



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

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

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE *Trichoderma harzianum*
COMO AGENTE DE BIOCONTROL CONTRA *Magnaporthe*
oryzae DEL ARROZ, A NIVEL *IN VITRO***

**AUTOR
MOREIRA SALVATIERRA LOYDA MEXZALINA**

**TUTOR
GAVIN MOYANO CESAR STALIN**

**MILAGRO, ECUADOR
2026**



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE *Trichoderma harzianum* COMO AGENTE DE BIOCONTROL CONTRA *Magnaporthe oryzae* DEL ARROZ, A NIVEL *IN VITRO*” realizado por la estudiante MOREIRA SALVATIERRA LOYDA MEXZALINA; con cédula de identidad N° 0944256981 de la carrera AGRONOMÍA, Ciudad Universitaria Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. GAVIN MOYANO CESAR, M.Sc
TUTOR

Milagro, 22 de abril del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE *Trichoderma harzianum* COMO AGENTE DE BIOCONTROL CONTRA *Magnaporthe oryzae* DEL ARROZ, A NIVEL *IN VITRO*", realizado por la estudiante MOREIRA SALVATIERRA LOYDA MEXZALINA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ph.D FREDDY GAVILANEZ LUNA
PRESIDENTE

Ph.D MORAN BAJAÑA JOAQUIN
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. GUIRACOCHA FREIRE GINIVAI, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Milagro, 22 de abril del 2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y por darme la sabiduría para no rendirme en los momentos en los que pensaba que ya no podía.

A mi familia, por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser el motor que me impulsa a seguir adelante.

A mi hermana, Génesis Moreira quien, aunque ya no está físicamente, vive siempre en mi corazón y ha sido una inspiración constante para alcanzar este logro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi formación académica.

A mis padres, Freddy Moreira y Rocio Salvatierra, mis hermanos, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor motivación para seguir adelante incluso en los momentos difíciles.

A mi tutor, el Ingeniero Cesar Gavín por su acompañamiento y orientación durante el desarrollo de este trabajo.

De manera especial, expreso mi sincero agradecimiento al Ingeniero Joaquín Morán, por su guía, disposición y apoyo brindado a lo largo de esta investigación.

A mis profesores, quienes de una u otra manera aportaron a mi formación académica y personal a lo largo de este proceso.

A mis amigas, quienes estuvieron a mi lado durante todo este proceso, brindándome su apoyo, ánimo y compañía en los momentos de estrés y cansancio; su presencia fue clave para no rendirme.

A mis primas, Kelly, Solange por su cariño, sus palabras de aliento y por acompañarme de una u otra manera en este camino.

A todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de esta tesis, mi más sincero agradecimiento

AUTORIZACIÓN DE AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, MOREIRA SALVATIERRA LOYDA MEXZALINA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE *Trichoderma harzianum* COMO AGENTE DE BIOCONTROL CONTRA *Magnaporthe oryzae* DEL ARROZ, A NIVEL *IN VITRO*” para optar el título de Ingeniero Agrónomo, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

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

Milagro, 22 de abril del 2026

MOREIRA SALVATIERRA LOYDA MEXZALINA
C.I. 0944256981

RESUMEN

La pyriculariosis, que es causada por *Magnaporthe oryzae*, conforma una de las enfermedades que más limita el cultivo del arroz, puesto que deja pérdidas económicas visibles y una alta dependencia del uso de fungicidas químicas para que esta enfermedad pueda ser controlada.

Bajo este enfoque, el uso de microorganismos antagonistas como lo es *Trichoderma harzianum* el cual ha sido en gran manera analizado dentro del manejo fitosanitario, por su eficiente manera de inhibir patógenos a través de competencia, micoparasitismo y su producción de metabolitos antifúngicos. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial de *T. harzianum* como agente de biocontrol frente a *M. oryzae* en condiciones de laboratorio de manera in vitro. El estudio se desarrolló bajo un DCA (Diseño completamente al azar, mediante confrontaciones directas en medios PDA, para poder así evaluar el crecimiento radial del patógeno, el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial y el desarrollo del halo de inhibición. Los valores obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y prueba de Tukey al 5% de significancia. Los resultados indicaron una reducción significativa del crecimiento de *M. oryzae* cuando estaba en presencia del antagonista en relación con el testigo, aunque no se identificaron diferencias estadísticas entre las concentraciones que se evaluaron. Se determina que *T. harzianum* presenta potencial como alternativa biológica para el control y manejo de la enfermedad bajo condiciones de laboratorio.

Palabras claves: micoparasitismo, antagonista, biocontrol, inhibición, confrontación

ABSTRACT

Rice blast, caused by *Magnaporthe oryzae*, is one of the diseases that most limits rice cultivation, since it causes significant economic losses and leads to a high dependence on chemical fungicides for its control. Under this approach, the use of antagonistic microorganisms such as *Trichoderma harzianum* has been widely studied within phytosanitary management due to its effective ability to inhibit pathogens through competition, mycoparasitism, and the production of antifungal metabolites. The objective of this research was to evaluate the potential of *T. harzianum* as a biological control agent against *M. oryzae* under in vitro laboratory conditions. The study was conducted under a Completely Randomized Design (CRD), using direct confrontation on PDA medium to evaluate radial growth of the pathogen, percentage of mycelial growth inhibition, and inhibition halo development. The obtained data were analyzed using analysis of variance and Tukey's test at a 5% significance level. Results showed a significant reduction in the growth of *M. oryzae* in the presence of the antagonist compared to the control, although no statistical differences were observed among the evaluated concentrations. It was determined that *T. harzianum* presents potential as a biological alternative for the control and management of the disease under laboratory conditions.

