabolismo y crecimiento aún bajo variaciones de acidez o alcalinidad moderada. Esta tolerancia contribuye a que la interacción hongo-planta se mantenga estable, favoreciendo procesos.

Tabla 15: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso seco de la raíz, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso Seco Raíz	20	0,15	0,00	108,72	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,0E-05	4	2,5E-06	0,68	0,6185
pH	1,0E-05	4	2,5E-06	0,68	0,6185
Error	5,5E-05	15	3,7E-06		
Total	6,5E-05	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

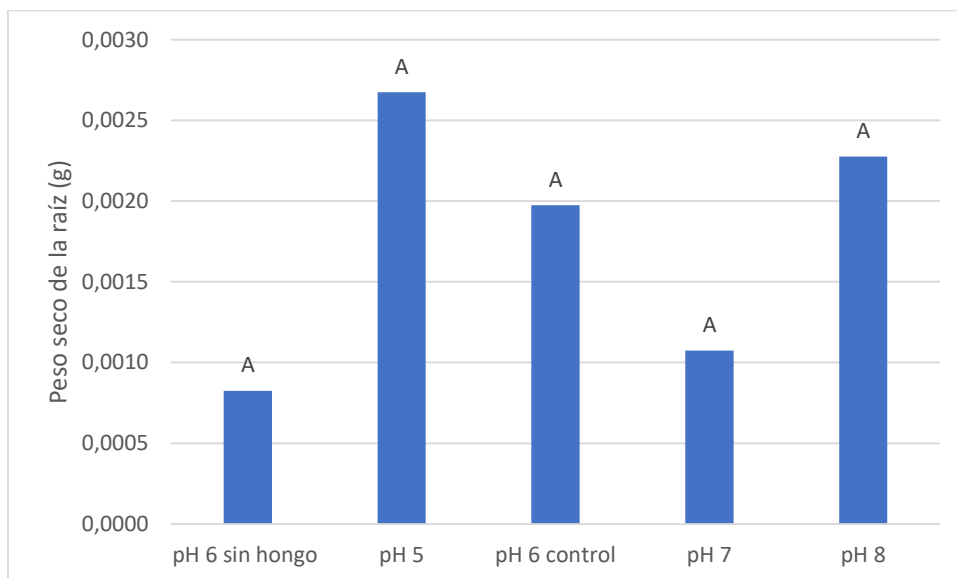


Figura 10: Peso seco de la raíz según pH (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que el pH no tuvo un efecto significativo sobre el peso seco de la raíz, ya que el valor de significancia ($p = 0.6185$) es mayor a 0.05 y el coeficiente de determinación es bajo ($R^2 = 0.15$). Aunque se observan diferencias numéricas entre las medias siendo el pH 5 el más alto todas comparten la misma letra (A), lo que indica que dichas diferencias no son estadísticamente significativas. En consecuencia, el peso seco radicular no varió de manera real entre los distintos niveles de pH evaluados.

Estos resultados pueden explicarse por la capacidad de *Trichoderma* spp. para mantener procesos fisiológicos que influyen en la acumulación de biomasa radicular aun bajo variaciones de pH. De acuerdo con La Torre (2025), el pH regula la actividad enzimática, la estabilidad celular y la disponibilidad de nutrientes, factores directamente relacionados con la formación de tejido y materia seca en las raíces. Sin embargo, debido a que muchas cepas toleran un amplio rango de acidez, estos procesos pueden mantenerse relativamente estables dentro de condiciones moderadas, permitiendo que la producción de peso seco radicular no se vea afectada de forma marcada por los cambios de pH evaluados.

Tabla 16: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso húmedo de los brotes, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso Húmedo de Brote	20	0,16	0,00	156,57	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,11	4	0,03	0,69	0,6085
pH	0,11	4	0,03	0,69	0,6085
Error	0,57	15	0,04		
Total	0,67	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

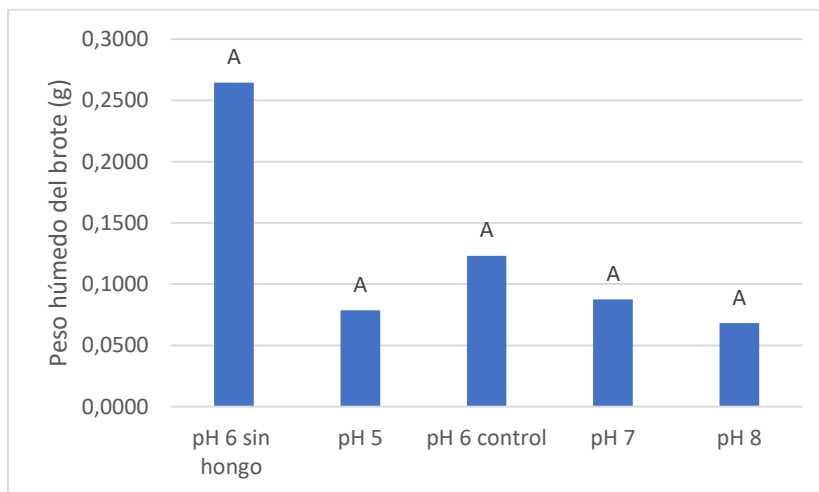


Figura 11: Peso húmedo de brote según pH (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis indica que el pH no tuvo un efecto significativo sobre el peso húmedo del brote, ya que el valor de significancia es alto ($p = 0.6085 > 0.05$) y el coeficiente de determinación es bajo ($R^2 = 0.16$). Aunque el pH 6 sin hongo presenta la media más elevada, todas las medias comparten la misma letra (A), lo que demuestra que no existen diferencias estadísticas reales entre los tratamientos. Por lo tanto, el peso húmedo del brote se mantuvo similar en todos los niveles de pH evaluados.

Estos resultados pueden atribuirse a la capacidad de *Trichoderma* spp. para sostener su actividad fisiológica y su interacción con la planta en un amplio rango de pH, sin afectar de manera marcada la acumulación de biomasa fresca en la parte aérea. Según La Torre (2025), el pH influye en la regulación enzimática, la estabilidad de las membranas y la disponibilidad de nutrientes, factores que intervienen en el crecimiento vegetal; sin embargo, la tolerancia del hongo a variaciones moderadas de acidez permite que estos procesos se mantengan funcionales. En consecuencia, la formación de peso húmedo del brote puede permanecer relativamente estable cuando el pH se encuentra dentro de límites fisiológicamente adecuados para el desarrollo del microorganismo y su acción promotora sobre la planta.

Tabla 17: Análisis estadístico para el efecto del pH sobre el peso seco de los brotes, en plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso Seco de Brote	20	0,58	0,47	35,33	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,9E-05	4	1,7E-05	5,14	0,0082
pH	6,9E-05	4	1,7E-05	5,14	0,0082
Error	5,0E-05	15	3,4E-06		
Total	1,2E-04	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

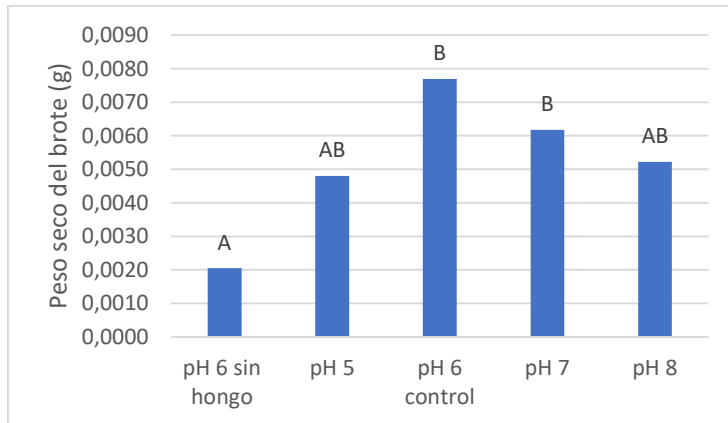


Figura 12: *Peso seco de brote según pH (Tukey $\alpha=0.05$).*

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que el pH sí tuvo un efecto significativo sobre el peso seco del brote ($p = 0.0082 < 0.05$), con un coeficiente de determinación moderado ($R^2 = 0.58$), lo que indica que más de la mitad de la variabilidad observada se explica por el pH. El pH 6 presentó la mayor media de peso seco, seguido por pH 7, mientras que los pH 5 y 8 registraron los valores un poco más bajos y el pH 6 sin inoculación del hongo presentó el peso seco de brotes más bajo de todos los tratamientos. Las letras del test de comparación indican diferencias estadísticas: pH 6 y 7 pertenece al grupo B, pH 5 y 8 al grupo AB, y pH 6 sin hongo al grupo A. Lo que sugiere que pH 6 y 7 tienden a ser el nivel más favorable para la acumulación de biomasa seca del brote.

Estos resultados se explican porque el pH influye directamente en los procesos fisiológicos asociados a la acumulación de biomasa seca en la parte aérea, como la absorción de nutrientes, la actividad enzimática y el metabolismo celular. De acuerdo con La Torre (2025), *Trichoderma spp.* puede tolerar variaciones de pH, pero dichas variaciones modifican procesos esenciales que inciden en el crecimiento y la síntesis de compuestos, lo que repercute en la formación de tejido vegetal. En este sentido, niveles de pH menos favorables pueden alterar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia metabólica del hongo y de la planta, afectando la producción de materia seca del brote, mientras que condiciones más adecuadas permiten un mejor funcionamiento fisiológico y mayor acumulación de biomasa.

9.2.2. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Tabla 18: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la altura del tallo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura del tallo	48	0.87	0.83	22.46

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	26.82	11	2.44	21.72	<0.0001
Temperatura	18.97	3	6.32	56.33	<0.0001
Día	0.67	2	0.33	2.96	0.0643
Temperatura*día	7.19	6	1.20	10.67	<0.0001
Error	4.04	36	0.11		
Total	30.86	47			

Realizado por: Tapia, 2026.

