



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE
(*Trichoderma asperellum*.) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Agrónoma

Autora:

Sandoval Guamani Shirley Estefania

Tutor:

Chasi Vizquete Wilman Paolo

Cotutora:

Arévalo Granda Johanna Valentina

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Sandoval Guamani Shirley Estefania, con cédula de ciudadanía No. 0550253074, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum.*) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero Mg. Wilman Paolo Chasi Vizuite, Tutor 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

Shirley Estefania Sandoval Guamani

C.C: 0550253074

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 **SANDOVAL GUAMANI SHIRLEY ESTEFANIA**, identificada con cédula de ciudadanía **0550253074** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA 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. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum.*) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**”, 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

Tutor: Ing. Wilman Paolo Chasi Vizueté, Mg.

Tema: “**EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum.*) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**”

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, **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA 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.

Shirley Estefania Sandoval Guamani

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CEDENTE

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum*.) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de Sandoval Guamani Shirley Estefania, de la carrera de Agronómica, 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. Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuite, Mg.

C.C: 0502409725

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, la postulante: Sandoval Guamani Shirley Estefania, con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum.*) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, 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. Diana Elizabeth Toapanta Gallegos, Mg.
C.C: 1002749800
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.
C.C:0501883920
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Edwin Marcelo Chancusig Espín, PhD.
C.C: 0501148837
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado la salud, la fuerza y la sabiduría, para lograr esta meta en mi vida, por todas las veces en las que me ha demostrado que camino de su mano y que jamás estoy sola.

A mi madre por todo su esfuerzo y sacrificio y, sobre todo, por su amor y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente y portar este título de tan maravillosa institución.

A todos mis docentes de la carrera de Agronomía quienes me han impartido sus conocimientos y experiencias, fundamentales en mi preparación académica y profesional, en especial a la ingeniera Tannya Llanos y al ingeniero Francisco Chancusig.

De manera especial expreso mi gratitud a mi tutor el ingeniero Paolo Chasi por su orientación y apoyo, a mi cotutora la ingeniera Valentina Arévalo, por sus valiosos conocimientos, orientación y apoyo que me ha brindado en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis amigas, Fercita y Melita, por todas las risas, los buenos y malos momentos compartidos, por todas las veces en las que fueron mi apoyo y me impulsaron a seguir adelante, son y siempre serán uno de los regalos más bonitos que me ha dado la Universidad.

Shirley Estefania Sandoval Guamani

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico con todo mi amor y gratitud a la mujer más fuerte y luchadora, la persona que más admiro y amo en el mundo, mi madre, Martha Guamani quien ha sido mi más grande apoyo, el pilar fundamental en mi vida y mi mayor motivación para seguir adelante día a día, porque me ha enseñado que a pesar de las adversidades siempre se puede salir adelante y hoy todo su esfuerzo y sacrificio se ve reflejado en una meta cumplida.

A mi hermana Melani quien además de ser mi compañera de vida, también ha sido mi amiga y confidente y ha estado conmigo en los buenos y malos momentos, por quién todo mi esfuerzo, para poder ser su guía y ejemplo a seguir.

A mis abuelitos Juan y Gabriela, quienes han plasmado en mi todo su amor, sus consejos y sus enseñanzas y son uno de mis más grandes motivos para seguir adelante, les amo infinitamente.

A mi Familia por ser mi fortaleza y mi inspiración, a mis tíos (Gina, Milton, Fabiola, Fredy, Paty, Juan, Nohemi, Marco) por sus consejos y su apoyo, a mis primos (Wlady, Jessy, Santy, Gaby, Eduardo, Carlos, Fabricio, Gabriel, Pepito, Esteban, Carolyn, Samy, Alejita, Renata y Aithana) que han estado conmigo en los buenos y malos momentos.

A mi compañero fiel de cuatro patitas mi pequeño Doogan Javier, quien ha sido mi compañía en las noches de desvelo, con sus ocurrencias y toda la alegría que le da a mi vida.

Shirley Estefania Sandoval Guamani

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “EVALUATION OF FOUR SUBSTRATES FOR THE PRODUCTION OF
(*Trichoderma asperellum*) UNDER CONTROLLED CONDITIONS AT THE
TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”.**

Autora:
Sandoval Guamani Shirley Estefania

RESUMEN

Los hongos biocontroladores se han convertido en una alternativa frente al uso excesivo de productos químicos en la agricultura, ya que responden a la creciente necesidad de aplicar métodos más sostenibles y amigables con el ambiente para el control de plagas. La presente investigación se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad Técnica de Cotopaxi, tuvo como objetivo evaluar cuatro sustratos de origen vegetal (arroz, morochillo, trigo y cebada) para la producción de *Trichoderma asperellum* bajo condiciones controladas. Para lo cual se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos (sustratos) y seis repeticiones por tratamiento. Se evaluaron variables como crecimiento micelial (cm²), crecimiento esporular (cm²) tanto a los 10 como a los 20 días después de la inoculación, los mismos que fueron evaluados mediante un análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey, $\alpha=0,05$). Los resultados demostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$) entre los sustratos. Y se determinó que el sustrato 4 (trigo) fue el mejor tratamiento, obteniendo los mayores valores de crecimiento micelial (150 cm²) y esporular (109,17 cm²), seguido por el sustrato 2 (morochillo), que mostró un crecimiento micelial (73.83 cm²) y esporular (77.17 cm²). El arroz obtuvo un rendimiento intermedio con un área micelial de (51 cm²) y un área esporular de (49 cm²), mientras que la cebada registró los valores más bajos en las variables evaluadas. Estas diferencias se atribuyen a la composición nutricional de cada sustrato, particularmente a su contenido de carbohidratos complejos, nitrógeno y minerales, que influyen directamente en la actividad metabólica y enzimática de *Trichoderma asperellum*. El sustrato obtenido del trigo, al ser rico en almidón y proteínas, favorece una rápida colonización y una alta producción de estructuras reproductivas. Se concluye que este es el sustrato más adecuado para la producción masiva de *Trichoderma asperellum*. en condiciones de laboratorio.

Palabras clave: *Trichoderma asperellum*, sustratos agrícolas, biocontrolador, crecimiento micelial, esporulación, trigo, producción de bioinsumos, agricultura sostenible.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “EVALUATION OF FOUR SUBSTRATES FOR THE PRODUCTION OF (*Trichoderma asperellum*) UNDER CONTROLLED CONDITIONS AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”.

Author:
Sandoval Guamani Shirley Estefania

ABSTRACT

Biocontrol fungi have become an alternative to the excessive use of chemical products in agriculture, as they respond to the growing need to apply more sustainable and environmentally friendly methods for pest control. The present research was carried out in the microbiology laboratory of the Universidad Técnica de Cotopaxi and aimed to evaluate four substrates of plant origin (rice, morochillo, wheat, and barley) for the production of *Trichoderma asperellum* under controlled conditions. For this purpose, a completely randomized design (CRD) was implemented with four treatments (substrates) and six replications per treatment. Variables such as mycelial growth (cm²) and sporulation growth (cm²) were evaluated at both 10 and 20 days after inoculation, and these were analyzed using statistical analysis (ANOVA and Tukey’s test, $\alpha = 0.05$). The results showed statistically significant differences ($p < 0.0001$) among the substrates. It was determined that substrate 4 (wheat) was the best treatment, obtaining the highest values of mycelial growth (150 cm²) and sporulation growth (109.17 cm²), followed by substrate 2 (morochillo), which showed mycelial growth (73.83 cm²) and sporulation growth (77.17 cm²). Rice showed intermediate performance with a mycelial area of (51 cm²) and a sporulation area of (49 cm²), while barley recorded the lowest values for the variables evaluated. These differences are attributed to the nutritional composition of each substrate, particularly their content of complex carbohydrates, nitrogen, and minerals, which directly influence the metabolic and enzymatic activity of *Trichoderma asperellum*. The substrate obtained from wheat, being rich in starch and proteins, favors rapid colonization and high production of reproductive structures. It is concluded that this is the most suitable substrate for the mass production of *Trichoderma asperellum* under laboratory conditions.

Keywords: *Trichoderma asperellum*, agricultural substrates, biocontrol agent, mycelial growth, sporulation, wheat, bioinput production, sustainable agriculture.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
<i>AGRADECIMIENTO</i>	vii
<i>DEDICATORIA</i>	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xvi
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
3.1 Beneficiarios directos	3
3.2 Beneficiarios indirectos.	3
4 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
5 OBJETIVOS:.....	5
5.1 General.....	5
5.2 Específicos	5
6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
7.1 Sistema Agrícola.....	7

7.2	Sistema Agrícola sostenible.....	7
7.3	Microorganismos benéficos para la agricultura.....	8
7.4	Bioinsumos.....	8
7.5	Biocontrolador.....	8
7.6	Trichoderma.....	9
7.6.1	Clasificación Taxonómica.....	9
7.6.2	Generalidades de <i>Trichoderma asperellum</i>	9
7.6.3	<i>Trichoderma asperellum</i> como agente de control biológico.....	10
7.6.4	Mecanismos de acción de Trichoderma.....	10
7.6.5	Antibiosis.....	10
7.6.6	Micoparasitismo.....	11
7.6.7	<i>Trichoderma asperellum</i> como bioestimulante.....	11
7.6.8	Aplicaciones agrícolas de <i>Trichoderma asperellum</i> como promotor de crecimiento.....	11
7.6.9	<i>Trichoderma asperellum</i> en la remediación de la fertilidad del suelo.....	12
7.7	Métodos de producción.....	12
7.8	Sustratos para la producción.....	13
7.8.1	Arroz.....	13
7.8.2	Morochillo.....	14
7.8.3	Cebada.....	14
7.8.4	Trigo.....	14
8	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.....	15
8.1	Hipótesis:.....	15
8.1.1	Hipótesis nula.....	15
8.1.2	Hipótesis alternativa.....	15
8.2	Validación:.....	15