Keywords: *mycoparasitism, antagonist, biological control, inhibition, confrontation.*

Índice general

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
Índice general.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.3 Justificación de la investigación.....	16
1.4 Delimitación de la investigación.....	17
1.5 Objetivo general.....	18
1.6 Objetivos específicos.....	18
1.7. Hipótesis.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Estado del arte.....	19
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática.....	21
2.3 Marco legal.....	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.2 Metodología.....	32
4. RESULTADOS.....	38
5. DISCUSIÓN.....	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
6.1. Conclusiones.....	44
6.2. Recomendaciones.....	45
7. BIBLIOGRAFÍA.....	46
8. ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos de antagonismo de <i>M. oryzae</i> vs. <i>T. harzianum</i> bajo estudio.....	33
Tabla 2. Análisis de varianza del experimento.....	37
Tabla 3. resultado de crecimiento radial de <i>T. hazianum</i> vs <i>M. oryzae</i>	38
Tabla 4. Resultado de crecimiento Índice de inhibición radial de <i>T. harzianum</i> enfrentado con <i>T. harzianum</i> (%)......	39
Tabla 5. Colonización de <i>T.harzianum</i> (%)......	39
Tabla 6. Resultados del micoparasitismo.....	40
Tabla7. resultados del Halo de inhibición.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Base de datos de resultados	52
ANEXO 2. Análisis de crecimiento radial.....	53
ANEXO 3. Análisis de crecimiento radial	53
ANEXO 4. Área de Recolección del material vegetativo.....	56
ANEXO 5. Recolección de material vegetativo, <i>Magnaporthe oryzae</i>	57
ANEXO 6. Material vegetal recolectado	57
ANEXO 7. Desinfección del material vegetal.....	58
ANEXO 8. Preparación del medio PDA.....	58
ANEXO 9. Vertido del medio en placas Petri estériles	59
ANEXO 10. Aislamiento del material vegetativo	59
ANEXO 11. Siembra del material vegetativo	60
ANEXO 12. Crecimiento inicial del patógeno.....	60
ANEXO 13. Observación del patógeno bajo microscopio	61
ANEXO 14. Aislamiento del patógeno (<i>Magnaporthe oryzae</i>).....	61
ANEXO 15. Cultivo de <i>Trichoderma Harzianum</i>	62
ANEXO 16. Siembra dual de los hongos.....	62
ANEXO 17. Competencia entre los hongos.....	63
ANEXO 18. Observación técnica del tutor en laboratorio	63
ANEXO 19. Observación de competencia de hongos	64
ANEXO 20. Efecto antagonista <i>T. harzianum</i> frente a <i>M. oryzae</i>	64
ANEXO 21. Observación microscópica de colonias.....	65
ANEXO 22. Evaluación del crecimiento del antagonista.....	65
ANEXO 23. Registro de tratamientos.....	66

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) es vital para garantizar el acceso y la disponibilidad de alimentos nutritivos a nivel global, aunque su producción puede disminuir drásticamente hasta un 90%, esto sucede cuando enfrenta infecciones de pyriculariosis, que son ocasionadas por *Magnaporthe oryzae* bajo condiciones climáticas propicias (Suddal et al, 2024). El rendimiento de fungicidas químicos convencionales se ha visto afectado por la creciente resistencia del patógeno y los impactos adversos en el medio ambiente (Yin et al, 2023).

Ante esta situación *Trichoderma harzianum* ha ganado relevancia recientemente como un eficaz agente de biocontrol. Este hongo cuenta con varios mecanismos de acción, así como la competencia por nutrientes y espacio, además de desarrollo de metabolitos volátiles (VOCs) y no volátiles (nVOCs) y la capacidad de micoparasitismo directo sobre las hifas de los patógenos (Hernández et al, 2026).

Investigaciones de laboratorio recientes destacan su eficacia específica contra *M. oryzae*. En Mali, se estudiaron tres cepas de *T. harzianum* (S31, S32, S33) que lograron coeficientes de antagonismo de 0.55, 0.71 y 0.78, respectivamente, evidenciando una clara actividad micoparasítica (Traoré A., 2022). En Congo, cepas como Ts7B1 y Ts80 lograron inhibir entre el 60% y el 69% del crecimiento micelial de *M. oryzae* en cultivo dual (Adoyo et al, 2025). Asimismo, en el laboratorio, la cepa THR 4 demostró hasta un 92% de inhibición en placas PDA (Nazifa et al, 2021).

Existen documentaciones sólidas en cuanto a los mecanismos moleculares involucrados: *T. harzianum* produce enzimas proteolíticas, tales como glucanasas y quitinasas, junto con compuestos bioactivos secundarios como peptaiboles y sideróforos, que afectan la integridad de la pared celular y limitan su crecimiento (Martínez et al, 2021)

Además, estudios de transcriptómica han identificado genes específicos relacionados con el micoparasitismo, la regulación de las enzimas hidrolíticas y la síntesis de metabolitos antifúngicos, analizando la variabilidad en la eficacia entre diferentes cepas (Wang et al, 2023).

Por otro lado, *T. harzianum* ha mostrado capacidad de suprimir en condiciones in vitro, hasta un 83% de patógenos como *Fusarium oxysporum* y *Alternaria* spp, gracias a su combinación de micoparasitismo y competencia por nutrientes, en entornos de invernadero su aplicación redujo la intensidad del blast del arroz en aproximadamente un 27% respaldando su efectividad más allá del entorno de laboratorio (Patiño et al, 2024).

Los estudios previos establecieron una base robusta para esta investigación, enfocada en la evaluación in vitro de *T. harzianum* como un agente de biocontrol contra *M. oryzae*, observando el efecto antagonista mediante confrontaciones en placas PDA, analizando así la inhibición del crecimiento micelial y describiendo los mecanismos de acción correspondientes.