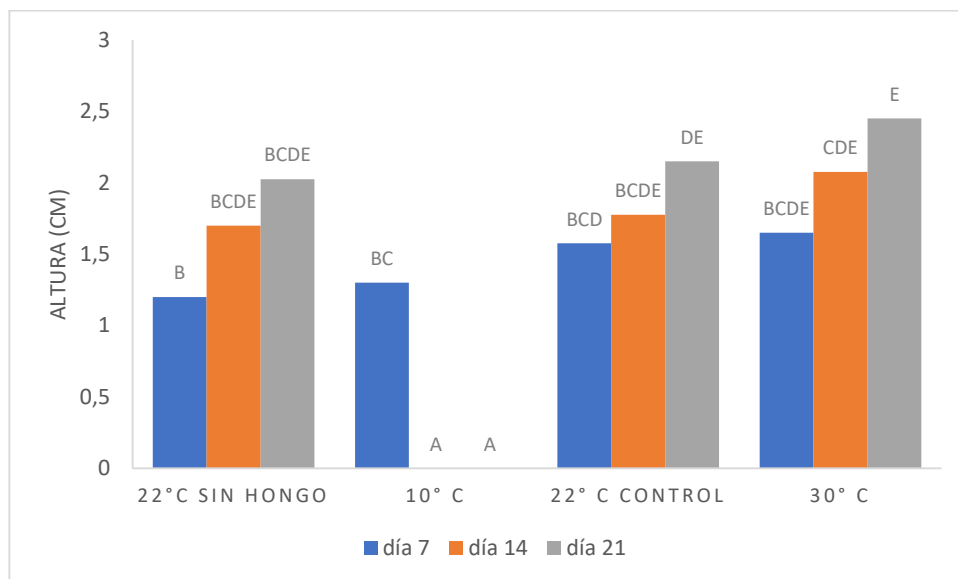


Figura 13: Altura del tallo en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que la altura se ve afectada tanto por la presencia del hongo como por la temperatura. Las plántulas sin hongo tuvieron un crecimiento intermedio, mientras que a 30 °C se alcanzó la mayor altura promedio, indicando que, dentro del rango evaluado, las temperaturas más altas favorecen un mayor desarrollo, independientemente de la inoculación con *Trichoderma* spp. Esto evidencia que la temperatura es un factor determinante en el crecimiento de las plántulas, y su control puede optimizar su desarrollo.

Este comportamiento es consistente con lo señalado por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes indican que la temperatura regula la actividad metabólica y el crecimiento de *Trichoderma* spp., pero el hongo posee capacidad de adaptación a diferentes condiciones térmicas. Cuando las temperaturas se mantienen dentro de rangos no extremos, su metabolismo, colonización y efectos sobre la planta pueden conservarse relativamente estables, lo que explica la ausencia de diferencias marcadas. Además, su tolerancia ambiental permite mantener su funcionalidad biológica y su potencial como promotor del crecimiento vegetal aún bajo variaciones moderadas de temperatura.

Tabla 19: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el número de hojas.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de hoja	48	0.88	0.84	23.57	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	75.42	11	6.86	23.51	<0.0001
Temperatura	47.42	3	15.81	54.19	<0.0001
Día	3.17	2	1.58	5.43	0.00087
Temperatura*día	24.83	6	4.14	14.19	<0.0001
Error	10.50	36	0.29		
Total	85.92	47			

Realizado por: Tapia, 2026.

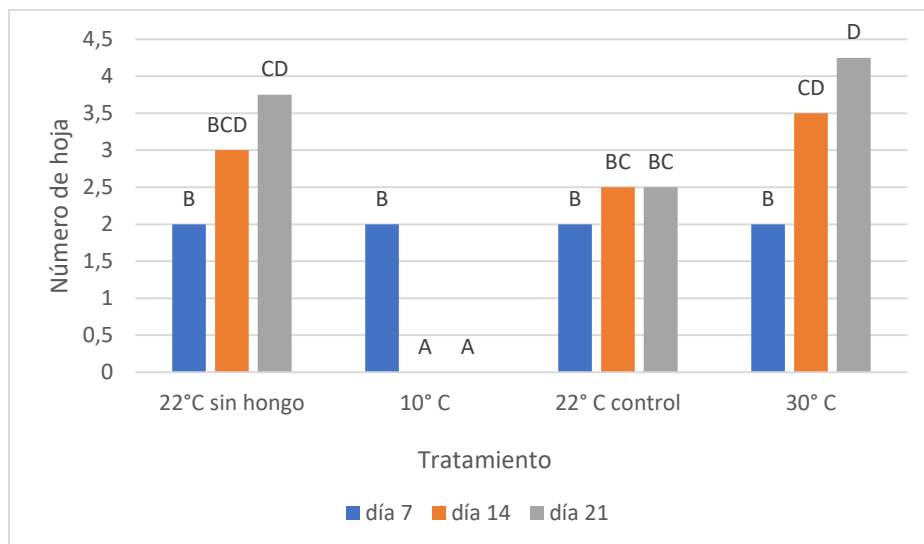


Figura 14: Número de hoja en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

En el análisis del número de hojas, los resultados muestran que la temperatura de 30 °C produjo el mayor valor promedio (3.25 hojas), superando incluso al tratamiento sin hongo (2.92 hojas). Esto indica que, dentro de las condiciones evaluadas, la temperatura de 30 °C es la más favorable para el desarrollo foliar, favoreciendo la producción de hojas y sugiriendo que *Trichoderma* spp., junto con temperaturas óptimas, puede potenciar el crecimiento vegetativo en las plántulas de pimiento. Por lo tanto, se evidencia un efecto positivo de la temperatura elevada sobre la morfología foliar.

Este comportamiento coincide con lo descrito por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes señalan que *Trichoderma* spp. puede desarrollarse y mantenerse activo en un amplio rango de temperaturas gracias a su capacidad de adaptación fisiológica. Cuando las condiciones térmicas no son extremas, el metabolismo, la colonización y la interacción con la planta pueden mantenerse relativamente constantes, lo que permite que variables de crecimiento como la formación de hojas no presenten cambios marcados. Por ello, la estabilidad observada sugiere que el hongo conserva su funcionalidad biológica bajo variaciones moderadas de temperatura.

Tabla 20: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el área foliar.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Área foliar	54	0.78	0.73	42.26	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	3.15	11	0.29	13.83	<0.0001
Temperatura	2.32	3	0.77	37.40	<0.0001
Día	0.38	2	0.19	9.12	0.0005
Temperatura*día	0.52	6	0.09	4.21	0.0021
Error	0.87	42	0.02		
Total	4.02	52			

Realizado por: Tapia, 2026.

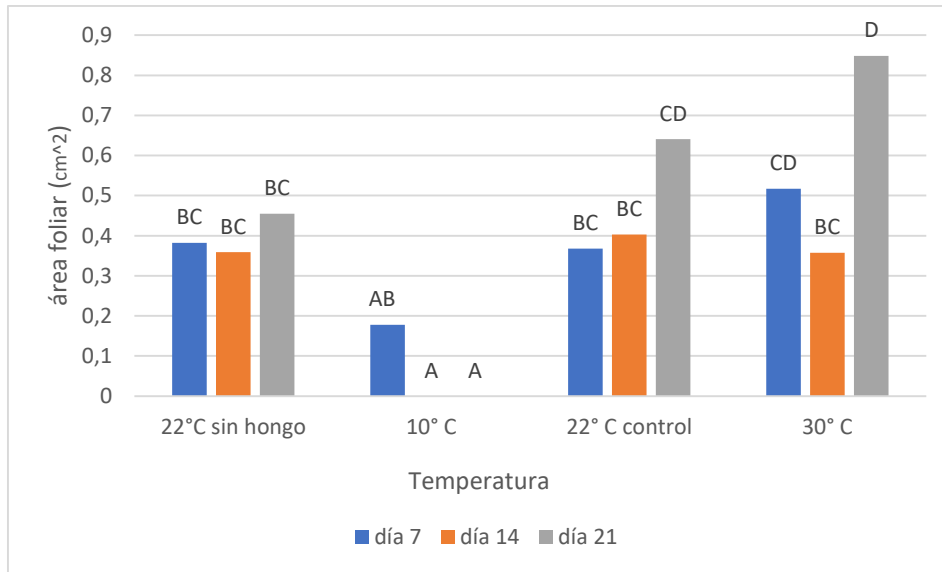


Figura 15: Área foliar en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

En este análisis del área foliar se observan diferencias significativas entre las distintas temperaturas y los tratamientos con y sin hongo. Esto sugiere que, bajo estas condiciones específicas la temperatura de 30°C presentó mayor área foliar, seguida a los 22°C, a temperatura de 10°C las plantas murieron y a temperatura de 22°C pero sin la inoculación del hongo se presentó la menor área foliar a los 21 días de estudio ($p<0.0001$).

Este comportamiento concuerda con lo señalado por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes indican que *Trichoderma* spp. posee una notable capacidad de adaptación a distintos rangos de temperatura, manteniendo su metabolismo y su interacción con la planta cuando las condiciones no son extremas. En estas circunstancias, procesos como la absorción de nutrientes, la colonización y la actividad biológica del hongo pueden mantenerse funcionales, lo que permite que variables de crecimiento como el área foliar no presenten variaciones importantes. Por tanto, la estabilidad observada refleja la tolerancia térmica del microorganismo y su capacidad para conservar su eficacia biológica bajo condiciones moderadas.

9.2.2.1. Efecto del efecto de una Post helada sobre el desarrollo de plántulas de pimienta provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Tabla 21: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la altura del tallo (ensayo post helada).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura de tallo	36	0.27	0.06	26.25	
F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.10	8	0.39	1.27	0.2983
Temperatura	0.35	2	0.18	0.58	0.5664
Día	2.64	2	1.32	4.33	0.0233
Temperatura*día	0.11	4	0.03	0.09	0.9853
Error	8.23	27	0.30		
Total	11.33	35			

Realizado por: Tapia, 2026.

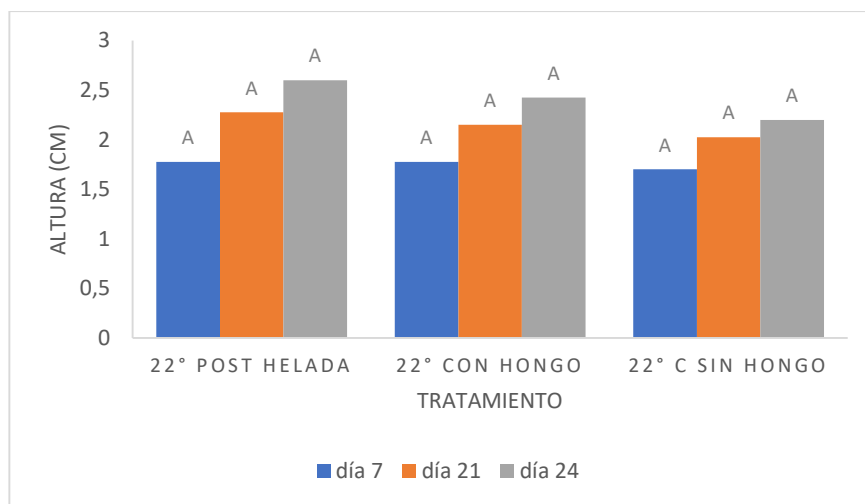


Figura 16: Altura del tallo en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que la altura no se ve afectada tanto por la presencia del hongo como por la temperatura. Las plántulas sin hongo tuvieron un crecimiento similar a las plántulas control a 22°C y al tratamiento post helada, independientemente de la inoculación con *Trichoderma* spp. Esto evidencia que la temperatura de post helada no es un factor determinante en el crecimiento de las plántulas, y su control puede optimizar su desarrollo.