9	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
9.1	Tipos de investigación	15
9.1.1	Investigación bibliográfica/documental	15
9.1.2	Investigación Descriptiva	16
9.2	Métodos de investigación	16
9.2.1	Cualitativo	16
9.2.2	Cuantitativo	16
9.3	Ubicación de la investigación	16
9.4	Materiales y reactivos	17
9.4.1	Materiales	17
9.4.2	Reactivos	18
9.5	Equipos utilizados en la investigación.....	18
9.6	Preparación de medio de cultivo.....	18
9.7	Reactivación y purificación de las cepas de <i>Trichoderma asperellum</i>	19
9.7.1	Resiembra de las cepas de <i>Trichoderma asperellum</i>	19
9.7.2	Preparación de <i>Trichoderma asperellum</i>	19
9.8	Recuento de conidias	19
9.9	Selección y preparación de sustratos	20
9.10	Inoculación del hongo en los sustratos.....	20
9.11	Toma de datos	21
10	ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	21
10.1	Análisis estadístico.....	21
10.1.1	Micelio 10D.....	21
10.1.2	Micelio 20D.....	23
10.1.3	Esporas 10D.....	25
10.1.4	Esporas 20D.....	27

11	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	29
11.1	Técnicos	29
11.2	Sociales.....	29
11.3	Ambientales.....	30
11.4	Económicos	30
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
12.1	Conclusiones	30
12.2	Recomendaciones.....	31
13	Bibliografía.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 2. Clasificación taxonómica del <i>Trichoderma asperellum</i>	9
Tabla 3. Análisis de la Varianza crecimiento micelial 10D	21
Tabla 4. Análisis de la Varianza crecimiento micelial 20D	23
Tabla 5. Análisis de la Varianza crecimiento esporular 10D	25
Tabla 6. Análisis de la Varianza crecimiento esporular 20D	27

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Test Tukey crecimiento micelial 10D	22
Gráfica 2. Test Tukey crecimiento micelial 20D	24
Gráfica 3. Test Tukey crecimiento esporular 10D	26
Gráfica 4. Test Tukey crecimiento esporular 20D	28

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE (*Trichoderma asperellum*.) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Fecha de inicio:

Octubre 2025

Fecha de finalización:

Marzo 2026

Lugar de ejecución:

Salache– Parroquia Eloy Alfaro – Cantón Latacunga– Provincia de Cotopaxi.

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Agronómica

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete, Mg.

Cotutora: Ing. Johanna Valentina Arévalo Granda, Mg.

Lector 1: Ing. Toapanta Gallegos Diana Elizabeth, Mg.

Lector 2: Ing. Francisco Hernan Chancusig, Mg.

Lector 3: Ing. Chancusig Espín Edwin Marcelo Mg. PhD.

Nombre del investigador: Sandoval Guamani Shirley Estefania

Teléfonos: 0998549831

Correo electrónico: shirley.sandoval3074@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Agricultura, Silvicultura y Pesca-Producción Agropecuaria

Línea de investigación:

Desarrollo y Seguridad alimentaria.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Producción Agrícola Sostenible y Sistemas Agroecológicos

Grupo de investigación:

Diversidad biológica y conservación del ecosistema

Línea de vinculación:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La producción agrícola enfrenta actualmente limitaciones asociadas al uso intensivo de agroquímicos, los cuales generan resistencia en los patógenos, degradación del suelo y contaminación ambiental. En este contexto, el empleo de agentes de control biológico como *Trichoderma asperellum* se ha consolidado como una alternativa sostenible debido a su capacidad para antagonizar patógenos, estimular el crecimiento vegetal y mejorar la salud del suelo (Harman et al., 2004).

No obstante, la eficiencia productiva de *Trichoderma asperellum* depende en gran medida del tipo de sustrato utilizado durante su multiplicación, ya que este influye directamente en la disponibilidad de carbono, nitrógeno y minerales necesarios para su metabolismo y esporulación (Pandey et al., 2000). En Ecuador, existe limitada información sobre la evaluación comparativa de sustratos agrícolas locales para la producción de este hongo bajo condiciones controladas, lo cual restringe su aprovechamiento técnico por parte de productores y laboratorios.

Por ello, la presente investigación se justifica desde el punto de vista científico, técnico y ambiental, al generar información experimental sobre el desempeño de cuatro sustratos ampliamente disponibles en el contexto local (arroz, morochillo, trigo y cebada), contribuyendo al desarrollo de biocontroladores agrícolas de bajo costo, reduciendo la dependencia de fungicidas sintéticos y fortaleciendo los sistemas de producción agrícola sostenible.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

3.1 Beneficiarios directos

El presente proyecto de investigación está dirigido a:

- Agricultores que se dedican a la producción orgánica.
- Profesionales que se encuentran vinculados en la rama del estudio de microorganismos.
- Empresas públicas y privadas.
- Los pequeños emprendimientos.

Que surgen en base a una ideología que se enfoca en la producción orgánica.

3.2 Beneficiarios indirectos.

El proyecto sirve también como fuente de conocimiento para la comunidad académica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, específicamente en:

- La carrera de Agronomía que consta con 578 estudiantes.

Que requieren información sobre el tema para generar nuevos proyectos o impartir conocimientos basados en una metodología ya aplicada.

4 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La producción agrícola sostenible requiere alternativas eficientes para disminuir el uso de fungicidas sintéticos para el manejo de enfermedades fitopatológicas del suelo. Entre estas alternativas, el uso de agentes de control biológico como *Trichoderma asperellum*. ha demostrado ser eficaz debido a su capacidad antagonista contra diversos patógenos, así como por su efecto bioestimulante sobre las plantas (Harman et al., 2004). No obstante, para que este microorganismo pueda ser utilizado de manera eficiente en programas de manejo fitosanitario, es necesario contar con métodos adecuados para su producción masiva y estable.

La eficiencia en la producción de *Trichoderma asperellum*. depende en gran medida del tipo de sustrato empleado, ya que este influye directamente en el crecimiento micelial, la esporulación y la viabilidad de las conidias, factores determinantes para la calidad del inóculo (Pandey et al., 2000). Diversos estudios señalan que los sustratos de origen agrícola, especialmente los granos de cereales, constituyen medios favorables para su multiplicación; sin embargo, los resultados varían en función de la composición nutricional y las características físicas de cada sustrato (Kumar & Sahu, 2014) (Kumar & Sahu, 2014).

En el contexto local, no se dispone de información experimental que compare de manera sistemática el comportamiento de *Trichoderma asperellum* en diferentes sustratos agrícolas disponibles en la región, tales como arroz, morochillo, trigo y cebada, bajo condiciones controladas de laboratorio. Esta falta de conocimiento limita la estandarización de protocolos de producción de este biocontrolador y reduce su aprovechamiento técnico por parte de instituciones académicas y productores agrícolas.

Por tanto, surge la necesidad de evaluar comparativamente estos sustratos con el fin de determinar cuál favorece en mayor medida el crecimiento micelial y la producción de conidias de *Trichoderma asperellum*, permitiendo optimizar su producción y contribuir al desarrollo de bioinsumos agrícolas que promuevan una agricultura más sostenible.

5 OBJETIVOS:

5.1 General

Evaluar cuatro sustratos para la producción de *Trichoderma asperellum* bajo condiciones controladas en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

5.2 Específicos

- Comparar el crecimiento de *Trichoderma asperellum* en cuatro sustratos: Arroz, morochillo, trigo y cebada.
- Determinar el mejor sustrato en la producción de *Trichoderma asperellum*.

6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

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

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
-Comparar el crecimiento de <i>Trichoderma asperellum</i> en cuatro sustratos: Arroz, morochillo, trigo y cebada.	<p>1.Revisión bibliográfica sobre el crecimiento y requerimientos nutricionales del hongo <i>Trichoderma asperellum</i>.</p> <p>2.Preparación del inóculo del hongo en PDA.</p> <p>3.Selección, compra y preparación de sustratos.</p> <p>4.Inoculación de sustratos bajo condiciones controladas.</p> <p>5.Medición del crecimiento micelial y esporular.</p>	<p>1.Bibliografía de Trichoderma.</p> <p>2.Cepa pura de Trichoderma asperellum en cajas Petri con agar PDA.</p> <p>3.Sustratos limpios, molidos, hidratados y esterilizados.</p> <p>4.Sustratos inoculados con una concentración determinada de conidios del hongo.</p> <p>5. Crecimiento micelial y esporular del hongo en cada sustrato.</p> <p>6.Establecimiento de diferencias</p>	<p>1.Registro bibliográfico.</p> <p>2.Registro fotográfico del crecimiento.</p> <p>3.Datos experimentales en cm2 del crecimiento micelial y esporular.</p> <p>4.Tablas y gráficas de resultados.</p> <p>5. Reporte estadístico (ANOVA).</p>

	6. Análisis estadístico de varianza (ANOVA).	entre tratamientos.	
-Determinar el mejor sustrato para la producción de <i>Trichoderma asperellum</i> a nivel de laboratorio.	1.Cuantificación de conidios. 2. Aplicación de la prueba Tukey ($\alpha = 0,05$).	1.Determinación del mejor sustrato que maximiza la producción de conidios y crecimiento micelial y esporular.	1.Tabla de datos del recuento de conidios. 2.Reporte de la prueba Tukey. 3. Interpretación de los resultados.

7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1 Sistema Agrícola.

Sistema agrícola, también llamado agroecosistema, puede considerarse como un sistema ecológico, ya que incluye un sistema vivo, donde la unidad de producción (la finca) sería vista de manera equivalente a una unidad ecosistémica en ecología. Existen múltiples definiciones de agroecosistema que van desde el espacio donde se desarrollan interacciones biofísicas hasta donde se germinan cambios sociopolíticos, culturales y económicos. Un agroecosistema puede, o no, ser diseñado de manera similar a los ecosistemas naturales con la aplicación de conceptos ecológicos, en términos de aumento en la diversidad de especies, mejoramiento del ciclo de nutrientes y promoviendo la heterogeneidad (Melgarejo & Bautista, 2019).