1.1. Antecedentes del problema

El arroz es reconocido como uno de los cultivos más esenciales a nivel mundial, sin embargo, su producción está constantemente amenazada por diversos riesgos, especialmente por enfermedades fúngicas nocivas. Entre estas, el añublo del arroz, causada por el hongo *M. oryzae*, que se destaca por generar pérdidas considerables en la cosecha (Traoré, 2022). Esta enfermedad ha demostrado una notable capacidad de adaptación y resistencia en varias regiones de Asia y América Latina, afectando en diferentes etapas fenológicas de la planta, generando lesiones en hojas, nudos y panículas, lo que hace que se reduzca significativamente el rendimiento y la calidad del grano.

A pesar del uso generalizado de fungicidas químicos, estos no proporcionan un control a largo plazo y presentan efectos negativos sobre el medio ambiente, además de la posibilidad de que los patógenos desarrollen resistencia. Estudios recientes indican que, aunque estos fungicidas químicos disminuyen significativamente la severidad del añublo, no logran eliminar su incidencia por completo y su eficacia depende de dosis elevadas y de ciertas condiciones climáticas (Pérez et al, 2022).

De igual manera hongos como *Rhizotocnia solani* y *Derchlera oryzae*, responsables de pudrición de raíz y la mancha parda, respectivamente, constituyen nuevas amenazas para los cultivos, en especial en zonas donde se practica el cultivo de arroz de secano. Al igual que *M. oryzae*, estos patógenos son conocidos por su rápida colonización de los tejidos vegetales y su alta capacidad de dispersión, lo que agrava las pérdidas en las cosechas y pone en riesgo la seguridad alimentaria (Castañeda et al, 2024).

Además, estudios recientes sugieren que el manejo de estas enfermedades se ve obstaculizado por la carencia de estrategias integradas que se adaptan a cada agroecosistema. La formulación, persistencia del inoculo y la colonización efectiva de la rizosfera o el follaje por agentes biológicos continúan siendo retos desafiantes, especialmente en climas variables o en suelos con condiciones subóptimas (García, 2024).

1.2. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

En las plantaciones donde se cultiva arroz, una de las principales dificultades que limita la capacidad de obtener altos rendimientos es la aparición de infecciones causadas por hongos que afectan tanto la cantidad como la calidad del grano de manera significativa. Entre estas infecciones la más perjudicial es la provocada por el hongo *M. oryzae* que causa la enfermedad conocida como *Pyricularia* o quemado del arroz. Esta enfermedad puede ocasionar pérdidas promedias del 10% al 30% del rendimiento anual, e incluso puede generar pérdidas totales, en situaciones donde las condiciones ambientales son propicias para su expansión (Tan et al, 2023)

El patógeno impacta diversas partes de la planta, incluyendo tanto las hojas como espigas, lo que interfiere directamente en el proceso fotosintético y en la maduración del arroz (Merchán, 2023). Cabe recalcar que esta enfermedad se puede encontrar en más de 100 países que producen arroz, lo que la convierte en una amenaza muy importante a nivel mundial para la seguridad alimentaria, especialmente en regiones donde este cultivo se considera un alimento principal para la mayoría de las personas (Deng, y otros, 2024).

La aplicación masiva de fungicidas sintéticos ha sido una táctica habitual para enfrentar estas infecciones, sin embargo, esta práctica ha generado varios problemas, como la resistencia que los patógenos han desarrollado, la contaminación del entorno y una amenaza para la salud de la población. A pesar de los esfuerzos por controlar la enfermedad, en muchas áreas productoras de arroz se sigue observando una alta incidencia y gravedad de la *Pyricularia*, lo cual perjudica la viabilidad sostenible a largo plazo de la producción.

En este contexto, el control biológico con microorganismos antagonistas una opción prometedora, entre estos microorganismos se encuentra el *T. harzianum* el cual es reconocido por su capacidad antagonista para diversos patógenos mediante mecanismos como el micoparasitismo, producción de compuestos y la competencia por espacio y nutrientes (Pedrozo et al, 2025)

1.1.2 Formulación del problema

¿Qué impacto tiene *T. harzianum* en el crecimiento y desarrollo de *M. oryzae* en arroz, bajo condiciones a nivel in vitro?

1.3. Justificación de la investigación

La investigación actual busca brindar una solución sustentable a la problemática fitopatológica provocada por *M. oryzae*, un hongo que es capaz de producir la enfermedad conocida como (quemado del arroz) o pyriculariosis. En esta investigación, se propone evaluar el potencial del *T. harzianum* como agente biocontrol frente al patógeno que en este caso es *M. oryzae*, en condiciones in vitro.

En esta circunstancia, es de suma importancia recalcar que en los últimos años el uso de microorganismos antagonistas ha adquirido mayor relevancia dentro del contexto de manejo fitosanitario en los cultivos, debido a que es una estrategia más llevadera con el medio ambiente y compatible en prácticas agrícolas sostenibles. Entre los microorganismos utilizados se encuentran especies del género *Trichoderma*, los cuales han sido ampliamente investigados por la capacidad que tiene de limitar o detener el desarrollo de distintos hongos fitopatógenos. Por esto, analizar el efecto de *T. harzianum* sobre el desarrollo de *M. oryzae*, nos permitió desarrollar información que sirva para analizar mejor la interacción entre microorganismos y su posible aplicación en el manejo biológico para las enfermedades del cultivo de arroz.

De esta forma, los resultados de esta investigación se espera que puedan ser de ayuda como base para el desarrollo de estrategias de manejo fitosanitario más sostenibles, y así se promueva el uso de métodos de control biológico para que se logre obtener una producción agrícola más responsable con el medio ambiente y la salud humana.

1.4. Delimitación de la investigación

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de biotecnología de la Universidad Agraria del Ecuador, extensión Milagro.