Este comportamiento en el ensayo post helada es consistente con lo señalado por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes indican que, aunque la temperatura regula la actividad

metabólica y el crecimiento de *Trichoderma spp.*, este hongo posee mecanismos de adaptación que le permiten mantener su funcionalidad biológica tras eventos de estrés térmico no extremos. En el presente estudio, la ausencia de efecto significativo de la temperatura posterior a la helada sugiere que las condiciones evaluadas no fueron lo suficientemente severas para alterar el crecimiento en altura del tallo. En cambio, el efecto significativo del día de evaluación refleja un proceso de recuperación fisiológica progresiva de las plántulas, donde el tiempo posterior al estrés resultó más determinante que la variación térmica aplicada, evidenciando estabilidad en la respuesta vegetal bajo condiciones post helada moderadas.

Tabla 22: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el número de hojas (ensayo post helada).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Nde hoja	36	0.33	0.13	27.59		
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	10.06	8	1.26	1.68	0.1503	
Temperatura	2.72	2	1.36	1.81	0.1822	
Día	4.39	2	2.19	2.93	0.708	
Temperatura*día	2.94	4	0.74	0.98	0.4341	
Error	20.25	27	0.75			
Total	30.31	35				

Realizado por: Tapia, 2026.

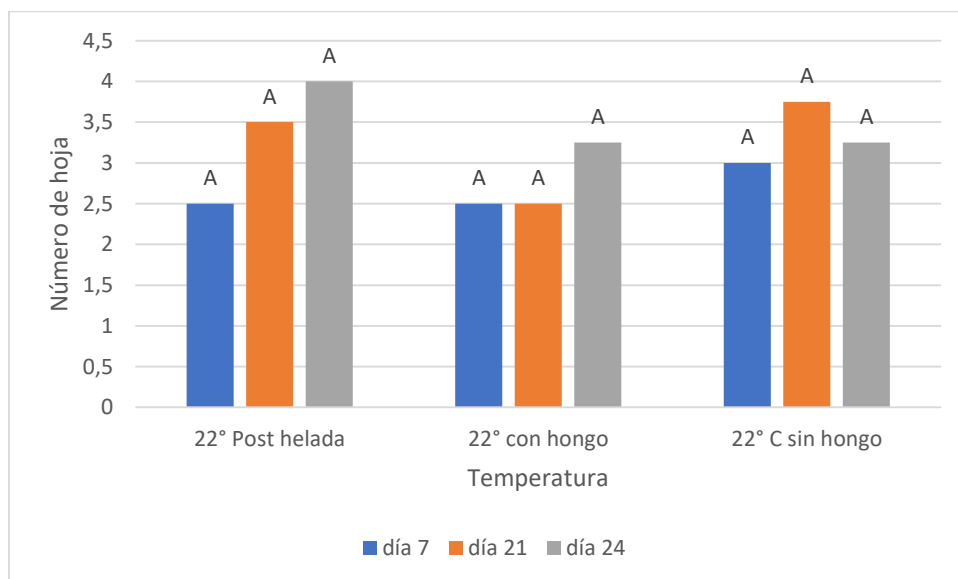


Figura 17: Número de hoja en función de la temperatura post helada (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis estadístico indica que la temperatura no tuvo un efecto significativo sobre el número de hojas ($p = 0,1822$), al igual que el día de evaluación ($p = 0,708$) y la interacción temperatura*día ($p = 0,4341$), ya que todos los valores son mayores a 0,05. Además, el modelo general tampoco fue significativo ($p = 0,1503$), lo que demuestra que, bajo las condiciones evaluadas después de la helada, ni la temperatura ni el tiempo influyeron de manera determinante en la variación del número de hojas, evidenciándose un comportamiento similar entre los tratamientos.

Este comportamiento coincide con lo descrito por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes señalan que *Trichoderma* spp. puede desarrollarse y mantenerse activo en un amplio rango de temperaturas gracias a su capacidad de adaptación fisiológica. Cuando las condiciones térmicas no son extremas, el metabolismo, la colonización y la interacción con la planta pueden mantenerse relativamente constantes, lo que permite que variables de crecimiento como la formación de hojas no presenten cambios marcados. Por ello, la estabilidad observada sugiere que el hongo conserva su funcionalidad biológica bajo variaciones moderadas de temperatura.

Tabla 23: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el área foliar (ensayo post helada).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Área foliar	36	0.15	0.00	46.07		
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	
Modelo	0.25	8	0.03	0.59	0.7793	
Temperatura	0.09	2	0.04	0.82	0.4515	
Día	0.12	2	0.06	1.13	0.3385	
Temperatura*día	0.04	4	0.01	0.20	0.9353	
Error	1.45	27	0.05			
Total	1.70	35				

Realizado por: Tapia, 2026.

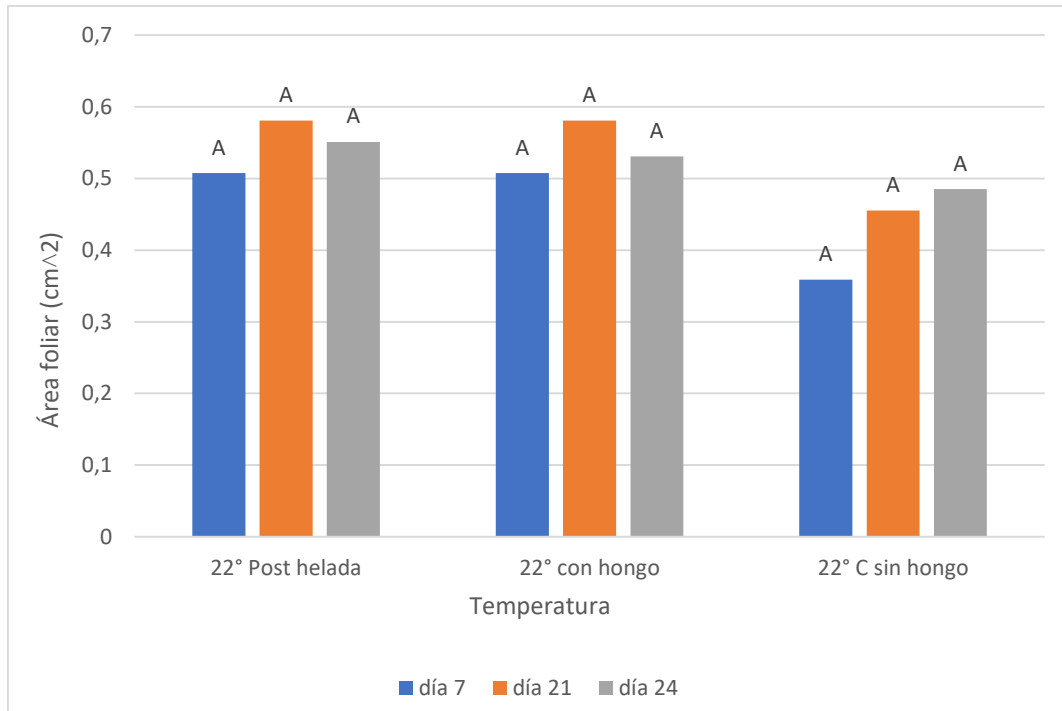


Figura 18: Área foliar en función de la temperatura post helada (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis estadístico muestra que el modelo no fue significativo ($p = 0,7793$), lo que indica que los factores evaluados no explican de manera relevante la variación en el área foliar. De igual forma, ni la temperatura ($p = 0,4515$), ni el día de evaluación ($p = 0,3385$), ni la interacción temperatura*día ($p = 0,9353$) presentaron efectos significativos, ya que todos los valores son mayores a 0,05. Además, el bajo R^2 (0,15) y el R^2 ajustado igual a 0 evidencian que el modelo tiene muy poca capacidad explicativa, mientras que el coeficiente de variación (46,07%) indica alta variabilidad en los datos. En conjunto, estos resultados reflejan que, bajo las condiciones evaluadas, la temperatura y el tiempo no influyeron de manera significativa sobre el área foliar.

Los resultados coinciden con lo reportado por Sánchez (2025) y Cortés (2024), quienes reportan que *Trichoderma* spp., son capaces de adaptarse a un rango amplio de temperaturas cuando estas no son extremas y sigue manteniendo su actividad metabólica e interactividad con la planta. Durante el presente ensayo, la falta de diferencias significativas frente a factores temperatura, día y sus interacciones en el área foliar, sugiere que las condiciones sometidas no tuvieron un efecto definitivo en esta respuesta. Sin embargo, el bajo R^2 y alto CV evidencian poca capacidad predictiva del modelo y alta dispersión de los datos, por lo que la estabilidad

observada podría estar relacionada, efectivamente, con la tolerancia térmica del microorganismo una vez más no replica en índices.

Tabla 24: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre la longitud de raíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Longitud de raíz	20	0.81	0.76	29.54	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	51.32	4	12.83	15.86	<0.0001
Temperatura	51.32	4	12.83	15.86	<0.0001
Error	12.13	15	0.81		
Total	63.45	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

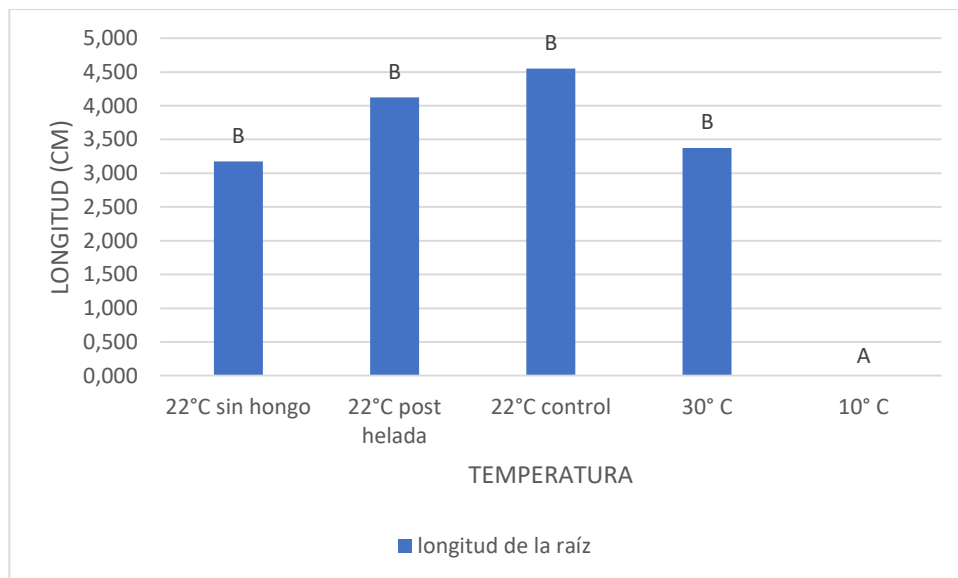


Figura 19: Longitud en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

La longitud de la raíz se vio significativamente influenciada por la temperatura, mostrando que las plántulas alcanzaron su mayor desarrollo radicular a 22 °C, seguidas de 22°C post helada y 30 °C, mientras que las plántulas sin hongo presentaron una menor longitud, sin embargo, no presentan diferencias significativas entre ellas a excepción a 10°C que no se registraron datos. Esto indica que temperaturas moderadas favorecen un crecimiento óptimo de la raíz, independientemente de la presencia de *Trichoderma* spp., lo que es clave para el establecimiento y absorción de nutrientes en condiciones controladas.