7.2 Sistema Agrícola sostenible.

Un sistema agrícola sostenible se define como un conjunto integrado de actividades, prácticas y componentes biológicos, sociales y económicos orientados a la producción de alimentos de manera eficiente, equitativa y responsable, garantizando la conservación de los recursos naturales y la viabilidad del sistema a largo plazo. Este tipo de sistema busca mantener la productividad agrícola sin comprometer la salud del suelo, el agua y la biodiversidad, al mismo

tiempo que contribuye al bienestar social y económico de los productores y las comunidades rurales. Asimismo, los sistemas agrícolas sostenibles tienen la capacidad de adaptarse a los efectos del cambio climático, reducir los impactos ambientales negativos y asegurar la disponibilidad de alimentos seguros y nutritivos para las generaciones presentes y futuras (Çakmakçı et al., 2023).

7.3 Microorganismos benéficos para la agricultura.

Los microorganismos benéficos del suelo pueden incrementarse naturalmente cuando las enmiendas orgánicas son aplicadas al suelo como fuentes de carbono, energía y nutrientes. Esto no es necesariamente cierto donde una abundancia de materia orgánica está disponible con facilidad para ser reciclada, esto ocurre a menudo en la producción en pequeña escala. De cualquier modo, en muchos de los casos, los microorganismos, benéficos y dañinos, a menudo, se han estado controlando ventajosamente cuando cultivos en diferentes zonas agro ecológicas son sembrados y cultivados en secuencias adecuadas (Ej., rotación de cultivos) y sin el uso de pesticidas (Higa, s. f.).

7.4 Bioinsumos.

Una alternativa que tiene cada vez mayor participación en el esquema de manejo de los cultivos, complementando al manejo convencional, es el uso de bioinsumos (biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas), ya que representan opciones económicamente atractivas y ecológicamente aceptables. Un bioinsumo es un producto basado en compuestos y/o extractos de microorganismos o plantas, o de microorganismos vivos, capaces de mejorar la productividad (o rendimiento), calidad y/o sanidad al aplicarlos sobre cultivos vegetales, sin generar impactos negativos en el agroecosistema. En el desarrollo de un bioinsumo se utilizan estrategias que surgen del estudio y caracterización de lo que sucede en las distintas interacciones de las plantas con su entorno. La idea es buscar en la propia naturaleza, donde existe una gran cantidad de productos y de estrategias que pueden utilizarse para el manejo sostenible de plagas y enfermedades de las plantas. Esta afirmación se basa en la premisa de que todos los organismos vivos están dotados de un sistema de defensa, que en general tiene la característica de ser de amplio espectro, y de mecanismos y/o compuestos que producen efectos sobre la fisiología de sí mismos o de otros organismos (de Marchese & Filippone, s. f.).

7.5 Biocontrolador.

Los biocontroladores suelen ser altamente específicos contra el organismo blanco (plaga), con poco o ningún riesgo para las personas o el ambiente. Aunque muchas veces el término

bioplaguicida se utiliza como sinónimo de biocontrolador, el término «biocontrolador» tiene un alcance más amplio, ya que abarca no solo a los productos que tienen una acción directa sobre la plaga (por ocasionar su muerte o impedir su alimentación, por ejemplo), sino también a los que tienen acción indirecta, estimulando mecanismos de defensa propios de la planta, impidiendo la reproducción de los organismos plaga u otros. Debido a las numerosas maneras en que actúan los biocontroladores, es difícil que se desarrolle resistencia a lo largo de muchas generaciones (Chulze, 2023).

7.6 Trichoderma

7.6.1 Clasificación Taxonómica.

Tabla 2. Clasificación taxonómica del *Trichoderma asperellum*.

Taxonomía	
Reino:	Fungi
División:	Ascomycota
Clase:	Sordariomycetes
Orden:	Hypocreales
Familia:	Hypocreaceae
Género:	Trichoderma

Fuente: (Farah, 2025)

7.6.2 Generalidades de *Trichoderma asperellum*.

El grupo *Trichoderma* fue mencionado por primera vez en 1794 por Persoon. Posteriormente, en 1969, Rifai reconoció nueve especies basándose en sus características fisiológicas y morfológicas. A lo largo del tiempo, el número de especies de *Trichoderma* ha aumentado, superando las 200, y se clasifica según su origen, formación y evolución. Las colonias pueden presentar colores que van desde verde oscuro a claro, e incluso a veces amarillentos, dependiendo de la especie; suelen tener un olor parecido al coco y son sencillas de aislar, ya que se hallan frecuentemente en la rizosfera, en materia orgánica descompuesta y en la corteza de los árboles, conforme a Swain y sus colegas en 2018. Este hongo posee tres tipos de propágulos: hifas, clamidosporas y conidios, los cuales muestran acción antagónica contra los patógenos en varias fases, desde la germinación de las esporas hasta el proceso de producción de esporas. Estas estructuras son bastante resistentes, ya que pueden soportar condiciones extremas, tales como radiación ultravioleta y climas muy fríos (congelados) y desérticos, según mencionan Cai y su equipo en 2020. Aun así, su rango óptimo de temperatura para el

crecimiento se encuentra entre 20 y 28 grados Celsius, requiriendo un nivel de humedad del 92 por ciento para su desarrollo y entre un 93 y 95 por ciento para la producción de esporas. Puede multiplicarse en sustratos que incluyan maíz, sorgo, arroz y paja de trigo.(Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.3 *Trichoderma asperellum* como agente de control biológico.

A lo largo de la historia, las plantas han conseguido adaptarse para crecer y prosperar en diferentes entornos donde enfrentan numerosos factores estresantes, como el ataque de plagas y patógenos de hongos, bacterias, virus, nematodos y herbívoros. También tienen que lidiar con otros desafíos como la sequía, el exceso de sal y la falta de nutrientes en el suelo. En la agricultura convencional, las estrategias empleadas incluyen el uso de productos químicos como los fungicidas y la creación de variedades que sean resistentes; sin embargo, con el tiempo, estas medidas han demostrado ser poco efectivas debido a la resistencia que desarrollan las plagas y enfermedades. Además, aunque los resultados puedan parecer positivos al principio, los inconvenientes a largo plazo son más significativos, ya que, además de los altos costos de producción, provocan efectos perjudiciales en el suelo y el agua por su uso excesivo. (Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.4 Mecanismos de acción de *Trichoderma*.

Los microorganismos liberan durante su proceso metabólico sustancias llamadas efectores (proteínas y metabolitos) que, al entrar en contacto con las plantas, afectan su funcionamiento y activan los receptores de defensa, especialmente nucleótidos y proteínas, lo que ayuda a las plantas a defenderse de organismos dañinos. Se ha registrado que hay más de 800 sustancias generadas por este tipo de microorganismos, y su producción está relacionada con la cepa específica y la expresión de sus genes.(Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.5 Antibiosis.

Ocurre cuando un conjunto de compuestos liberados por *Trichoderma* restringen el desarrollo de otros microorganismos con los cuales interactúan espacialmente. Estos compuestos son metabolitos tóxicos, tanto volátiles como no volátiles, que se conocen como antibióticos, y su producción varía según la especie y el tipo de cepa. Algunos ejemplos de estos metabolitos son: ácido harziánico, acetaldehídos, alameticinas, tricholinas, peptaiboiles, antibióticos, 6-pentil pirona, massoilactona, viridina, gliovirina, glisoperonas, ácido heptéldico y aldehído fórmico, entre otros. (Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.6 Micoparasitismo.

Está relacionado con su tasa de crecimiento y se desarrolla en cuatro fases que se llaman: quimiotropismo (Trichoderma identifica a distancia la dirección del patógeno mediante una respuesta química). Reconocimiento (el hongo saprófito se adhiere a lectinas en la pared celular del hongo parásito mediante carbohidratos, invadiéndolo al enroscarse alrededor del patógeno y formando una red). Luego, se produce actividad lítica a través de la generación de enzimas líticas extracelulares por el Trichoderma (quitinasas, glucanasas y proteasas), que descomponen las paredes celulares del patógeno, creando poros que permiten la entrada de hifas de Trichoderma para alimentarse de su presa. Esto favorece la competencia por espacio y nutrientes en beneficio del saprófito. Con una mayor expansión y menor competencia, Trichoderma tiene mayores oportunidades de absorber minerales como carbono, hierro y nitrato, que son cruciales para su metabolismo, y así bloquea el crecimiento de otros organismos al restringir los nutrientes (Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.7 *Trichoderma asperellum* como bioestimulante.

Algunas variedades de Trichoderma han evidenciado un efecto positivo en los cultivos al actuar como bioestimulantes. En este aspecto, su papel principal radica en promover el incremento de la biomasa tanto en las raíces como en las hojas. El impacto puede variar dependiendo del tipo de cultivo, las condiciones ambientales y la cantidad de inóculo, así como del método de aplicación. Este potencial se origina en la mejora de la absorción de nutrientes por las plantas y en la generación de ácidos orgánicos (como el glucónico, el fumárico y el cítrico), los cuales juegan un papel en el ajuste del pH del suelo (Cortés Hernández et al., 2023).

Por otro lado, genera sustancias como el ácido indolacético, que es el principal promotor del desarrollo de raíces, y el ácido giberélico, que actúan como los principales factores que impulsan el crecimiento vegetal, afectando de manera directa las altas tasas de fotosíntesis. De manera similar, favorece la elongación de las raíces, el desarrollo del follaje, así como la inducción de la germinación y la floración, entre otros aspectos. Además, tiene la capacidad de ayudar a la planta hospedante a adaptarse al estrés abiótico, como la sal y la sequía, contribuyendo así al crecimiento y al desarrollo de las plantas (Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.8 Aplicaciones agrícolas de *Trichoderma asperellum* como promotor de crecimiento

Trichoderma spp. puede ser un excelente promotor del crecimiento, dentro de los principales efectos se reportan la estimulación de la germinación, el crecimiento radical, altura de la planta

y grosor del tallo, altos rendimientos, así como aumento en la concentración de minerales en suelo y tejidos foliares (Cortés Hernández et al., 2023).