El lapso de tiempo en desarrollarse la investigación fue de tres meses empezando en el mes de octubre del 2025. La población de estudio fue constituida por cepas de hongos, en este caso (antagonista, *T. harzianum* y fitopatógeno, *M. oryzae*), las cuales fueron cultivadas y manipuladas en el laboratorio de biotecnología ya antes mencionado.

Los resultados se dirigirán a productores de arroz, investigadores y estudiantes del sector agrícola que estén interesados en el uso de las herramientas biológicas para el manejo fitosanitario sostenible en la agricultura.

1.5. Objetivo general

Evaluar el potencial de *T. harzianum* como agente de biocontrol de *M. oryzae* en condiciones in vitro.

1.6. Objetivos específicos

- Determinar el efecto antagonista de *T. harzianum* sobre *M. oryzae*, mediante confrontación directa en PDA, analizando y cuantificando el nivel de inhibición del crecimiento micelial en condiciones de laboratorio.
- Inferir el posible mecanismo de acción de *T. harzianum* frente a *M. oryzae*, mediante observación de interacciones miceliales en medios de cultivo, evaluando indicios de micoparasitismo o competencia.
- Examinar, la existencia de diferencias significativas en los niveles de inhibición del crecimiento micelial de *M. oryzae*.

1.7. Hipótesis

En condiciones in vitro, el *T. harzianum* es capaz de limitar de manera significativa el crecimiento micelial de *M. oryzae*.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

El cultivo de arroz (*Oryza sativa*) constituye uno de los pilares de la alimentación mundial, especialmente en regiones donde es un alimento básico. Su producción está continuamente amenazada por enfermedades fúngicas que afectan tanto la cantidad como la calidad del grano. Entre estas, la brusone del arroz, causada por *M. oryzae*, es considerada la más dañina, provocando pérdidas de hasta un 90% bajo condiciones ambientales favorables. Diversos estudios destacan que la severidad de esta enfermedad depende de factores climáticos como humedad y temperatura, así como de la susceptibilidad de la variedad cultivada, según lo indica

(Merchan, 2023). La brusone no solo compromete el rendimiento agrícola, sino que también representa un riesgo directo para la seguridad de alimentos y el sustento de las comunidades productoras.

A pesar de la utilización generalizada de fungicidas químicos, estos presentan limitaciones considerables. Su eficacia puede ser temporal y depende de dosis elevadas y condiciones ambientales específicas. Además, el uso prolongado puede inducir resistencia en los patógenos y generar impactos negativos en el medio ambiente. Investigaciones recientes han mostrado que, aunque los fungicidas reducen la severidad de la brusone, no eliminan su incidencia de manera completa, lo que evidencia la necesidad de estrategias de manejo más sostenibles y efectivas (Pérez et al, 2022). Por ello, la inclusión de agentes biológicos como parte de un manejo integrado de enfermedades es una alternativa que gana relevancia.

El hongo biocontrolador *T. harzianum* se distingue por su diversidad de mecanismos de acción frente a patógenos. Entre estos destacan el micoparasitismo, que involucra la identificación, el enrollamiento y la lisis de las hifas del patógeno mediante enzimas líticas como quitinasas, glucanasas y proteasas; la antibiosis, mediante metabolitos secundarios como peptaiboles y harzianopironas, que afectan la membrana y la homeostasis del patógeno; y la competencia por espacio y nutrientes, favorecida por su rápida colonización del medio (López, 2020).

Estos mecanismos hacen de *T. harzianum* un recurso clave dentro de los programas de manejo integrado de enfermedades fúngicas.

Diversas investigaciones han evaluado la eficacia de diferentes cepas de *T. harzianum* contra *M. oryzae*. Por ejemplo, estudios en Mali mostraron que las cepas S31, S32 y S33 lograron coeficientes de antagonismo de 0.55, 0.71 y 0.78, respectivamente, evidenciando un efecto micoparasítico y de inhibición del crecimiento del patógeno (Traoré, 2022). De manera similar, en Congo, las cepas Ts7B1 y Ts80 alcanzaron entre un 60% y 69% de inhibición del crecimiento micelial en cultivos duales. Estos resultados reflejan la importancia de seleccionar cepas con alta capacidad antagonista para maximizar la efectividad del biocontrol.

La rizósfera del arroz es un entorno dinámico donde las raíces exudan sustancias que favorecen la formación de comunidades microbianas benéficas, incluyendo *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Trichoderma*. Esta interacción promueve relaciones mutualistas que optimizan la absorción de nutrientes y la tolerancia a estrés biótico y abiótico. Algunos de estos microorganismos pueden comportarse como endófitos, colonizando los tejidos vegetales sin causar daño, y contribuyendo a la defensa de la planta mediante la modulación hormonal, incluyendo citoquininas y auxinas (Ramírez & Pérez, 2021).

Además de su actividad antagonista directa, *T. harzianum* puede inducir respuestas defensivas en el arroz, promoviendo la producción de enzimas antioxidantes como peroxidasa y catalasa, lo que fortalece la resistencia del cultivo frente a patógenos. La combinación de estos efectos con la competencia por nutrientes y la colonización rápida refuerza la eficiencia de *T. harzianum* como herramienta de manejo integrado, mejorando así el rendimiento como la buena categoría de los granos (Pérez et al, 2022). Esto evidencia el valor agronómico de incluir biocontroladores en programas de manejo de enfermedades del arroz.

2.2. Bases científicas y teóricas de la temática

La efectividad de *T. harzianum* como agente biocontrolador se basa en diferentes métodos que se han registrado correctamente, incluyendo el desarrollo de metabolitos antifúngicos, el micoparasitismo, la habilidad de competir por espacio y nutrientes y la activación de las defensas vegetales. El micoparasitismo llega a ser un mecanismo esencial que *T. harzianum* puede utilizar para reconocer o invadir hasta rodear las hifas del patógeno, este proceso implica que se liberen enzimas líticas como las quitinasas, proteasas y las glucanasas que hasta en casos logran desintegrar la pared celular fúngica (Pérez et al, 2022).