Estos resultados se explican porque *Trichoderma* spp. posee capacidad de adaptación a distintos rangos térmicos, manteniendo su actividad biológica y su interacción con la planta cuando las temperaturas no son extremas. Según Sánchez (2025), la temperatura regula la tasa metabólica y el crecimiento del hongo, pero dentro de condiciones moderadas su funcionamiento puede conservarse estable sin afectar de manera marcada el desarrollo vegetal. Asimismo, Cortés (2024) señala que esta tolerancia permite que el microorganismo continúe colonizando y metabolizando en diferentes ambientes, lo que favorece un crecimiento relativamente similar de la planta bajo temperaturas templadas.

Tabla 25: Análisis estadístico para el efecto de la temperatura sobre el peso húmedo de la raíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso húmedo de raíz	20	0.67	0.58	41.19	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	5.30	4	1.30	7.62	0.0015
Temperatura	5.30	4	1.30	7.62	0.0015
Error	2.04	15	1.80		
Total	8.04	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

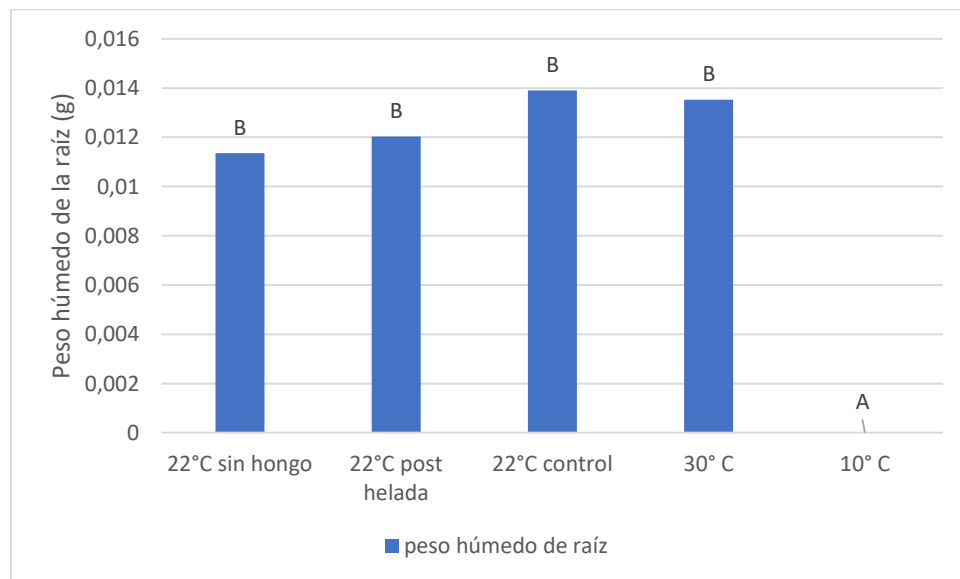


Figura 20: Peso húmedo de la raíz en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que la temperatura tuvo un efecto significativo sobre el peso húmedo de la raíz, ya que todas las medias fueron similares (0.01g) y el P-valor (0.0015). Esto sugiere que, independientemente de si las plántulas se encontraban sin hongo o a temperaturas de 22°C post helada, 22 °C o 30 °C, el desarrollo de la masa húmeda de la raíz se mantuvo estable, la única diferencia se vio a 10°C. Esto indica que esta variable es poco sensible a los cambios de temperatura evaluados en el experimento.

Estos resultados pueden explicarse por la capacidad de *Trichoderma* spp. para mantener su metabolismo y su interacción con la planta dentro de un amplio rango de temperaturas moderadas. De acuerdo con Sánchez (2025), la temperatura regula procesos como la actividad enzimática y el crecimiento micelial, pero cuando no se alcanzan niveles extremos, el hongo puede conservar su funcionalidad biológica. Asimismo, Cortés (2024) señala que esta adaptabilidad permite que la colonización y los efectos sobre la planta se mantengan estables, favoreciendo un desarrollo similar aún bajo diferentes condiciones térmicas.

Tabla 26: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso seco de la raíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso seco de raíz	20	0.91	0.89	17.68		
F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor	
Modelo	1.30	4	3.20	40.22	<0.0001	
Temperatura	1.30	4	3.20	40.22	<0.0001	
Error	1.20	15	7.90			
Total	1.40	19				

Realizado por: Tapia, 2026.

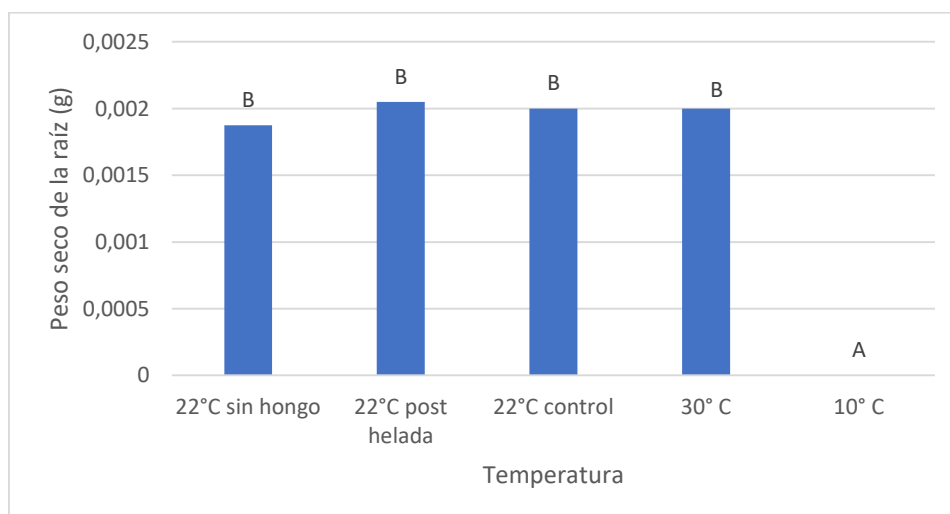


Figura 21: Peso seco de la raíz en función de la temperatura
Realizado por: Tapia, 2026.

Los resultados indican que la temperatura tuvo un efecto significativo sobre el peso seco de la raíz, ya que todas las medias se mantuvieron similares y el P-valor (<0.0001) confirma que hay diferencias estadísticas entre los tratamientos. Sin embargo, a temperatura 22°C sin hongo, 22°C post helada, 22°C con hongo y 30°C con hongo los agrupa dentro de la misma letra B. Esto sugiere que el peso seco de la raíz se mantiene constante sin importar la presencia del hongo o la temperatura aplicada (0 °C, 22 °C o 30 °C), mostrando que esta variable es resistente a las variaciones térmicas dentro del rango evaluado.

Estos resultados se justifican por la capacidad de *Trichoderma* spp. para tolerar variaciones de temperatura dentro de rangos no extremos, manteniendo procesos fisiológicos relacionados con la absorción de nutrientes y la formación de biomasa radicular. Según Sánchez (2025), la temperatura influye en la actividad metabólica del hongo, pero cuando se encuentra dentro de límites moderados, su crecimiento y viabilidad celular no se ven afectados de manera sustancial. Asimismo, Cortés (2024) indica que esta adaptabilidad permite que el microorganismo conserve su capacidad de colonización y su efecto sobre el desarrollo de la raíz, favoreciendo una producción estable de materia seca radicular bajo diferentes condiciones térmicas.

Tabla 27: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso húmedo del brote.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso húmedo de brotes	20	0.90	0.88	22.48	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	4	0.01	34.49	<0.0001
Temperatura	0.04	4	0.01	34.49	<0.0001
Error	4.40	15	3.00		
Total	0.05	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

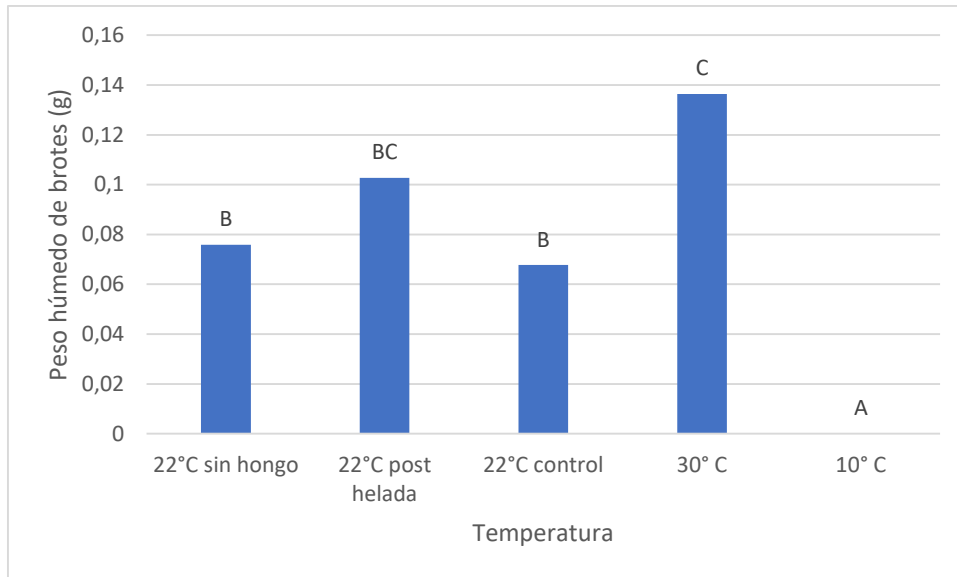


Figura 22: Peso húmedo del brote en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