Las ventajas de este tipo de hongo oportunista no se restringen únicamente a los cultivos agrícolas, sino que también se utilizan en la silvicultura, donde al realizar pruebas de características morfométricas, así como de biomasa tanto aérea como de raíces, dependiendo de la especie anfitriona han mostrado resultados positivos. Por lo tanto, debido a su influencia en el sistema de raíces, podría considerarse su uso específico como enraizante. Así, *Trichoderma* se destaca como un gran estimulador del crecimiento de las plantas y una opción para reducir la dependencia en fertilizantes químicos (Cortés Hernández et al., 2023).

7.6.9 *Trichoderma asperellum* en la remediación de la fertilidad del suelo

Los impactos del cambio climático afectan directamente la agricultura, mientras que el calentamiento global genera consecuencias que perjudican la producción agrícola. La pérdida de materia orgánica en el suelo, causada por las altas temperaturas, representa uno de los retos para la fertilidad de la tierra. A su vez, el aumento de la temperatura y las lluvias alteran de manera desproporcionada las temporadas de cultivo. Por lo que, el uso de microorganismos y agentes quelantes como *Trichoderma* ofrece alternativas frente a los impactos adversos generados por las acciones humanas en diversos ámbitos, ya que ayuda en el proceso de mineralización de ciertos elementos y produce enzimas que descomponen la materia orgánica (Cortés Hernández et al., 2023).

7.7 Métodos de producción.

La elaboración semi-industrial e industrial de *Trichoderma* representa una opción tecnológica que resulta altamente eficaz tanto en términos de producción como de economía para conseguir biofungicidas de excelente calidad. Este procedimiento incluye métodos normalizados que controlan factores como la humedad, la temperatura y el movimiento de aire. Este último factor es especialmente crucial, ya que puede impactar positivamente en la cantidad y calidad de las esporas generadas (E, y otros, 2022).

Se conocen claramente las necesidades nutricionales de *Trichoderma* spp. Este organismo tiene la capacidad de descomponer sustratos complejos como el almidón, la pectina y la celulosa, entre otros, utilizándolos para su desarrollo, gracias a su extenso complejo enzimático, que incluye enzimas hidrolíticas como amilasas, pectinasas, celulasas y quitinasas, entre otras. De igual manera, *Trichoderma* utiliza como fuente de nitrógeno sustancias como aminoácidos, urea, nitritos, amoníaco y sulfato de amonio (E, y otros, 2022).

7.8 Sustratos para la producción.

Los sustratos utilizados para la producción de *Trichoderma asperellum*. constituyen un factor determinante en la eficiencia del crecimiento micelial, la esporulación y la viabilidad del inóculo, ya que proporcionan la fuente de carbono, nitrógeno y minerales necesarios para su desarrollo metabólico. Diversos estudios señalan que los sustratos orgánicos de origen agrícola e industrial, como granos y subproductos agroindustriales, favorecen la proliferación de este hongo debido a su alta disponibilidad de nutrientes y a su estructura física, que permite una adecuada aireación y retención de humedad. Asimismo, la selección del sustrato incide directamente en los costos de producción, la estabilidad del producto final y la adaptabilidad del biocontrolador a condiciones ambientales específicas, por lo que resulta fundamental evaluar alternativas locales y sostenibles que optimicen la producción de *Trichoderma* spp. bajo condiciones controladas (E, y otros, 2022).

7.8.1 Arroz.

El arroz es rico en nutrientes, exhibiendo los niveles más altos de ácidos fenólicos, flavonoides, actividad antioxidante, aminoácidos esenciales y nutrientes clave que incluyen cenizas, proteínas, grasas y fibra (Bunyatratchata et al., 2025) .

El arroz posee un alto contenido de carbohidratos en forma de almidón. Este macronutriente es uno de los componentes principales del arroz. El almidón se encuentra estructurado por dos componentes principales: amilopectina y amilosa. Las cadenas de amilopectina son más completas y sus características son diferentes a las de la amilosa, la misma que se encuentra estructurada de forma lineal (Mora & Pérez, 2019).

El contenido de proteínas del arroz va a depender del tipo de fraccionamiento durante la molienda que se realiza para su transformación y luego poder ser comercializado. El salvado de arroz es el que mayor porcentaje de proteína posee con un 11.3% y el que contiene en menor porcentaje es la cáscara de arroz con un 2.0%. Las proteínas del arroz se encuentran clasificadas en 4 grupos: glutelina, albúmina, prolamina y globulina, sin embargo, sólo posee dos de ellas en mayor proporción que son la prolamina y glutelina. Al tener menos cantidad de prolamina, se aumenta el contenido del aminoácido lisina, por tal motivo, el arroz junto con la avena son los dos cereales que poseen en mayor cantidad este aminoácido (Mora & Pérez, 2019).

Algunos cereales son fuentes principales de ciertas vitaminas, en el arroz las que más resaltan son las del grupo B tales como: B1 (tiamina), B2 (niacina), B3 (niacina), siendo la vitamina B1 la que posee en mayor cantidad y su contenido se encuentra principalmente en el pericarpio y

en la capa de aleurona con un 34%, el embrión con un 11% y finalmente en el endospermo con un 8%. Además, contiene otras vitaminas en pocas cantidades A, C y D (Mora & Pérez, 2019).

El porcentaje total de minerales que posee el arroz es de 1 a 1.5% encontrándose mayoritariamente en el salvado de arroz con un 51%, consecutivamente en la fracción de arroz molido existe un 28% y 10% en el germen. Estos minerales se ven afectados por los diversos procesos de transformación que se somete el arroz. Entre los minerales más comunes se encuentran el potasio y fósforo, además contiene en menores cantidades sodio y zinc. El contenido mineral en el arroz de mayor a menor cantidad se encuentra de la siguiente manera Mg, Ca, Mn, Zn, Fe, Se. En la capa externa del arroz se hallan especialmente P, Mg, Ca, Mn y Fe. Los dos minerales que están distribuidos de manera uniforme en el grano de arroz son el Zn y Se (Mora & Pérez, 2019).

7.8.2 Morochillo.

El maíz tiene varias propiedades morfológicas y nutricionales importantes, como el período de maduración, las características de la mazorca, la estructura del grano, el color del grano, la resistencia a plagas y enfermedades, al frío y al calor, el rendimiento y la composición nutricional (almidón, proteínas, grasas y minerales) (Ciftci et al., 2025).

Los contenidos dealmidón en grano de maíz amarillo son del orden de 63.2 % del cual el 15 % es de amilosa y el 48 % de amilopectina, 9.13 de % de proteína y 0.81 % de grasa (García-Pereyra et al., 2025).

7.8.3 Cebada.

El grano entero de cebada se compone de aproximadamente un 65-68 % de almidón, un 10-17 % de proteínas, un 4-9 % de β -glucano, un 2-3 % de lípidos libres y un 1,5-2,5 % de minerales. La fibra dietética total oscila entre el 11 % y el 34 % y la fibra dietética soluble entre el 3 % y el 20 %. El grano de cebada descascarillado contiene entre un 11 % y un 20 % de fibra dietética total, entre un 11 % y un 14 % de fibra dietética insoluble y entre un 3 % y un 10 % de fibra dietética soluble (Baik & Ullrich, 2008).

7.8.4 Trigo.

La composición del grano de trigo puede variar de acuerdo a la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes dependen de las especies de los trigos que influirán en sus propiedades nutritivas y funcionales. En general, el grano maduro

está compuesto por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales y agua, junto con trazas de vitaminas, enzimas y otras sustancias (Juárez & Bárcenas-Pozos, 2014).

El grano de trigo se compone principalmente de carbohidratos (70-75%), principalmente en forma de almidón, seguido de proteínas (10-15%), grasas (1-2%), vitaminas (como las vitaminas B), minerales (como hierro y magnesio), fibra (2-3%) y agua (10-15%) (Alomari et al., 2023).

El trigo es rico en oligosacáridos solubles, hemicelulosa, almidón y celulosa fácilmente accesible, que inducen la producción de enzimas como celulasas y proporcionan nutrientes disponibles para el crecimiento del hongo (Mulatu et al., 2021).

8 VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS

8.1 Hipótesis:

8.1.1 Hipótesis nula.

No existe diferencia significativa entre los sustratos arroz, morochillo, trigo y cebada en el crecimiento micelial y esporular de *Trichoderma asperellum*.

8.1.2 Hipótesis alternativa.

Existe diferencia significativa entre los sustratos arroz, morochillo, trigo y cebada en el crecimiento micelial y esporular de *Trichoderma asperellum*.

8.2 Validación:

La validación de esta hipótesis se realizó mediante análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey), lo cual permitió identificar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, confirmando que el tipo de sustrato influye directamente en la producción del hongo.

9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

9.1 Tipos de investigación

9.1.1 Investigación bibliográfica/documental

Este proceso implicó la búsqueda y recopilación de información bibliográfica existente, que abarca estudios científicos, libros, trabajos de grado y documentos relacionados con el tema de los biocontroladores. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de esta información, resaltando los aspectos más importantes y relevantes para la elaboración del proyecto de investigación. Esta técnica promueve la generación de nuevos conocimientos y apoya el avance de la investigación en cuestión.

9.1.2 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva permitió caracterizar el comportamiento de *Trichoderma* spp. en cada sustrato, observando el desarrollo micelial, la coloración de micelio y la formación de esporas. Este tipo de investigación posibilita describir fenómenos biológicos sin manipular sus variables fundamentales, proporcionando información base para estudios experimentales posteriores (Hernández-Sampieri et al., 2018).

9.2 Métodos de investigación

9.2.1 Cualitativo

La observación detallada del crecimiento del hongo, tanto el área micelial como esporular en cada uno de los sustratos, así como la diferenciación de las mismas nos permitió describir el color de cada fase de crecimiento del hongo.