La competencia por los nutrientes es otro procedimiento, ya que este hongo antagonista crece con rapidez, el cual llega a cubrir la superficie del medio primero que el patógeno y siendo obstáculo de este modo para que este llegue al sustrato. Igualmente, este produce compuestos no volátiles y volátiles con causas inhibitorias, como lo son los sideróforos (moléculas producidas por microorganismos que capturan hierro del ambiente) y los peptaiboles los cuales dañan la membrana de hongos patógenos (Castañeda et al, 2024). Es de suma importancia también la interacción entre las plantas y *T. harzianum*, según estudios recientes, este hongo puede llegar a ser capaz de inducir reacciones defensivas en el cultivo de arroz, lo que puede significar que produzca enzimas antioxidantes, como la peroxidasa y la catalasa 8 enzima que descompone el peróxido de hidrogeno en agua y oxígeno), esto puede reducir la severidad de las enfermedades (Cabrera, 2020).

1.1.3 Patogénesis y fisiología de *Magnaporthe oryzae* (también llamada *pyriculariosis del arroz*)

M. oryzae es un hongo conocido como hemibiotrófico (organismo patógeno que primero vive de células vivas del huésped y luego continua su desarrollo alimentándose de tejido muerto), que inicia solo como una infección cuando se encuentra en la fase biotrófica y luego pasa a la necrotrofia, este

proceso le permite al hongo primero, establecerse y luego llegar a causar necrosis para así invadir el tejido del huésped. La penetración se termina mediante un apresorio melanizado, el cual tiene la capacidad de poder generar una presión turgente elevada. Este procedimiento es el que le permite que él pueda atravesar la cutícula sin que provoque heridas y luego así extenderse por el parénquima foliar (Fernandez & Orth, 2020).

Con daños característicos en elíptico y en los centros blanquecinos en las hojas, el antes mencionado patógeno tiene efectos en el tallo de la panícula, las hojas, los nudos y las panículas enteras, cuando los ataques se dan a la macolla o a la plántula pueden llegar a arrasar con las plantas enteras si las condiciones son óptimas para ellos. La especificidad patogénica hospedero se debe a que existen interacciones entre los genes AVR del hongo y los genes R del arroz, esto también segrega efectores que interfieren con la inmunidad basal y la mediada por efectores (ETI), lo cual llega a debilitar reacciones como la autofagia defensiva y permite así una colonización más sencilla. Estas características mencionadas explican la capacidad que tiene el hongo para adaptarse a diferentes entornos de arroz y a la elevada incidencia y gravedad reportada (Larram et al, 2020)

1.1.4 Procesos de acción de *Trichoderma harzianum* como elemento de biocontrol.

T. harzianum emplea un conjunto de procedimientos adicionales como el micoparasitismo, (que implica la identificación, el enrollamiento y la lisis de hifas del agente patógeno mediante quitinasas, glucanasas y proteasas.), antibiosis por metabolitos secundarios, por ejemplo: los peptaiboles y las harzianopironas, que son sustancias volátiles y no volátiles, que inciden en las membranas y la homeostasis del agente patógeno. Por lo consiguiente, por su rápida propagación y colonización efectiva, hay competencia también por espacio y nutrientes. En síntesis, estos mecanismos apoyan su uso como instrumento de gestión integrada contra *M. oryzae* (Sharma & Singh, 2021).

1.1.5 Interacción entre plantas y microorganismos beneficiosos: rizósfera y endofitismo

Las raíces del arroz exudan sustancias que ayudan a la formación de las comunidades microbianas favorables, por ejemplo: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, lo cual fomenta así relación mutualista (interacción dos organismos en la que ambos obtienen beneficio), que optimiza la tolerancia a estresarse y la nutrición (Aminurrasyid et al, 2025)

Parte de esos microorganismos pueden comportarse como endófitos en tejidos vegetales, sin causar daño y llegar a contribuir a la protección mediante modulación hormonal (citoquininas, auxinas) e ISR-SAR. En arroz, el hecho de que haya microbiota benéfica en la rizósfera normalmente se relaciona con que los nutrientes se absorben más eficientemente y con una mayor resistencia a situaciones adversas, lo cual refuerza el valor agronómico de incluir biocontroladores en los programas de manejo (Ramírez & Pérez, 2022).

1.1.6 La importancia de los bioensayos in vitro en la elección de biocontroladores

La evaluación controlada de la actividad inhibitoria (como el porcentaje de inhibición del crecimiento radial o los índices de antagonismo), tienen la caracterización de competencia para llegar a obtener la mayor cantidad de nutrientes y la producción de los compuestos antimicrobianos son factibles gracias a los ensayos in vitro. Asimismo, estos posibilitan el análisis de interacciones directas, del mismo modo, son una plataforma económica y rápida para detectar metabolitos volátiles o difusibles y orientar la selección de cepas más prometedoras antes de validarlas en invernaderos o campo (Cercenado & Saavedra, 2021).

1.1.7 Técnicas in vitro asociadas con el sistema *T. harzianum*-*M. oryzae*

Cultivo en conjunto (interacción directa) en PDA: facilita observar interacciones físicas, el crecimiento descontrolado de *T. harzianum* y la aparición de zonas inhibitorias, así como medir el crecimiento radial de *M.*

oryzae con o sin el antagonista cuando está presente (Mena et al, 2023).

Extracciones de cultivo / metabolitos no tratados: posibilita analizar el efecto de sustancias liberadas por el antagonista sin que estén en contacto físico.