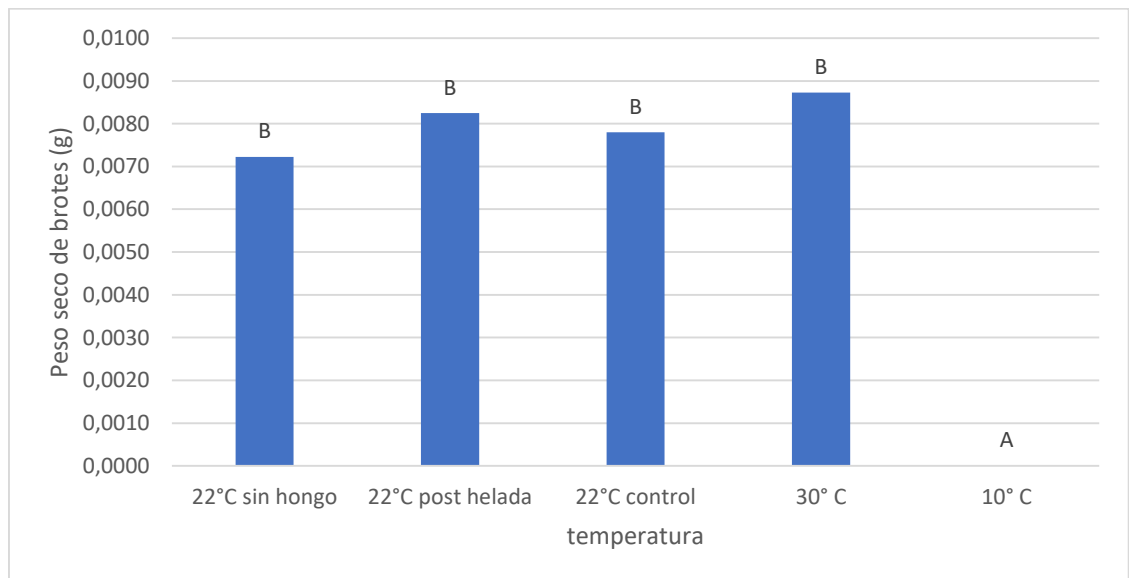
Los resultados indican que la temperatura sí influye en el peso húmedo de los brotes, dado que el P-valor (<0.0001) es significativo y existe variación entre los tratamientos. El valor más alto se observa a 30 °C, lo que sugiere que esta temperatura favorece el incremento del peso húmedo de los brotes en comparación con las otras condiciones evaluadas, mientras que los valores a 22°C post helada, 22 °C control y 22°C sin hongo son menores y relativamente similares. Esto evidencia que los brotes responden positivamente a temperaturas elevadas dentro del rango estudiado.

Estos resultados pueden explicarse porque la temperatura influye directamente en la actividad metabólica de *Trichoderma* spp. y, por ende, en los procesos fisiológicos que determinan la acumulación de biomasa fresca en la parte aérea. Según Sánchez (2025), cada cepa posee un rango térmico óptimo donde su crecimiento y esporulación son máximos, mientras que temperaturas fuera de ese rango pueden generar factor y reducir su eficacia biológica. Asimismo, Cortés (2024) señala que, aunque el hongo presenta capacidad de adaptación, su desempeño depende de condiciones térmicas favorables que permitan una adecuada colonización y metabolismo, lo que repercute en el desarrollo del brote y en la retención de agua en los tejidos vegetales.

Tabla 28: Análisis estadístico del efecto de la temperatura sobre el peso seco del brote.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco de brotes	20	0.72	0.65	36.44	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2.10	4	5.20	9.64	0.0005
Temperatura	2.10	4	5.20	9.64	0.0005
Error	8.20	15	5.40		
Total	2.90	19			

Realizado por: Tapia, 2026.

**Figura 23:** Peso seco del brote en función de la temperatura (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis del peso seco de los brotes muestra que existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos de temperatura en el peso seco del brote ($p=0.0005$). Tanto la condición sin hongo como los tratamientos a 22°C° post helada, 22 °C y 30 °C presentan un valor promedio constante de 0.008 g, lo que indica que la variación de la temperatura dentro de este rango no afecta la acumulación de biomasa seca en los brotes, la única diferencia se observa a 10°C. Esto sugiere que, a diferencia de otras variables vegetativas como altura o número de hojas, el peso seco de los brotes se mantiene estable independientemente del factor térmico aplicado.

Estos resultados se explican por la capacidad de *Trichoderma* spp. para mantener su actividad fisiológica dentro de un rango amplio de temperaturas moderadas, sin afectar de manera notable la acumulación de biomasa seca en la parte aérea. Según Sánchez (2025), la temperatura regula procesos como el metabolismo y el crecimiento micelial, pero cuando no se presentan condiciones extremas, la viabilidad y funcionalidad del hongo pueden mantenerse estables. Asimismo, Cortés (2024) señala que esta adaptabilidad permite que el microorganismo conserve su efecto sobre el desarrollo vegetal, favoreciendo una producción similar de materia seca del brote bajo diferentes condiciones térmicas.

9.2.3. Efecto de la salinidad sobre el desarrollo de plántulas de pimiento provenientes de semillas inoculadas con *Trichoderma* spp.

Tabla 29. Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre la altura del tallo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Altura tallo	24	0.67	0.58	19.12	
F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.87	5	0.77	7.47	0.0006
Salinidad	0.60	1	0.60	5.81	0.0269
Día	3.24	2	1.62	15.65	0.0001
Salinidad * día	0.02	2	0.01	0.11	0.8941
Error	1.87	18	0.10		
Total	5.73	23			

Realizado por: Tapia, 2026.

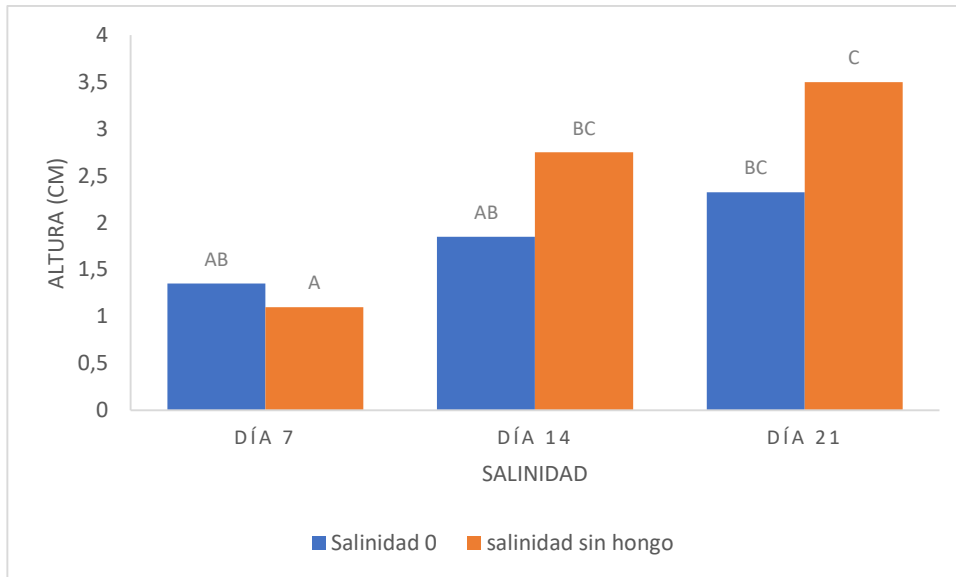


Figura 24: *Altura del tallo en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).*

Realizado por: Tapia, 2026.

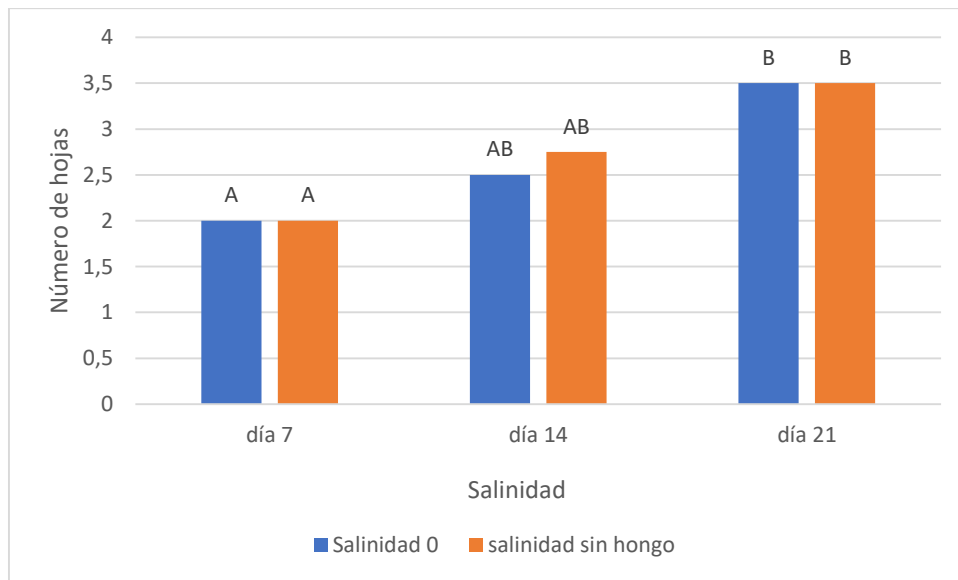
El análisis indica que la salinidad produjo diferencias estadísticas significativas en la altura de las plantas ($p = 0.0005$). El tratamiento sin hongo presentó una mayor altura promedio (3.5) en comparación con el nivel 0 de salinidad (2.0) a los 21 días, perteneciendo a grupos distintos. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.67$) muestra que la salinidad explica la variación observada en la altura.

Estos resultados pueden explicarse porque la salinidad actúa como un factor abiótico que afecta el crecimiento y la actividad biológica de *Trichoderma* spp., al reducir la disponibilidad de agua y alterar el equilibrio osmótico del medio. Según Herrera (2025), aunque algunas cepas pueden tolerar concentraciones moderadas mediante ajustes celulares y producción, el incremento de sales suele disminuir la viabilidad y el vigor micelial, lo que limita su capacidad de colonización y su efecto promotor sobre la planta. Por ello, la presencia de salinidad puede restringir indirectamente el crecimiento del tallo al afectar la eficacia biológica del hongo.

Tabla 30. Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el *número de hojas*

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Número de hoja	24	0.54	0.42	24.23	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	9.21	5	1.84	4.28	0.0097
Salinidad	0.04	1	0.04	0.10	0.7593
Día	9.08	2	4.54	10.55	0.0009
Salinidad * día	0.08	2	0.04	0.10	0.9082
Error	7.75	18	0.43		
Total	16.96	23			

Realizado por: Tapia, 2026.

**Figura 25.** Número de hojas en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que la salinidad generó diferencias significativas en el número de hojas ($p = 0.0097$). El tratamiento con y sin hongo presentaron un promedio de 3.5 hojas al día 21; ambos comparten la misma letra (B), lo que indica que estadísticamente pertenecen al mismo grupo.