9.2.2 Cuantitativo

Según los análisis estadísticos, se pudo describir la cuantificación del crecimiento micelial y esporular de *Trichoderma asperellum*. Este análisis permitió evaluar de manera precisa el mejor sustrato para la producción del agente biocontrolador.

9.3 Ubicación de la investigación

La presente investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache, está dentro del perímetro rural cantón Latacunga, ubicada al suroeste de la cabecera cantonal, junto a la E35 en el km 7,53 vía Salache a 2,870 msnm su temperatura media es de 13,6°C.



9.4 Materiales y reactivos

9.4.1 Materiales

- Cajas Petri (50 unidades)
- Papel absorbente (3 rollo)
- Papel aluminio (4 rollos)
- Mechero (3 unidad)
- Jeringuilla de 10ml (4 unidad)
- Agua destilada (50 litros)
- Guantes quirúrgicos (100 unidades)
- Papel film (30 metros)
- Puntas de micropipeta (100-200 μ L) 20
- Parafilm (1 rollo)
- Alcohol (70-96 %)
- Tubos de ensayo
- Fundas de celofan (100 unidades)
- Papel kraft (10 pliegos)
- Cinta masking (2 rollos)
- Cofias (100 unidades)
- Mascarillas (100 unidades)
- Cinta scotch
- Regla 30cm
- Cámara de Neubauer
- Cubre objetos.
- Molino
- Tamices (1-3 mm)
- Rotuladores adhesivos
- Sustratos 2kg (arroz, morochillo, trigo, cebada)
- Baldes (4 unidades)
- Balanza digital
- Bandeja plástica de pesar (4 unidades)
- Pinzas (4 unidas)
- Fosforera

- Tijera
- Palillos (100 unidades)
- Bisturí (10 unidades)

9.4.2 Reactivos

- PDA
- Alcohol al 96% (10 litros)
- Agua destilada (50 litros)
- Etanol (70%-96%)

9.5 Equipos utilizados en la investigación

- Autoclave (TUTTNAVER, 2540M)
- Incubadora (Binder BD56)
- Cámara de flujo laminar (BIOBASE, BBS-DDS / BBS-H1300)
- Microscopio (ZEISS Axiolab 5)
- Micropipetas (BOECO, M-200 y 100 µL)
- Balanza (BOECO BLC600)
- Computadora (hp corei3)

9.6 Preparación de medio de cultivo.

Se preparó 100mL de medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa) para determinar la cantidad de Agar necesario, se utiliza la siguiente fórmula tomando en cuenta un volumen aproximado de 20mL por caja Petri.

$$x = \frac{100\text{mL} \cdot 39\text{gr}}{1000\text{mL}} = 3.9\text{gr}$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes se pesó 3.9gr de medio de cultivo Agar PDA y se colocó en 100mL de agua destilada, se homogenizó y posteriormente se lo llevó a autoclavar por un tiempo de 45 minutos a 121°C. Adicional a esto se esterilizaron palillos de madera, pinzas y cajas Petri, una vez transcurrido el tiempo se retiraron los materiales del utoclave para dejarlos enfriar. Se desinfectó la cabina de flujo laminar con alcohol al 70% y se ingresaron los materiales no sensibles a UV como: palillos, mecheros con alcohol al 96%, pinzas y cajas Petri de 90x15mm previamente desinfectados con alcohol al 70% y se los dejó con luz UV por 15 minutos. Para concluir se dispensó el medio de cultivo en las cajas Petri y se dejó solidificar.

9.7 Reactivación y purificación de las cepas de *Trichoderma asperellum*.

9.7.1 Resiembra de las cepas de *Trichoderma asperellum*.

Para la resiembra de *Trichoderma asperellum*, se utilizó el protocolo de (Troya, s. f.), en donde se realizaron los siguientes pasos:

Se preparó la cámara de siembra y el mesón de trabajo. Se prepararon los materiales necesarios para realizar la siembra como: vaso de precipitado con alcohol de 90% (para desinfección de herramientas), tapa de una caja Petri de vidrio para apoyar las herramientas (bisturí), caja Petri con medio de cultivo PDA. Todo material que se ingresó al área de trabajo fue desinfectado (rociado) con alcohol de 90%. Se ingresó el material biológico a ser utilizado (cepa). Se retiró el film de la caja Petri que contiene la cepa y se flamearon los bordes. Con ayuda de un bisturí (flameado y enfriado), se cortó un cuadrado pequeño de (0.5 cm x 0.5 cm) en el medio de cultivo que contenía la cepa de (*Trichoderma asperellum*.) Se Colocó el inoculo (cuadrado) obtenido, en la caja Petri con el medio PDA nuevo. Una vez realizada la siembra, se tapó la caja Petri y se flameó nuevamente el borde y se selló la caja con film. Finalmente se incubó a 28°C durante 5

9.7.2 Preparación de *Trichoderma asperellum*.

Para la preparación de *Trichoderma asperellum*. se autoclavo 50mL de agua destilada y se dejó enfriar dentro de la cámara de flujo laminar. Con la ayuda de un bisturí se realizó el raspado de una caja completa de *Trichoderma asperellum*. previamente purificada y conservada. Se pesó en la balanza gramera toda la muestra que se obtuvo del raspado. Una vez pesado se agregó la muestra al frasco autoclavable que contiene los 50mL de agua destilada estéril. Agitamos el frasco con el fin de homogenizar correctamente la muestra. Con la ayuda de una micropimeta se tomó 10 μ l de la muestra ya homogenizada y se colocó en la cámara Neubauer para realizar el recuento de conidias.

9.8 Recuento de conidias

Para el recuento de conidias se utilizó la metodología de (E, y otros, 1997) donde nos indica que:

Para el recuento de esporas se utiliza la cámara de Neubauer. La cámara está dividida en 2 retículos y cada uno se subdivide en 9 cuadrados de 1 mm² cada uno, o sea que cada retículo tiene una superficie total de 9 mm². El cuadrado central aparece de nuevo subdividido en 25 cuadrantes y éstos en 16 cuadrantes más pequeños.

El volumen (V) en mm³ de cada uno de los cuadrantes es el siguiente:

Volumen = ancho x largo x profundidad.

$V = 1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0,1 = 0,1 \text{ mm}^3$ (Volumen del cuadrante en el cual se realiza el conteo de esporas).

El número de esporas se obtiene en ml, por tanto, se debe realizar la conversión de mm³ a ml, entonces:

$$\frac{1\text{ml} - 10^3\text{mm}^3}{x - 0,1\text{mm}^3} \times \frac{1\text{ml} \times 0,1 \text{ mm}^3}{10^3 \text{ mm}^3} = \frac{0,1 \text{ ml}}{10^3} = 0,1 \times 10^{-3}$$

$$x = 10^{-1} \times 10^{-3} = x \times 10^{-4} \text{ ml (Factor de la Cámara)}$$

9.9 Selección y preparación de sustratos

Para la selección y preparación de los sustratos se utilizó la metodología de (Mena, Aguilar, & Intriago, 2023) con ciertas modificaciones.

Se seleccionaron cuatro sustratos: arroz, morochillo, cebada y trigo. De cada uno se adquirieron 2 kg. Posteriormente, se procedió a la molienda utilizando un molino manual y, a continuación, el material obtenido fue tamizado utilizando mallas de 1 y 3 mm, con el propósito de lograr partículas de tamaño homogéneo. Una vez alcanzada la granulometría deseada, las muestras fueron sometidas a tres lavados para eliminar el almidón residual. Seguidamente, se dejaron en remojo durante una hora con el fin de conservar la humedad.

Con los sustratos ya listos, se pesaron 100 g para cada repetición y se colocaron en fundas de papel celofán, donde fueron distribuidos uniformemente para asegurar la misma área. Luego, las fundas se sellaron con cinta adhesiva; este procedimiento se repitió para todos los tratamientos. Posteriormente, los paquetes fueron recubiertos con papel kraft para evitar daños mecánicos. Finalmente, los sustratos se esterilizaron en autoclave durante 45 minutos a 121 °C y, una vez concluido el proceso, se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

9.10 Inoculación del hongo en los sustratos

Para la inoculación del hongo, los sustratos previamente autoclavados fueron trasladados a la cámara de flujo laminar. Posteriormente, con la ayuda de la aguja de una jeringa de 10 mL, se realizó un orificio en el centro de cada sustrato y, mediante una micropipeta, se inoculó la solución que contenía la cepa del hongo.

Una vez realizada la inoculación, el orificio fue sellado con cinta scotch a fin de prevenir posibles contaminaciones. Seguidamente, todos los tratamientos fueron rotulados de manera adecuada. Finalmente, los sustratos se colocaron en una estantería y se mantuvieron inmóviles durante los 20 días que duró el estudio.

9.11 Toma de datos

Para la toma de datos se utilizó una cuadrícula realizada en una hoja de acetato en la que se realizaron cuadros de 1cm^2 , la cual se colocó sobre las fundas con los sustratos y se realizó el conteo del área tanto esporular como micelial, tomando en cuenta que estas áreas se identifican por la coloración.

10 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

10.1 Análisis estadístico

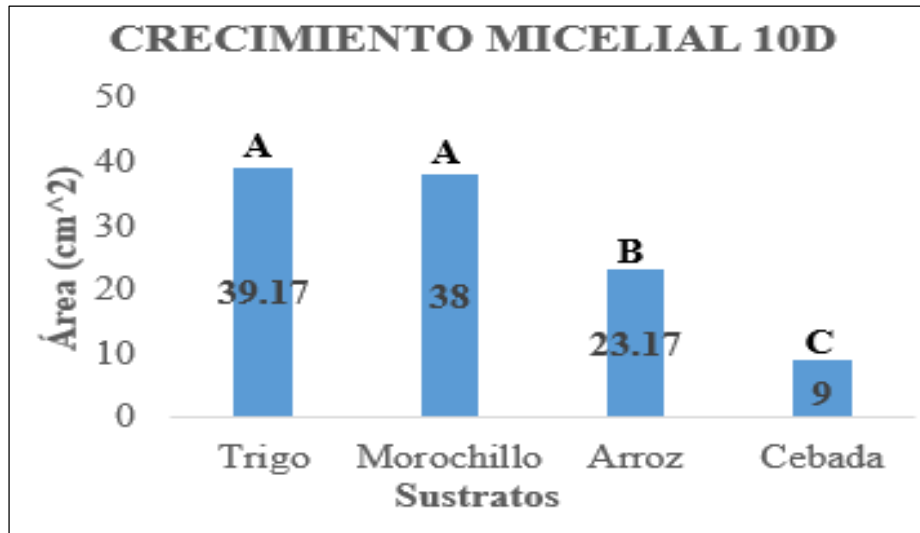
10.1.1 Micelio 10D

Tabla 3. Análisis de la Varianza crecimiento micelial 10D

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3652.5	8	456.56	77.09	<0,0001**
SUSTRATO	3643.67	3	1214.56	205.08	<0,0001**
REPETICIÓN	8.83	5	1.77	0.3	0.9063n.s
Error	88.83	15	5.92		
Total	3741.33	23			

Elaborado por: Sandoval, (2026).