Análisis de compuestos volátiles (placas enfrentadas): examina la función de los compuestos volátiles en la inhibición del patógeno.

Tinción y microscopía (azul de tripano) para identificar daños o lisis en las hifas del patógeno y estructuras asociadas en el micoparasitismo.

cuantificación digital del crecimiento del micelio para mejorar la precisión y reducir sesgos en las estimaciones de inhibición.

1.1.8 Estudios recientes sobre *M. oryzae*

Las investigaciones realizadas en entornos de laboratorio sugieren que ciertas cepas de *T. harzianum* pueden inducir un nivel de inhibición del micelio frente a *M. oryzae* en cultivos conjuntos, lo que se relaciona tanto como el micoparasitismo como con la liberación de sustancias no volátiles y volátiles. Así mismo, en experimentos efectuados en invernaderos, se ha observado una reducción en la severidad del blast, lo que resalta la necesidad de evaluar las cepas y las condiciones de aplicación a nivel local. Estos hallazgos respaldan el objetivo de estudio los cuales son: cuantificar la inhibición del micelio y analizar indicios de un posible mecanismo (competencia/micoparasitismo) a partir de una cepa de *M. oryzae* en un entorno controlado (Philip, y otros, 2024).

2.3. Marco legal

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (2008)

La constitución de la república Ecuatoriana tiene como principios esenciales la salvaguarda de la producción agrícola sostenible, la protección del medio ambiente y la soberanía en términos alimentarios. Estas normas se utilizan como fundamento para llevar a cabo prácticas de agricultura responsables y emplear tecnologías, como el control biológico en la gestión de plagas.

Art. 13.- “Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales. El Estado ecuatoriano promoverá la soberanía alimentaria.”

Este artículo afirma que los ciudadanos tienen derecho a acceder a alimentos seguros y saludables, lo que fomenta la aplicación de métodos de producción agrícola sostenible que disminuyan el empleo de agroquímicos.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Este principio constitucional fomenta la implementación de métodos productivos que salvaguarden el medio ambiente y disminuyan la polución provocada por la aplicación indiscriminada de pesticidas químicos.

Que, el **Art. 281.-** de la Constitución de la República establece que la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades dispongan de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente;

Que, el **Art. 282.-** de la Constitución de la República establece que el Estado normará el uso y acceso a la tierra que deberá cumplir la función social y ambiental, que un fondo nacional de tierra regulará el acceso equitativo de campesinos y campesinas a la misma; estableciendo además que se prohíbe el latifundio y la concentración de la tierra; y que el Estado regulará el uso y manejo de agua de riego para la producción de alimentos bajo principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental;

Que, el carácter multidimensional de la soberanía alimentaria exige la convergencia de varias leyes específicas que aseguren que la producción, comercialización y consumo de alimentos se orienten hacia este objetivo estratégico, por lo que esta ley articuladora constituirá un primer paso hacia la aprobación de una legislación alimentaria elaborada con la más amplia participación ciudadana posible.

Este artículo sostiene que los recursos de producción deben utilizarse siguiendo normas de sostenibilidad y responsabilidad con el medio ambiente.

Art 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

- 1) Principios Ambientales.
- 2) Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de carácter obligatorio cumpliendo por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.
- 3) El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
- 4) En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles. Este artículo respalda la utilización de técnicas distintas al control químico, como el control biológico de plagas (Ecuador C. d., 2008) **LEY ORGANICA DE SANIDAD AGROPECUARIA (2017)**

**TITULO II DEL REGIMEN DE SANIDAD VEGETAL
CAPITULO I DE LA PROTECCION FITOSANITARIA**

Art. 21.- Del control fitosanitario. - El control fitosanitario en los términos de esta Ley, es responsabilidad de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, tiene por finalidad prevenir y controlar el ingreso, establecimiento y la diseminación de plagas que afecten a los vegetales, productos vegetales y artículos

reglamentados que representen riesgo fitosanitario. El control fitosanitario y sus medidas son de aplicación inmediata y obligatoria para las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, dedicadas a la producción, comercialización, importación y exportación de tales plantas y productos.

Art. 22.- De las medidas fitosanitarias. - Para mantener y mejorar el estatus fitosanitario, la Agencia de Regulación y Control, implementará en el territorio nacional y en las zonas especiales de desarrollo económico, las siguientes medidas fitosanitarias de cumplimiento obligatorio:

- a) Requisitos fitosanitarios;
- b) Campañas de sanidad vegetal, de carácter preventivo, de control y erradicación;
- c) Diagnóstico, vigilancia y notificación fitosanitaria de plantas y productos vegetales;
- d) Tratamientos de saneamiento y desinfección de plantas y productos vegetales, instalaciones, equipos, maquinarias y vehículos de transporte que representen un riesgo fitosanitario;
- e) Cuarentena cuando se detecte una o varias plagas que represente un riesgo fitosanitario;
- f) Áreas libres de plagas y de escasa prevalencia de plagas;
- g) Procedimientos fitosanitarios para la importación y exportación de plantas, productos vegetales y artículos reglamentados; y,
- h) Las demás que establezca la Agencia. Cuando la información científica sobre una nueva plaga o enfermedad sea insuficiente, la Agencia, definirá las medidas provisionales, de emergencia o previsión para aplicarse en caso de una situación fitosanitaria nueva o imprevista.

Art. 23.- De los centros de propagación de especies vegetales. - La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario realizará el control fitosanitario de los centros de propagación de especies vegetales y establecerá la aplicación de las medidas fitosanitarias de conformidad con esta Ley y su reglamento.

Toda persona natural o jurídica propietaria de un centro de propagación de especies vegetales para su funcionamiento deberá contar con la autorización de la Agencia y cumplirá con los requisitos y permisos fitosanitarios establecidos en el reglamento de esta Ley.