Estos resultados se justifican porque la salinidad, aun siendo un factor abiótico, puede no afectar de manera marcada la actividad de *Trichoderma* spp. cuando se encuentra en niveles moderados. Según Herrera (2025), algunas cepas poseen mecanismos de tolerancia osmótica, como el ajuste de membranas y la producción de osmoprotectores, que les permiten mantener su metabolismo y su interacción con la planta. En estas condiciones, el hongo puede conservar

su capacidad de colonización y su efecto sobre el crecimiento vegetal, lo que favorece un desarrollo foliar relativamente estable a pesar de la presencia de sales.

Tabla 31: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el área foliar.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Área foliar	24	0.26	0.05	36.14	
F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.19	5	0.04	1.25	0.3269
Salinidad	0.03	1	0.03	1.07	0.3126
Día	0.11	2	0.05	1.79	0.1956
Salinidad * día	0.05	2	0.02	0.80	0.4637
Error	0.54	18	0.03		
Total	0.72	23			

Realizado por: Tapia, 2026.

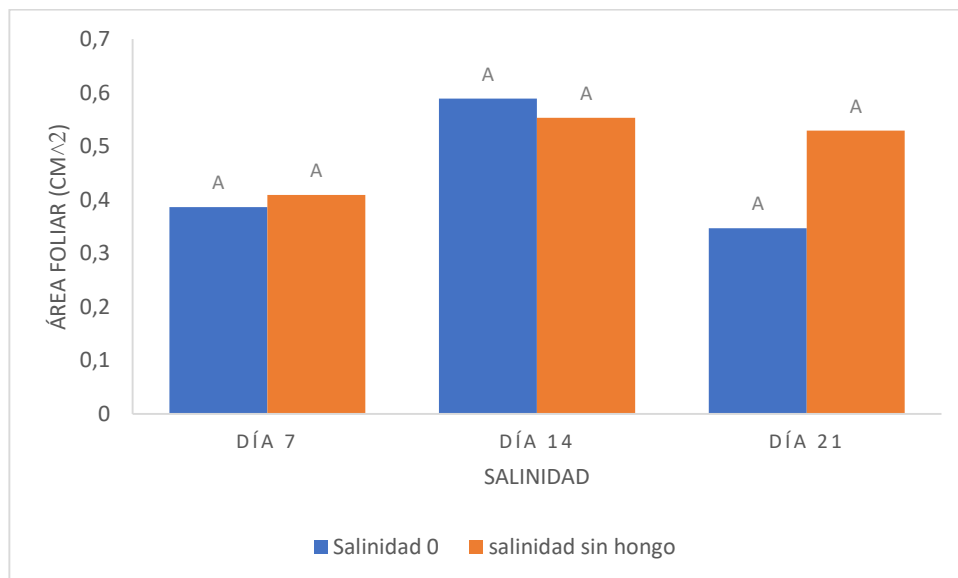


Figura 26: Área foliar en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis indica que la salinidad no produjo diferencias significativas en el área foliar ($p = 0.3269$). El tratamiento sin hongo presentó un promedio de 0.5, mientras que el nivel 0 con hongo registró 0.35; no obstante, ambos comparten la misma letra (A), lo que significa que estadísticamente pertenecen al mismo grupo. Además, el $R^2 = 0.26$ muestra que la salinidad explica una proporción muy baja de la variación del área foliar observada.

Estos resultados pueden explicarse porque, en condiciones de salinidad moderada, *Trichoderma* spp. puede mantener su actividad biológica y su interacción con la planta gracias a mecanismos de tolerancia osmótica. Según Herrera (2025), algunas cepas ajustan sus membranas y producen osmoprotectores que les permiten sostener su metabolismo aun cuando el potencial osmótico del medio se ve alterado. En consecuencia, la capacidad de colonización y de promoción del crecimiento vegetal puede conservarse, favoreciendo un desarrollo foliar relativamente estable a pesar de la presencia de sales.

Tabla 32: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre la longitud de la raíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Longitud de la raíz	8	0.26	0.14	20.61

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	1.53	1	1.53	2.16	0.1922
Salinidad	1.53	1	1.53	2.16	0.1922
Error	4.26	6	0.71		
Total	5.79	7			

Realizado por: Tapia, 2026.

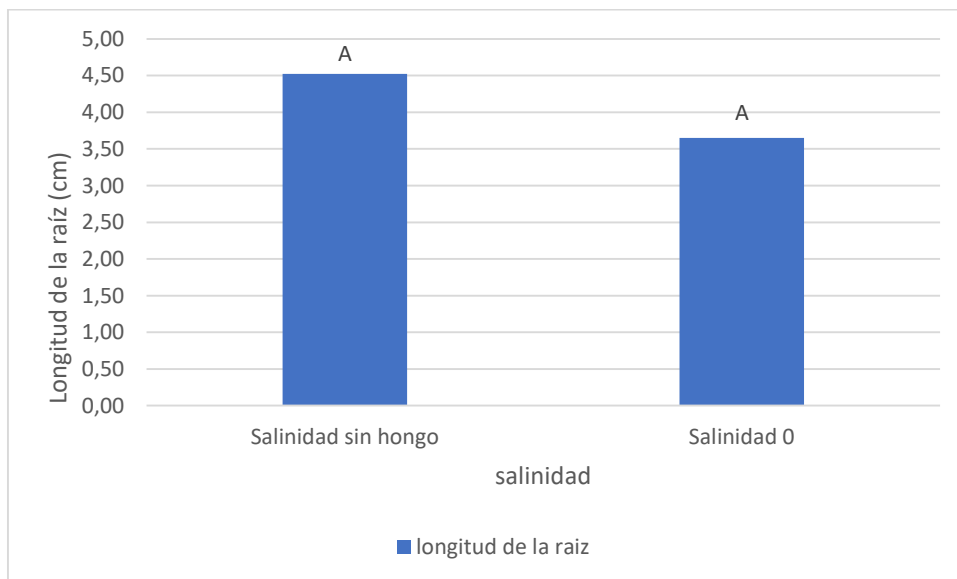


Figura 27: Longitud de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026.

El análisis muestra que la salinidad no generó diferencias significativas en la longitud de raíz ($p = 0.1922 > 0.05$). El tratamiento sin hongo presentó una media de 4.53, mientras que el nivel 0 registró 3.65; sin embargo, ambos comparten la misma letra (A), lo que indica que estadísticamente pertenecen al mismo grupo. El $R^2 = 0.26$ señala que la salinidad explica una

proporción moderada de la variación observada, aunque no suficiente para evidenciar diferencias entre tratamientos.

Estos resultados se explican porque, bajo niveles de salinidad no extremos, *Trichoderma* spp. puede conservar su viabilidad y su capacidad de colonización radicular mediante mecanismos de ajuste osmótico. Según Herrera (2025), algunas cepas toleran la presión salina modificando sus membranas y produciendo osmoprotectores, lo que les permite mantener su metabolismo y su interacción con la planta. De esta manera, el desarrollo de la raíz puede sostenerse relativamente estable aun en presencia de sales, siempre que la salinidad no supere los umbrales fisiológicos de tolerancia del hongo.

Tabla 33: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso húmedo de la raíz.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso húmedo de raíz	8	0.09	0.00	33.85	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	9.20	1	9.20	0.56	0.4816
Salinidad	9.20	1	9.20	0.56	0.4816
Error	9.90	6	1.60		
Total	1.10	7			

Realizado por: Tapia, 2026

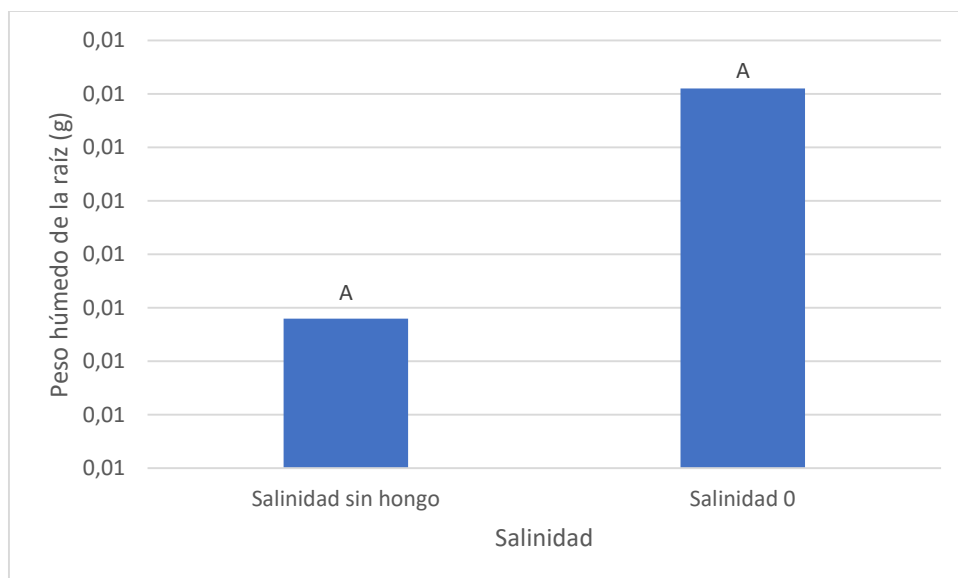


Figura 28: Peso húmedo de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026

El análisis muestra que el peso húmedo de la raíz fue prácticamente igual entre el tratamiento con salinidad 0 y el tratamiento sin hongo, ya que ambos presentan una media de 0.01. Además, el valor de $p = 0.4816 (> 0.05)$ indica que no existen diferencias estadísticas entre los dos tratamientos, lo cual también se refleja en que comparten la misma agrupación en la comparación de medias. Esto evidencia que, bajo estas condiciones, el peso radicular fresco se comportó de manera similar en ambos casos.

Estos resultados pueden justificarse porque *Trichoderma* spp. es capaz de tolerar condiciones de salinidad moderada sin alterar de forma significativa su actividad biológica ni su interacción con el sistema radicular. Según Herrera (2025), algunas cepas compensan el factor osmótico mediante ajustes fisiológicos, lo que permite mantener la absorción de agua y nutrientes. En consecuencia, el desarrollo y la acumulación de biomasa fresca en la raíz pueden permanecer estables mientras la salinidad no exceda los niveles críticos de tolerancia.