En la tabla 3 el análisis de varianza evidencia que el modelo estadístico es altamente significativo ($F = 77,09$; $p < 0,0001$), lo que indica que los factores incluidos explican de manera adecuada la variabilidad observada en la variable de respuesta; en particular, el factor sustrato presentó un efecto altamente significativo ($F = 205,08$; $p < 0,0001$), demostrando la existencia de diferencias estadísticas entre los sustratos evaluados, mientras que el factor repetición no mostró significancia ($p = 0,9063$), lo cual sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una alta repetibilidad de los resultados; asimismo, el bajo valor del cuadrado medio del error ($CM = 5,92$) refleja una adecuada precisión del ensayo y un control apropiado de las fuentes de variación no explicadas por el modelo.



Gráfica 1. Test Tukey crecimiento micelial 10D

Elaborado por: Sandoval, (2026).

En el gráfico 1 se puede evidenciar la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$; DMS = 4,04947), la misma que permitió establecer tres grupos estadísticamente diferenciados. Los sustratos 4(trigo) y 2(morochillo) conformaron el grupo superior (A), con medias de $39,17\text{cm}^2$ y $38,00\text{cm}^2$ respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. El sustrato 1(arroz) se ubicó en un grupo intermedio (B), con un crecimiento promedio de $23,17\text{cm}^2$, mientras que el sustrato 3(cebada) presentó el menor desarrollo micelial (C), con una media de $9,00\text{cm}^2$. Este patrón indica una marcada influencia del tipo de sustrato sobre la velocidad y magnitud del crecimiento del micelio.

Los resultados obtenidos confirman que el sustrato constituye un factor crítico en el crecimiento micelial del hongo, ya que las diferencias observadas entre tratamientos fueron altamente significativas y consistentes. La superioridad de los sustratos 4 y 2 sugiere que estos proporcionan condiciones más favorables para el desarrollo vegetativo, posiblemente asociadas con una mayor disponibilidad de fuentes de carbono fácilmente asimilables y una relación carbono/nitrógeno más adecuada para la síntesis de biomasa fúngica. Diversos autores han señalado que la composición nutricional del sustrato influye directamente en la expansión micelial, al estimular la producción de enzimas hidrolíticas responsables de la degradación de polisacáridos como almidón, celulosa y hemicelulosa (Harman et al., 2004); (Druzhinina et al., 2011).

El comportamiento intermedio del sustrato 1 indica que, aunque permite el crecimiento del micelio, su composición sería menos óptima en comparación con los sustratos 4 y 2. Esto podría

estar relacionado con una menor disponibilidad de nutrientes esenciales o con características físicas desfavorables, como una menor porosidad o capacidad de retención de humedad, factores que influyen negativamente en la elongación hifal y en la colonización del medio (Papavizas, 1985).

Por otro lado, el bajo crecimiento observado en el sustrato 3 sugiere la presencia de limitaciones nutricionales importantes o de componentes estructurales de difícil degradación, como una alta proporción de lignina, lo cual reduce la eficiencia metabólica del hongo. Estudios previos han demostrado que residuos agrícolas con alto contenido lignocelulósico y baja fracción de compuestos solubles pueden restringir significativamente el crecimiento micelial, debido a la menor accesibilidad del carbono utilizable (Samuels, 2006).

10.1.2 Micelio 20D

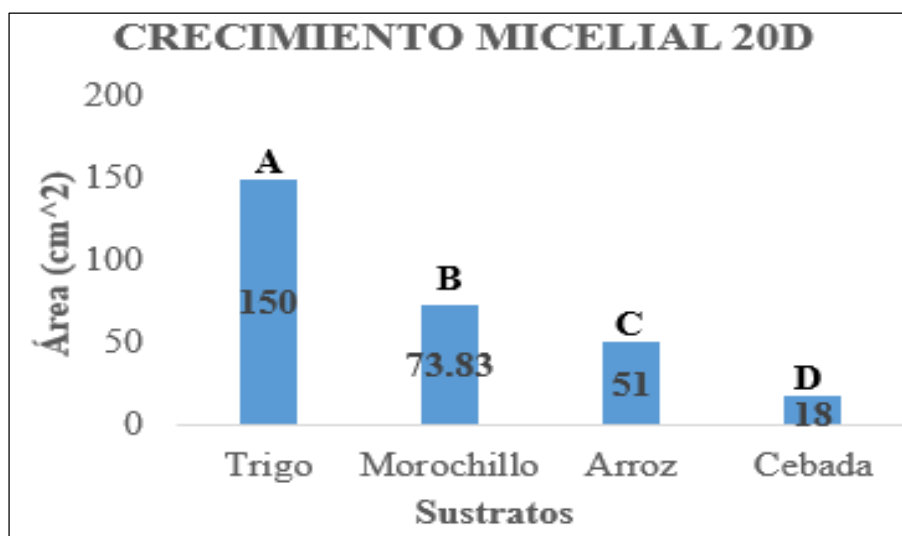
Tabla 4. Análisis de la Varianza crecimiento micelial 20D

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	57300.33	8	7162.54	45.07	<0,0001 **
SUSTRATO	56631.13	3	18877.04	118.79	<0,0001 **
REPETICIÓN	669.21	5	133.84	0.84	0.5405 n.s
Error	2383.63	15	158.91		
Total	59683.96	23			

CV% 8.9

Elaborado por: Sandoval, (2026).

En la tabla 4 el análisis de la varianza indica el crecimiento micelial a los 20 días, donde se puede evidenciar un efecto altamente significativo del tipo de sustrato sobre el desarrollo de *Trichoderma* ($p < 0,0001$), mientras que el factor repetición no mostró influencia estadística ($p = 0,5405$), lo que indica una adecuada homogeneidad experimental y buena reproducibilidad de los resultados.



Gráfica 2. Test Tukey crecimiento micelial 20D

Elaborado por: Sandoval, (2026).

El gráfico 2 del test de Tukey ($\alpha = 0,05$) permitió establecer una clara jerarquización entre tratamientos: el sustrato 4(trigo) presentó el mayor crecimiento micelial (150cm^2), diferenciándose estadísticamente de los demás; le siguieron el sustrato 2 morochillo ($73,83\text{cm}^2$), el sustrato 1 arroz (51cm^2) y finalmente el sustrato 3 cebada (18), con diferencias significativas entre todos los grupos ($A > B > C > D$). Este comportamiento sugiere que la composición fisicoquímica del sustrato es determinante para la colonización micelial de *Trichoderma*.

Desde el punto de vista fisiológico, *Trichoderma* es un hongo saprofito con elevada capacidad para secretar enzimas hidrolíticas (celulasas, hemicelulasas y amilasas), lo que le permite aprovechar eficientemente sustratos ricos en polisacáridos estructurales y no estructurales. En este contexto, el rendimiento superior del sustrato 4 puede atribuirse a una mayor disponibilidad de carbono fácilmente metabolizable y a una estructura física favorable para la aireación y retención de humedad, factores críticos para la expansión del micelio. Resultados similares fueron reportados por (Harman et al., 2004), quienes señalan que la tasa de crecimiento micelial de *Trichoderma* depende estrechamente del tipo de fuente carbonada y del equilibrio C/N del medio.

Asimismo, estudios de (Pandey et al., 2000) y (Sánchez, 2009) sobre fermentación en estado sólido confirman que los sustratos de origen cereal o con alto contenido de almidón favorecen el crecimiento micelial y la producción de biomasa fúngica, en comparación con matrices más lignificadas o pobres en nutrientes. Esto explicaría el bajo desempeño del sustrato 3, que

probablemente presenta menor accesibilidad de nutrientes o una estructura menos favorable para la colonización hifal.

El comportamiento intermedio de los sustratos 1 y 2 sugiere diferencias en su composición nutricional o granulometría, que concuerda con lo reportado por (Papavizas, 1985), quien destaca que la variación de los compuestos nutricionales del sustrato pueden generar cambios significativos en la velocidad de crecimiento de *Trichoderma* y en su potencial biocontrolador.

En términos aplicados, los resultados indican que el sustrato 4(Trigo) es el más adecuado para la producción de micelio de *Trichoderma* a los 20 días, lo que tiene implicaciones directas para procesos de multiplicación masiva del hongo con fines agrícolas o biotecnológicos. La marcada diferencia estadística entre tratamientos refuerza la necesidad de seleccionar cuidadosamente el sustrato en programas de producción de inoculantes fúngicos.