Art. 24.- De la cuarentena. - La Agencia, mediante resolución establecerá áreas, lugares y sitios bajo cuarentena ante la presunción de la presencia de una plaga cuarentenaria reglamentada o no, de plantas, productos vegetales y artículos reglamentados; esta condición podrá ser, revisada periódicamente, ratificada o revocada por la autoridad responsable, en forma inmediata, en función de la información técnica y científica disponible. La declaración, modificación o revocatoria de la cuarentena, será notificada al interesado de inmediato de expedida la resolución que declara o modifica el estatus cuarentenario. En el caso de que la Agencia determine la presencia de una plaga y luego del análisis respectivo se establezca que no requiera el estatus cuarentenario, en forma inmediata dictará las medidas fitosanitarias para su control y permanente evaluación según el caso.

Art. 25.- De las campañas. - La Agencia realizará campañas de prevención, control y erradicación de plagas reglamentadas que afectan a las plantas, productos vegetales y artículos reglamentados, para mejorar y salvaguardar el estatus fitosanitario del país. Estas campañas se difundirán y ejecutarán en coordinación con los Gobiernos Autónomos

Descentralizados, provinciales, municipales y metropolitanos, de conformidad con sus respectivas competencias.

Art. 26.- De la declaratoria de emergencia fitosanitaria. - La Autoridad Agraria Nacional, previo informe motivado de la Agencia cuando detecte en un área, lugar o sitio la presencia de una plaga que ponga en riesgo fitosanitario una o varias especies vegetales, en forma inmediata, declarará la emergencia fitosanitaria, con la finalidad de impedir su diseminación (Ecuador A. N., 2017).

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL REGISTRO Y CONTROL DE AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO, EXTRACTOS VEGETALES, PREPARADOS MINERALES Y SEMIOQUÍMICOS-RESOLUCIÓN 0105

Artículo 2.- El incumplimiento a las disposiciones establecidas en la presente Resolución será causa para la aplicación de las sanciones contempladas en la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria.

DISPOSICIONES GENERALES

Primera. - Dadas las características de dinamismo de las acciones que contempla el manual y todos aquellos aspectos que en determinado momento pueden ser objeto de reglamentación, se requiere una constante actualización mediante la sustitución de páginas y/o apartados. Cualquier modificación del manual requerirá de la aprobación del Director Ejecutivo de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.

Las páginas y/o apartados que sean modificadas serán sustituidas por nuevas, las cuales deberán ser reportadas en el cuadro de control de cambios que debe llevar la fecha en la cual se efectuó la modificación, especificar los cambios realizados y el responsable de la modificación. Las modificaciones se publicarán en la página web de la Agencia.

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Primera. - Los registros que se han obtenido cumpliendo los requisitos establecidos en el Título XXVIII del Reglamento de Plaguicidas y Productos Afines de Uso Agrícola (Texto Unificado de Legislación Secundaria del MAG, expedido mediante Decreto Ejecutivo 3609), publicado en el Registro Oficial Edición Especial 1 de 20 de marzo de 2003), y que no han cumplido con el proceso de reevaluación establecido en la Resolución 143 del 17 de julio de 2019, publicada en el Registro Oficial No. 11 de fecha 15 de agosto de 2019, tendrán que cumplir con el cronograma establecido para reevaluar sus registros y dar cumplimiento a todas las disposiciones establecidas en el Manual Técnico de Procedimientos para el registro y control de agentes de control biológico, extractos

vegetales, preparados minerales y semioquímicos, anexo adjunto a la presente resolución.

Segunda. – Los productos registrados bajo la Resolución 143 de 17 de julio de 2019 y publicada en el Registro Oficial 11 de 5 de agosto de 2019 en el cual se aprueba el “Manual de Procedimientos para el Registro y Control de Agentes de Control Biológico, Extractos Vegetales, Preparados Minerales, Semioquímicos y Productos Afines de Uso Agrícola”, tienen que actualizar sus etiquetas acordes a los requisitos específicos detallados en la presente resolución. Este proceso de actualización de etiqueta se realizará en el momento que el titular de registro solicite una modificación de registro, homologación/ actualización de etiquetas, los productos con las anteriores etiquetas tendrán un plazo de 6 meses para agotar existencia, los cuáles serán contados a partir de la aprobación de las nuevas etiquetas.

Tercera. – Los productos afines de uso agrícola que obtuvieron el registro cumpliendo con los requisitos establecidos en el Decreto Ejecutivo 3609 y en la Resolución 143 del 17 de julio de 2019, deben acogerse a las disposiciones establecidas en la normativa vigente para la regulación y control de este tipo de insumos. Los productos afines de uso agrícola tales como: reguladores de pH de agua y correctores de dureza de agua, serán registrados y regulados bajo la normativa 218 de 20 de noviembre del 2018 que concierne al registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelos y productos afines de uso agrícola. Cuarta. - Para el caso de los ensayos de eficacia en campo finalizados antes de la entrada en vigencia de la presente Resolución, y que hayan superado el tiempo de 6 meses para presentar el Informe final respectivo ante la Agencia, se concederá un plazo de 6 meses más contados a partir de la fecha de publicación de la presente Resolución en el Registro Oficial, para presentar el Informe final ante la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.

Quinta. - Los informes finales aprobados bajo Resolución 143 de 17 de julio de 2019 y publicada en el Registro Oficial 11 de 5 de agosto de 2019, pueden ser utilizados dentro del proceso de registro establecido en la presente resolución, siempre y cuando se encuentren vigentes, hasta con 5 años contados desde la fecha de aprobación del informe final de ensayo de eficacia por parte de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.