Tabla 34: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso seco de la raíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso seco de raíz	8	0.54	0.46	15.27		
F.V	SC	GI	CM		F	p-valor
Modelo	9.80	1	9.80		7.00	0.0382
Salinidad	9.80	1	9.80		7.00	0.0382
Error	8.40	6	1.40			
Total	1.80	7				

Realizado por: Tapia, 2026

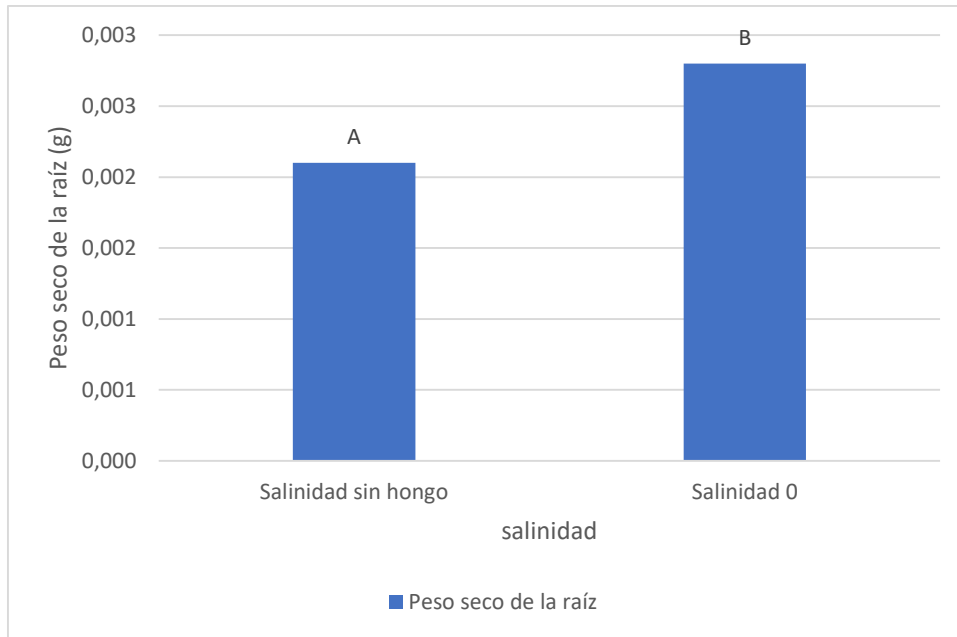


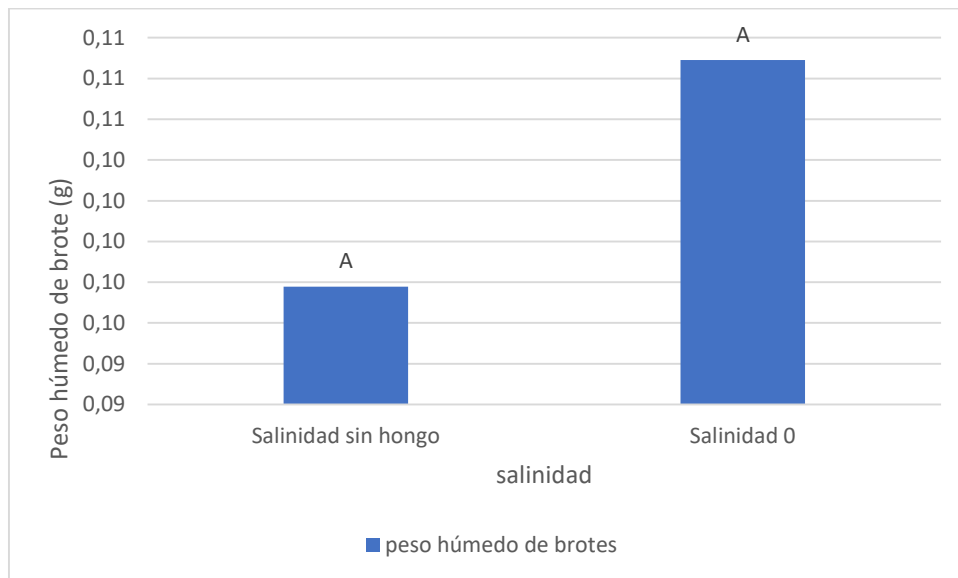
Figura 29: *Peso seco de la raíz en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).*
Realizado por: Tapia, 2026

El análisis del peso seco de la raíz muestra diferencias entre los tratamientos evaluados, ya que el valor de $p = 0.0382 (< 0.05)$ indica que la salinidad influye significativamente en esta variable. La prueba de comparación de medias los ubica en grupos distintos (A y B), lo que significa que estadísticamente no son iguales. Esto indica que el tratamiento “sin hongo” y el tratamiento con salinidad 0 produjeron respuestas diferentes en el peso seco radicular.

Estos resultados se explican porque la salinidad puede afectar directamente la viabilidad y el vigor micelial de *Trichoderma* spp., alterando su capacidad de colonización y su influencia sobre la formación de biomasa radicular. Según Herrera (2025), el aumento de sales modifica el potencial osmótico y reduce la disponibilidad de agua, lo que puede limitar procesos fisiológicos asociados al crecimiento. Aunque algunas cepas toleran condiciones moderadas mediante ajustes celulares, cambios en la salinidad pueden generar variaciones en la acumulación de materia seca de la raíz al influir en la actividad biológica del hongo y en el desarrollo del sistema radicular.

Tabla 35: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso húmedo de los brotes.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso húmedo de brote	8	0.06	0.00	23.62	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2.50	1	2.50	0.42	0.5430
Salinidad	2.50	1	2.50	0.42	0.5430
Error	3.60	6	6.00		
Total	3.80	7			

Realizado por: Tapia, 2026**Figura 30:** Peso húmedo de los brotes en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).**Realizado por:** Tapia, 2026

Los resultados obtenidos para el peso húmedo de brotes muestran valores promedio muy similares entre los tratamientos evaluados, registrándose 0.10 g en plantas sin hongo y 0.11 g en plantas sometidas a salinidad 0. El análisis estadístico presentó un p-valor de 0.5430, superior al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Asimismo, el bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 0.06$; R^2 ajustado = 0.00) evidencia que la variable salinidad o la presencia/ausencia de hongo explican una proporción mínima de la variabilidad observada en

el peso húmedo de los brotes. En consecuencia, se infiere que ambos tratamientos produjeron respuestas similares en el crecimiento aéreo de las plántulas.

Estos resultados pueden justificarse porque, en condiciones de salinidad no extremas, *Trichoderma* spp. puede mantener su actividad metabólica y su interacción con la planta sin afectar notablemente la acumulación de biomasa fresca en la parte aérea. Según Herrera (2025), algunas cepas toleran el factor salino mediante mecanismos de ajuste osmótico y producción de osmoprotectores, lo que permite conservar la absorción de agua y el funcionamiento fisiológico. Por ello, el desarrollo de los brotes y su contenido de agua pueden permanecer relativamente estables mientras la salinidad no supere los niveles críticos de tolerancia del hongo.

Tabla 36: Análisis estadístico del efecto de la salinidad sobre el peso seco de los brotes.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso seco de brote	8	0.52	0.44	16.02	
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	9.90	1	9.90	6.40	0.0446
Salinidad	9.90	1	9.90	6.40	0.0446
Error	9.30	6	1.50		
Total	1.90	7			

Realizado por: Tapia, 2026

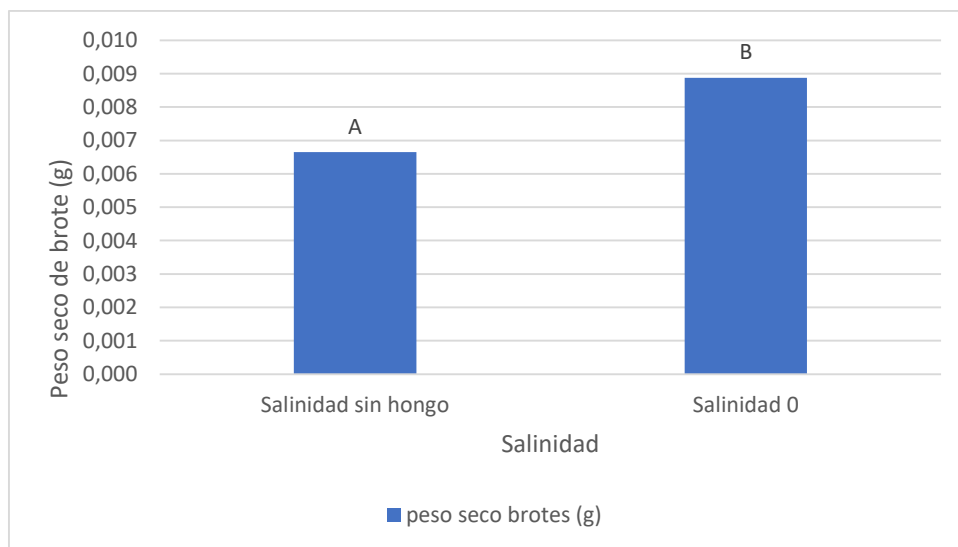


Figura 31: Peso seco de los brotes en función de la salinidad (Tukey $\alpha=0.05$).

Realizado por: Tapia, 2026

Los resultados del peso seco de brotes evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, ya que el p-valor obtenido (0.0446) es menor al nivel de significancia de 0.05. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.52$; R^2 ajustado = 0.44) indica que el modelo explica una proporción moderada de la variabilidad observada en esta variable. La asignación de letras distintas A para tratamientos de salinidad 0mM sin el hongo y B para el mejor tratamiento salinidad 0mM con hongo, señalan estadísticamente que sí existe diferencia entre ellos. Esto sugiere que la presencia o ausencia del hongo influyó en la acumulación de biomasa seca de los brotes bajo condiciones sin salinidad.

Estos resultados se explican porque la salinidad puede alterar la actividad biológica de *Trichoderma* spp. al modificar el equilibrio osmótico del medio, lo que influye en su capacidad de colonización y en los procesos asociados al crecimiento vegetal. Según Herrera (2025), aunque algunas cepas pueden tolerar concentraciones moderadas mediante ajustes celulares, cambios en la disponibilidad de agua y en el vigor micelial pueden afectar la síntesis de biomasa, incluida la materia seca de los brotes. Por ello, variaciones en la salinidad pueden generar diferencias en la acumulación de tejido seco en la parte aérea al influir indirectamente en el desarrollo de la planta.