10.1.3 Esporas 10D

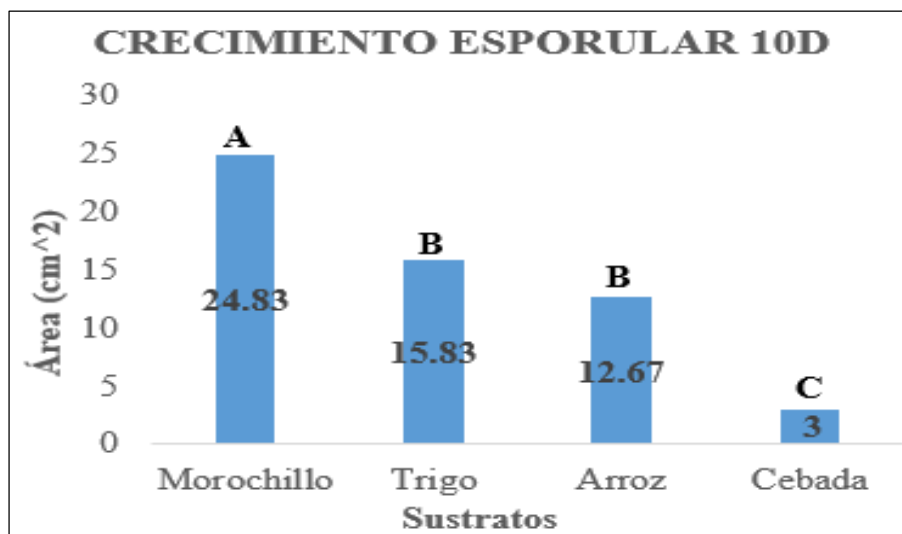
Tabla 5. *Análisis de la Varianza crecimiento esporular 10D*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1489.67	8	186.21	31.68	<0,0001 **
SUSTRATO	1460.83	3	486.94	82.84	<0,0001 **
REPETICIÓN	28.83	5	5.77	0.98	0.4609 n.s
Error	88.17	15	5.88		
Total	1577.83	23			

CV% 17.22

Elaborado por: Sandoval, (2026).

En la tabla 5 el análisis de la varianza indica el crecimiento esporular a los 10D, donde se evidencian diferencias altamente significativas en la variable evaluada en función del tipo de sustrato empleado ($F = 82,84$; $p < 0,0001$). En contraste, el factor repetición no presentó efecto significativo ($p = 0,4609$), lo que indica una adecuada homogeneidad experimental y sugiere que la variabilidad observada se atribuye principalmente a la naturaleza del sustrato y no a errores sistemáticos del ensayo.



Gráfica 3. Test Tukey crecimiento esporular 10D

Elaborado por: Sandoval, (2026).

El gráfico 3 del test de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$) permitió discriminar tres grupos estadísticamente distintos. El sustrato 2(morochillo) presentó la media más alta ($24,83\text{cm}^2$), ubicándose en el grupo A y mostrando un desempeño significativamente superior respecto a los demás tratamientos. Los sustratos 4(trigo) y 1(arroz) formaron un grupo intermedio (B), sin diferencias significativas entre sí ($15,83$ y $12,67\text{cm}^2$, respectivamente), mientras que el sustrato 3(cebada) exhibió el valor más bajo ($3,0$), conformando un grupo estadísticamente inferior (C).

Desde el punto de vista biológico, estos resultados son coherentes con la fisiología nutricional del género *Trichoderma*, el cual se caracteriza por su alta capacidad para colonizar sustratos ricos en carbohidratos fácilmente asimilables, especialmente polisacáridos como almidón y celulosa, así como por su eficiencia en la producción de enzimas hidrolíticas (celulasas, amilasas y xilanasas). El mayor rendimiento observado en el sustrato 2 sugiere que este presenta una composición química más favorable, probablemente con mayor disponibilidad de carbono utilizable y una relación C/N adecuada para la síntesis de biomasa fúngica.

Estudios previos han demostrado que sustratos basados en cereales o subproductos agroindustriales con alto contenido de almidón promueven un crecimiento micelial acelerado en especies de *Trichoderma*, debido a su rápida hidrólisis en azúcares simples (Harman et al., 2004); (Pandey et al., 2017). Asimismo, la baja respuesta registrada en el sustrato 3 podría explicarse por una menor biodisponibilidad de nutrientes o por la presencia de compuestos

estructurales recalcitrantes (lignina o hemicelulosas complejas), que limitan la colonización micelial en etapas tempranas del cultivo.

Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas entre repeticiones respalda la confiabilidad de los datos y sugiere que las condiciones de incubación (temperatura, humedad y asepsia) fueron adecuadamente controladas, reduciendo la variabilidad experimental. Esto concuerda con lo señalado por (Domsch et al., 2008), quienes indican que *Trichoderma* muestra patrones de crecimiento altamente reproducibles cuando se cultiva bajo condiciones estandarizadas.

En términos aplicados, los resultados confirman que la selección del sustrato constituye un factor crítico para la producción masiva de *Trichoderma*, ya sea con fines de biocontrol o formulación de bioinsumos. El uso de un sustrato con comportamiento similar al tratamiento 2 permitiría optimizar los rendimientos productivos y reducir costos de fermentación sólida, como lo han reportado autores que evaluaron residuos agrícolas como fuentes nutritivas para este hongo (Benítez et al., 2004); (Vinale et al., 2008).

10.1.4 Esporas 20D

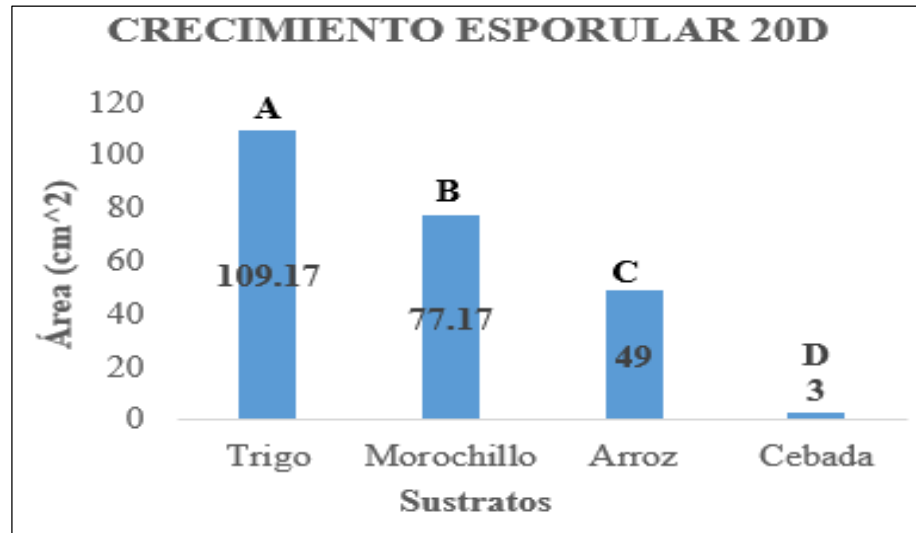
Tabla 6. *Análisis de la Varianza crecimiento esporular 20D*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36589.5	8	4573.69	384.7	<0,0001 **
SUSTRATO	36488.17	3	12162.72	1023.03	<0,0001 **
REPETICIÓN	101.33	5	20.27	1.7	0.1942 n.s
Error	178.33	15	11.89		
Total	36767.83	23			

CV% 5.79

Elaborado por: Sandoval, (2026).

En la tabla 6 el análisis de la varianza indica el crecimiento esporular a los 20 días, donde se evidencia que el tipo de sustrato ejerce un efecto altamente significativo sobre la producción de esporas de *Trichoderma* ($F = 1023,03$; $p < 0,0001$), mientras que el factor repetición no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,1942$). Esto indica una adecuada homogeneidad experimental y confirma que la variación observada en la esporulación se atribuye fundamentalmente a la naturaleza del sustrato empleado. El bajo valor del error experimental ($CM = 11,89$) respalda además la precisión de las mediciones obtenidas.



Gráfica 4. Test Tukey crecimiento esporular 20D

Elaborado por: Sandoval, (2026).

El gráfico 4 de la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$) permitió establecer cuatro grupos estadísticamente diferenciados. El sustrato 4(trigo) presentó la mayor media de esporulación ($109,17\text{cm}^2$), constituyéndose en el medio más favorable para la formación de conidios, seguido por el sustrato 2 morochillo ($77,17\text{cm}^2$), el sustrato 1 ($49,00\text{cm}^2$) y, finalmente, el sustrato 3 arroz ($3,00\text{cm}^2$), el cual mostró un desempeño marcadamente inferior. Este patrón sugiere que el sustrato 4(trigo) proporciona condiciones nutricionales y fisicoquímicas óptimas para el metabolismo secundario asociado a la producción de conidias, tales como una relación adecuada carbono/nitrógeno, mayor disponibilidad de carbohidratos complejos y una estructura física que favorece la aireación del micelio.

Diversos estudios señalan que la esporulación en *Trichoderma* está fuertemente influenciada por la composición del sustrato, particularmente por la presencia de polisacáridos como almidón y celulosa, que actúan como fuentes energéticas durante las fases avanzadas del crecimiento fúngico (Pandey et al., 2000); (Harman et al., 2004). Asimismo, materiales ricos en almidón como cereales y subproductos agrícolas— han demostrado estimular significativamente la producción de conidios frente a sustratos con bajo contenido de carbono disponible (Kumar & Sahu, 2014). En este contexto, el comportamiento del sustrato 4 podría asociarse a un mayor contenido de nutrientes fácilmente asimilables y a una mejor retención de humedad, factores críticos para la esporulación masiva.

El bajo rendimiento observado en el sustrato 3 puede explicarse por una limitada disponibilidad de nutrientes o por características estructurales desfavorables, como compactación excesiva o

deficiente oxigenación, las cuales restringen la diferenciación conidial. La aireación y la porosidad del sustrato son determinantes clave en la producción de esporas de hongos filamentosos, ya que influyen directamente en la respiración y en la regulación de la humedad del micelio (Sala et al., 2024).

En términos aplicados, estos resultados poseen implicaciones relevantes para la producción masiva de *Trichoderma* con fines de control biológico. La identificación del sustrato 4 como el más eficiente para la esporulación a los 20 días sugiere su potencial como medio base para formulaciones comerciales, al permitir obtener altas concentraciones de inóculo en menor tiempo. Esto coincide con lo reportado por Harman et al. (2010), quienes destacan que la selección adecuada del sustrato constituye un factor crítico para optimizar la calidad y viabilidad de bioinsumos basados en *Trichoderma*.