Tabla 37: *Condiciones abióticas más favorables de pH, temperatura y salinidad para el desarrollo de plántulas de pimienta.*

Variable	pH	Temperatura	Salinidad
Altura	6 con hongo	30 °C con hongo	0mM sin hongo
Número de hojas	6 con hongo	30 °C con hongo	Sin diferencia
Área foliar	5 con hongo	30 °C con hongo	Sin diferencia
Longitud de raíz	Sin diferencia	Sin diferencia	Sin diferencia
Peso húmedo de raíz	Sin diferencia	Sin diferencia	Sin diferencia
Peso seco de raíz	Sin diferencia	Sin diferencia	0mM con hongo
Peso húmedo de brote	Sin diferencia	30 °C con hongo	Sin diferencia
Peso seco de brote	6 y 7 con hongo	Sin diferencia	0mM con hongo

Realizado por: Tapia, 2026

El análisis conjunto de la tabla indica que el crecimiento y desarrollo de las plántulas responde de manera diferente a cada factor abiótico evaluado. En cuanto al pH, el valor 6 se presenta como el más favorable para la mayoría de variables morfológicas, especialmente altura, número de hojas y peso seco del brote, lo que sugiere que un pH ligeramente ácido optimiza el desarrollo

vegetal siempre que esté la plántula inoculada con el hongo *Trichoderma*. Para la temperatura, 30 °C favorece principalmente el crecimiento aéreo (altura, número de hojas y peso húmedo del brote). Respecto a la salinidad, el tratamiento sin hongo favorece variables estructurales como altura del tallo, mientras que la condición de salinidad 0mM con inoculación de *Trichoderma sp.* beneficia el peso seco tanto de la raíz como del brote, lo que indica que al no aumentar salinidad en la solución Hoagland se aumenta biomasa seca en las plántulas que recibieron inoculación con el hongo.

10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS)

La ejecución del presente proyecto genera impactos relevantes en diversos ámbitos, al analizar el desempeño de cepas de *Trichoderma spp.* sometidas a condiciones de factor abiótico, tanto en ensayos in vitro como en plántulas de pimiento, aportando sustento científico para su utilización como una alternativa sostenible dentro de la producción agrícola.

10.1 Impacto Social

Asimismo, los resultados derivados del proyecto impulsan la adopción de prácticas agrícolas más seguras y sostenibles, fortaleciendo la conciencia social respecto a la importancia del manejo integrado de plagas y enfermedades, y estimulando a pequeños y medianos productores a incorporar alternativas biológicas en sus sistemas productivos.

10.2 Impacto Ambiental

Desde la perspectiva ambiental, la sustitución parcial o total de fungicidas y pesticidas de origen químico por *Trichoderma spp.* contribuye a la disminución de la contaminación del suelo, del agua y del aire. Al tratarse de organismos de origen natural, su utilización reduce los efectos adversos sobre los ecosistemas agrícolas y favorece la conservación de la biodiversidad, así como el mantenimiento del equilibrio ecológico.

10.3 Impacto Económico

De igual forma, los sistemas de producción agrícola sustentados en prácticas sostenibles y en el empleo de insumos biológicos tienden a incrementar la competitividad de los productores, dado que estos enfoques son mejor valorados en mercados nacionales e internacionales que demandan certificaciones orgánicas o esquemas productivos ambientalmente responsables.

11. CONCLUSIONES

El crecimiento de *Trichoderma* spp. fue favorable en todas las condiciones evaluadas a nivel in vitro, mostrando mayor desempeño en condiciones de pH 6, salinidad 100mM y temperaturas entre 20-28°C. Estas condiciones son más cercanas a su ambiente natural, por lo que permiten un funcionamiento óptimo de sus procesos metabólicos y enzimáticos. En cambio, los valores extremos de pH (pH8), las altas concentraciones de sal (>300mM) y las temperaturas muy bajas o elevadas (10°C o 35°C) limitan su crecimiento.

En plántulas de pimiento, el mejor desarrollo se observó en las plantas inoculadas con *Trichoderma* spp. en ausencia de incremento de la salinidad, donde se evidenció mayor acumulación de biomasa seca en raíces y brotes. Se evidenció también que la temperatura óptima para el crecimiento del pimiento fue a 30°C en plántulas inoculadas con *Trichoderma* sp. presentando mayor altura de tallo, mayor cantidad de hojas, mayor área foliar y peso húmedo de brotes. Sin embargo, no se puede atribuir a la inoculación del hongo debido a que no existió diferencias significativas en los ensayos a 22°C con y sin hongo. Finalmente, se observó que a pH 6 las plántulas provenientes de semillas inoculadas con hongo presentaron mayor altura, número de hojas, área foliar y peso seco de los brotes.

12. RECOMENDACIONES

Se deben ampliar los estudios a nivel *in vitro* con diversidad de factores abióticos para alcanzar una mejor comprensión sobre *Trichoderma* spp. bajo condiciones ambientales complejas.

Los ensayos deben ser complementados con investigaciones por un tiempo más prolongado, investigaciones que involucren no solo aspectos morfológicos de las plantas sino también fisiológicos y también con ensayos bajo invernadero en plántulas inoculadas con *Trichoderma* sp. lo que profundizará la comprensión del hongo como bioestimulante.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, C., & Guarango, F. (2023). *Producción de trichoderma spp. Como bioinsumo para los cultivos de col (brassica oleracea var. Capitata) en el Barrio Barabón Chico, Cuenca-Ecuador*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio Insitucional espoch. Obtenido de <https://dspace.espoch.edu.ec/items/43ea566f-5c69-48c9-8ae8-24c09da7b640>
- Andrade, P., Rivera, M., Nandero, L., Silva, H., Martinez, S., & Romero, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita Trichoderma spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Aymacaña, S. (2025). *Identificación morfológica y molecular de metharizhium spp del llano largo de la parroquia del chaupi del cantón mejía*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi], Repositorio Institucional utc. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/items/5322747e-c3e2-46b5-a731-72b822d7c81b>
- Camero, C., -Rios, C., Velasco, L. G., López, G., Estrada, M., & Camero, O. (2023). Supresión in vitro de patógenos fúngicos de raíz en Annona muricata L. por cepas de Trichoderma y fungicidas convencionales.: Supresión de patógenos de raíz de guanábana. *Bio ciencias*, 10(1), 15. doi:<https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1497>
- Campi, R., Andrade, D., Carrera, J., Sánchez, D., & Calixto, B. (2025). Desempeño Productivo y Fisiológico del Pimiento (Capsicum Annuum L.) Influenciado por Biofertilizantes Orgánicos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 8485-8496. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17579
- Carvajal, P., & Jiménez, V. (2021). Ingeniería genética contra estrés abiótico en cultivos neotropicales: osmolitos, factores de transcripción y CRISPR/Cas9. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(2), 47-66. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.88487>
- Castillo, E. (2022). *Importancia de los aminoácidos en la agricultura bajo condiciones de estrés abiótico*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo], Repositorio Institucional utb. Obtenido de <https://dspace.utb.edu.ec/items/b4ac8e76-8016-46cc-902f-33f86cfef336>

- Chango, C. (2023). *Efecto de tres especies de trichoderma y dos bioproductos en la producción de cultivo de pimiento (capsicum annum L.) tipo dulce italiano, bajo invernadero*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio Institucional epoch. Obtenido de <https://dspace.epoch.edu.ec/items/8f8f815f-e004-4edd-9104-499e8fe65b8a>
- Cortés, C. (2024). Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Scielo*. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752023000200073
- Cortés, F. d., Alvarado, G., & Sánchez, G. (2024). Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73-87. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- González, D. (2024). Efecto de diferentes medios de cultivo sobre el desarrollo de *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan. *Scielo*. doi:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000100004
- Google, E. (18 de Diciembre de 2025). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/UNIVERSIDAD+TECNICA+DE+COTOPAXI,+ECUADOR/@-0.9179088,-78.6329858,2787.82013882a,845.11239728d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCTS4djKN7TRAETK4djKN7TTAGUNC3rAPakIAITTrxUTb-UnAQgIIATIpCicKJQohMXFiSm9EYzJKTnV0MTZNWHFMX1B6dWM3emt>
- Guananga, B., & Guadamud, G. (2024). *Producción del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) con la aplicación de diferentes fitohormonas*. [Tesis de Grado, La Maná Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)], Repositorio Institucional utc. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/items/0bee6d2c-c791-4d7f-adc6-df0bfe268734>
- Herrera, S. (2025). *Efecto de un biofertilizante de Trichoderma spp. sobre las características físico químicas y los procariontes de dos suelos agrícolas bajo cultivos de raphanus sativus*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de México], Repositorio Institucional unam. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/056dd9d3-5cb7-472d-a0c4-070bf5747431/content>

- Humber, R. (2005). Entomopathogenic Fungal Identification. En *Manual of Techniques in Invertebrate Pathology* (págs. 151-187). doi:DOI:10.1016/B978-0-12-386899-2.00006-3
- La Torre, L. (2025). *Efectos de factores ambientales sobre la biodiversidad fúngica en suelos de cultivo de Palta (Persea americana), Huanta - Ayacucho 2024*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga], Repositorio Institucional unsh. Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/5a935bbe-0c63-4cfb-8e72-3c9f9ddf55>
- Morales, I. (2023). *Mejora genética del chile (Capsicum annuum, L.) para estrés biótico: Oídio (Leveillula taurica, (Lév.) Arn.) y fertilidad del suelo: retos de la agricultura ecológica y búsqueda de fuentes de variación de interés y factores genéticos relacionados*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia], Repositorio Insitucional upv. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/07139579-87c2-4085-9a00-f98161170ce2/content>
- Peñas de la Corte, M. (2025). *Desarrollo de nuevos bioestimulantes agrícolas, a partir de la combinación de microorganismos y extractos vegetales, contra el estrés abiótico en cultivos de cereales y leguminosas*. [Tesis de Grado, Universidad de Granada], Repositorio Institucional ugr. Obtenido de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/104868>
- Sánchez, B., Diáñez, F., & Moreno , A. (2021). Promoción del crecimiento vegetal y biocontrol de *Pythium ultimum* mediante aislados de *Trichoderma* tolerantes a la salinidad bajo estrés salino. *pmc*. doi:<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6603990>
- Sánchez, L. (2025). *Evaluación de sustratos orgánicos para reproducción del hongo trichoderma sp. en la zona Amazonia-Orellana, 2024*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Repositorio Institucional espoch. Obtenido de <https://dspace.espoch.edu.ec/items/d1d277d7-8e7c-4488-8bc6-771910f8a8cc>
- Senizza, B., Araniti, F., Lewin, S., Wende, S., Kolb, S., & Lucini, L. (2023). *Trichoderma spp.-mediated mitigation of heat, drought, and their combination on the Arabidopsis thaliana holobiont: a metabolomics and metabarcoding approach*. *Front. Plant Sci*, 21(1), 1-13. doi:doi: 10.3389/fpls.2023.1190304

Steffen, G., Steffen, R., Tomazzi, D., Gabe, N., Maldaner, J., & Boeni, M. (2025). Resposta de cultivares de trigo à inoculação de fungos do gênero *Trichoderma*. *Disciplinarum Scientia / Naturais E Tecnológicas*, 26(2), 21-38. doi:<https://doi.org/10.37779/nt.v26i2.5107>