En conjunto, la evidencia estadística y biológica respalda que el sustrato es un factor determinante en la esporulación de *Trichoderma*, y que su optimización permite maximizar la eficiencia productiva del hongo. Por tanto, los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que los sustratos con mayor disponibilidad de carbono y mejor estructura física promueven significativamente la formación de esporas, lo cual resulta fundamental para su aplicación en programas de manejo biológico de fitopatógenos.

11 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

Los efectos generados en los sectores técnico, social, ambiental y económico son los siguientes:

11.1 Técnicos

El proyecto aporta a la estandarización de un método eficiente para la producción de *Trichoderma asperellum* bajo condiciones controladas, al identificar al trigo como el sustrato más adecuado para maximizar el crecimiento micelial y la esporulación, lo que facilita su aplicación en procesos de producción de bioinsumos.

11.2 Sociales

La investigación genera un impacto social positivo al promover el uso de *Trichoderma asperellum* como alternativa biológica al empleo de fungicidas químicos, contribuyendo a la protección de la salud de los productores agrícolas y de los consumidores. Asimismo, fortalece las capacidades técnicas de estudiantes, profesionales y pequeños agricultores al proporcionar información científica sobre la producción de biocontroladores a partir de sustratos locales,

favoreciendo la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y el desarrollo de emprendimientos vinculados a la producción orgánica.

11.3 Ambientales

Desde el ámbito ambiental, el proyecto contribuye a la reducción de la contaminación del suelo y del agua al disminuir la dependencia de agroquímicos sintéticos, promoviendo el uso de microorganismos benéficos en los sistemas agrícolas. El empleo de sustratos de origen vegetal para la producción del hongo favorece el aprovechamiento racional de recursos locales y el mantenimiento del equilibrio microbiológico del suelo, lo que permite fortalecer la biodiversidad edáfica y apoyar los principios de la agricultura sostenible.

11.4 Económicos

El impacto económico se refleja en la disminución de los costos de producción agrícola mediante la elaboración local de bioinsumos a partir de sustratos accesibles y de bajo costo, lo que reduce la dependencia de productos comerciales importados. La identificación del trigo como el sustrato más eficiente para la producción de *Trichoderma asperellum* optimiza los procesos productivos, mejora la eficiencia del biocontrolador y contribuye a reducir las pérdidas ocasionadas por enfermedades del suelo, incrementando potencialmente la rentabilidad de los sistemas agrícolas y generando oportunidades para emprendimientos locales.

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- Se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el crecimiento micelial y la esporulación entre los sustratos evaluados. El sustrato de trigo (sustrato 4) mostró el mejor desempeño en la mayoría de las variables medidas, seguido por el morochillo (sustrato 2). El arroz (sustrato 1) presentó un rendimiento intermedio, mientras que la cebada (sustrato 3) registró los valores más bajos en todas las evaluaciones.
- El trigo se identificó como el sustrato más adecuado para la producción de *Trichoderma asperellum*. bajo condiciones controladas, debido a su composición nutricional rica en carbohidratos complejos, que favorece el crecimiento micelial rápido y una alta esporulación. El morochillo también resultó ser una opción viable, aunque con un rendimiento ligeramente inferior

12.2 Recomendaciones

- Realizar estudios complementarios para determinar las condiciones óptimas de humedad, temperatura y tiempo de incubación para cada sustrato, con el fin de maximizar la producción de conidias y la viabilidad del inóculo.
- Explorar combinaciones de sustratos (ej. trigo-morochillo) para evaluar asociaciones que puedan mejorar aún más la eficiencia productiva.
- Profundizar en el análisis bioquímico de los sustratos (contenido de carbono, nitrógeno, enzimas hidrolíticas) para entender mejor los mecanismos que explican las diferencias observadas en el crecimiento de *Trichoderma asperellum*.

13 Bibliografía

- Alomari, D. Z., Schierenbeck, M., Alqudah, A. M., Alqahtani, M. D., Wagner, S., Rolletschek, H., Borisjuk, L., & Röder, M. S. (2023). Wheat Grains as a Sustainable Source of Protein for Health. *Nutrients*, *15*(20), 4398. <https://doi.org/10.3390/nu15204398>
- Baik, B.-K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, *48*(2), 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>
- Benítez, T., M., A., M., R., Limón, C., C., A., & Codón. (2004, junio 8). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *INTERNATIONAL MICROBIOLOGY*, *7*:249-260.
- Bunyatratkata, A., Chumroenphat, T., Taesuk, N., & Siriamornpun, S. (2025). Nutritional composition and bioactive profiles of green rice and its milling fractions: Potential ingredients for functional food development. *LWT*, *236*, 118661. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118661>
- Çakmakçı, R., Salık, M. A., & Çakmakçı, S. (2023). Assessment and Principles of Environmentally Sustainable Food and Agriculture Systems. *Agriculture*, *13*(5), 1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051073>
- Chulze, S. N. (2023). Agentes de control biológico de origen microbiano para reducir el impacto de hongos patógenos y toxicogénicos. *Revista Argentina de Microbiología*, *55*(1), 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.02.001>
- Ciftci, B., Varol, I. S., Kaymaz, E., Saylak, S., & Kaplan, M. (2025). Assessment of Biochemical Composition, Mineral Content, and Fatty Acid Profile in Maize (*Zea mays*)

- Cultivars Under Water Stress and Excessive Water Using Biplot Analysis. *Foods*, 14(8), 1432. <https://doi.org/10.3390/foods14081432>
- Cortés Hernández, F. D. C., Alvarado Castillo, G., & Sanchez Viveros, G. (2023). Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: Una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 62-76. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- de Marchese, A. M., & Filippone, M. P. (s. f.). *Bioinsumos: Componentes claves de una agricultura sostenible*.
- Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. (2008). Compendium of Soil Fungi - by K.H. Domsch, W. Gams & T.-H. Anderson,. *European Journal of Soil Science*, 59(5), 1007-1007. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01052_1.x
- Druzhinina, I. S., Seidl-Seiboth, V., Herrera-Estrella, A., Horwitz, B. A., Kenerley, C. M., Monte, E., Mukherjee, P. K., Zeilinger, S., Grigoriev, I. V., & Kubicek, C. P. (2011). Trichoderma: The genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 9(10), 749-759. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2637>
- E, F., G, H., X, O., P, J., M, T., H, G., . . . D, C. (2022). Producción de Trichoderma spp, en diferentes sustratos. *Revista Estudiantil AGRO –VET.*, 220–224.
- E, P., A, V., J, F., F, P., M, P. M., G, M. T., . . . P., Á. E. (1997). *TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE FORMULACIONES DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS*. Chinchiná-Caldas-Colombia: CENICAFÉ.
- Farah, A. (2025). “*CARACTERIZACIÓN DE LA CEPA Trichoderma. AISLADA DEL BARRIO LA BANDA PARROQUIA ALÓAG DEL CANTÓN MEJÍA Y SU POTENCIAL INHIBITORIO SOBRE DOS PATÓGENOS*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a836b686-1200-416d-a949-d25456b406a1/content>
- García-Pereyra, J., González- Villarreal, S. E., García- Montelongo, M., García-Montelongo, A. M., & Martínez- Ayala, F. N. (2025). Análisis nutrimental del grano de maíz amarillo para su uso en la alimentación animal. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(5), 10001-10013. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20308

- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species— Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Higa, T. (s. f.). *MICROORGANISMOS BENÉFICOS Y EFECTIVOS PARA UNA AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE SOSTENIBLE*.
- Juárez, Z. N., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2014). *El grano de trigo: Características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento*.
- Kumar, A., & Sahu, T. (2014). Studies on substrate evaluation for mass multiplication of Trichoderma spp. And their plant growth promotion activity in tomato. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PLANT PROTECTION*, 7(2), 382-388. <https://doi.org/10.15740/HAS/IJPP/7.2/382-388>
- Mena, H. C., Aguilar, E. E., & Intriago, L. M. (2023). Efecto de sustratos orgánicos y porcentaje de humedad en la producción de conidios de Trichoderma SPP . *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 306-319 .
- Melgarejo, V., & Bautista, S. (2019). *Agroecology: From agroecosystems to sustainable agroecosystems*.
- Mora, A., & Pérez, J. (2019). *Calidad Nutricional del Arroz en sus diversos procesos de transformación [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51721/1/T-109997.pdf>
- Mulatu, A., Alemu, T., Megersa, N., & Vetukuri, R. R. (2021). Optimization of Culture Conditions and Production of Bio-Fungicides from Trichoderma Species under Solid-State Fermentation Using Mathematical Modeling. *Microorganisms*, 9(8), 1675. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081675>
- Pandey, A., Negi, S., & Soccol, C. R. (2017). *Current developments in biotechnology and bioengineering: Production, isolation and purification of industrial products*. Elsevier.
- Pandey, A., Soccol, C. R., & Mitchell, D. (2000). New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products. *Process Biochemistry*, 35(10), 1153-1169. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00152-7)
- Papavizas, G. C. (1985). *Trichoderma and Gliocladium: Biology, Ecology, and Potential for Biocontrol*. 23-54.

- Sala, A., Artola, A., Barrena, R., & Sánchez, A. (2024). Harnessing Packed-Bed Bioreactors' Potential in Solid-State Fermentation: The Case of *Beauveria bassiana* Conidia Production. *Fermentation*, *10*(9), 481. <https://doi.org/10.3390/fermentation10090481>
- Samuels, G. J. (2006). *Trichoderma*: Systematics, the Sexual State, and Ecology. *Phytopathology*®, *96*(2), 195-206. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0195>
- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, *27*(2), 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>
- Troya, I. C. (s. f.). *COOPERACIÓN ENTRE LOS PLANTSPHERE LABORATORIES Y LOS LABORATORIOS ARTESANALES IMPLEMENTADOS POR EL MAGAP EN 13 PROVINCIAS DEL ECUADOR*.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). Trichoderma–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>