DISPOSICIONES DEROGATORIAS

Única. – Deróguese la Resolución 143 del 17 de julio de 2019, publicada en el Registro Oficial No. 11 de fecha 15 de agosto de 2019, en el cual se expide el Manual Técnico de Procedimientos para el Registro y Control de agentes de control biológico, extractos vegetales, preparados minerales, semioquímicos y productos afines de uso agrícola (AGROCALIDAD, Manual técnico de procedimientos para el registro y control de agentes de control biológico, extractos vegetales, preparados minerales y semioquímicos, 2022).

NORMA COMPLEMENTARIA DECISION 804 REGISTRO DE PLAGUICIDAS QUIMICOS

Que, el **Art. 5** de la Decisión 804 de la Comunidad Andina, publicada en el Registro Oficial Nro. 558 del 04 de agosto de 2015, establece que "la Autoridad Nacional Competente con las respectivas autoridades nacionales de los sectores de agricultura, de salud y de ambiente, y otras que correspondan, establecerá los mecanismos de interacción que sean necesarios para el cumplimiento de los requisitos y procedimientos de registro y control establecidos en la presente Decisión, sin perjuicio de las competencias que corresponda ejercer a cada entidad en el control de las actividades vinculadas con los PQUA"; Que, el **Art. 6** de la Decisión 804 de la Comunidad Andina, publicada en el Registro Oficial Nro. 558 del 04 de agosto de 2015, establece que "cada País Miembro está facultado para adoptar las medidas técnicas, legales y demás que sean pertinentes, con el fin de desarrollar los instrumentos necesarios para cumplir los objetivos de la presente Decisión";

Que, el **Art. 44** de la Decisión 804 de la Comunidad Andina, publicada en el Registro Oficial No. 558 del 04 de agosto de 2015, establece que "la ANC, las autoridades de salud, de ambiente y aquellas competentes, ejecutarán actividades de inspección, vigilancia y control de PQUA, en todas las etapas del ciclo de vida del PQUA" (AGROCALIDAD, Norma complementaria para facilitar la aplicación de la Decisión 804 de la Comunidad Andina relativa al registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola, 2017).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación empleó una orientación numérica, ya que se fundamentó en la recopilación de datos cuantitativos que se obtuvieron a través de bioensayos a nivel *in vitro*, lo que facilitó la medición objetiva del nivel de inhibición en el crecimiento del micelio de *M. oryzae* al estar expuesto a *T. harzianum*.

3.1.2. Diseño de la investigación

La investigación se planteó bajo (DCA) un diseño completamente al azar, ya que se manipulo de manera intencional la variable independiente, correspondiente a la capacidad antagonista de *T. harzianum*, con el objetivo de determinar su efecto sobre la variable dependiente, expresada como el crecimiento de *M. oryzae* bajo un entorno controlado (*in vitro*).

El experimento se efectuó utilizando cajas Petri que contenían medio de cultivo PDA o bien conocido como Potato dextrose agar, previamente suplementado con antibióticos en inhibidores destinados a evitar el desarrollo de microorganismos contaminantes. Posteriormente, las placas fueron inoculadas con las cepas de *T. harzianum* y *M. oryzae*, con el propósito de que se pueda asegurar la validez estadística. Cada tratamiento se estableció con cinco repeticiones. Asimismo, las unidades experimentales se colocaron aleatoriamente dentro de la incubadora, esto con el fin de que pueda disminuir la influencia de factores externos no controlados.

Las cepas del hongo patógeno se aislaron a partir de muestras de arroz recolectadas en el campo, y luego se cultivaron en el medio correspondiente. En contraste, las cepas de *T. harzianum* utilizadas fueron comerciales, de forma general el desarrollo del experimento se estructuro conforme al siguiente mencionado esquema:

1. Se efectuó la inoculación conjunta de *T. harzianum* y *M. oryzae* en placas Petri con medio PDA, con el propósito de establecer el cultivo dual.
2. Las placas se mantuvieron en incubación bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, garantizando así un ambiente adecuado para el desarrollo del microorganismo.

3.2. Metodología

3.2.1 Variables

En esta investigación, la variable independiente estuvo representada por la aplicación de *T. harzianum* en tres niveles de concentración de esporas, con el propósito de evaluar su potencial como agente de control biológico. Esta manipulación permitió evidenciar cambios en el comportamiento de *M. oryzae*, hongo fitopatógeno responsable de la enfermedad conocida como (añublo del arroz).

Por su parte, la variable dependiente correspondió al crecimiento micelial de *M. oryzae*, el cual fue evaluado mediante parámetros relacionados con su desarrollo y su respuesta frente a la presencia del antagonista. Las variables de respuesta incluyeron indicadores cuantitativos, tales como el porcentaje de inhibición radial del patógeno, la tasa de avance del antagonista sobre el mismo, la observación microscópica de estructuras asociadas al micoparasitismo y la formación de zonas de metabolitos secundarios.

El experimento se estructuró en cuatro tratamientos con la finalidad de evaluar el comportamiento antagonista de *T. harzianum* frente a *M. oryzae* bajo distintos niveles de presión patogénica. El tratamiento T1 se estableció como control sin la incorporación de *T. harzianum*, lo que permitió evidenciar el desarrollo natural del patógeno. En contraste, los tratamientos T2, T3 y T4 contemplaron la aplicación de *T. harzianum* en interacción con suspensiones de *M. oryzae* preparadas en diferentes concentraciones.

Tabla 1. Tratamientos de antagonismo de *M. oryzae* vs. *T. harzianum* bajo estudio

No.	Tratamiento	Dosis
T1	<i>M. oryzae</i>	Control (sin <i>T. harzianum</i>)
T2	<i>M. oryzae</i> vs <i>T. harzianum</i>	10^4 (con <i>T. harzianum</i>)
T3	<i>M. oryzae</i> vs <i>T. harzianum</i>	10^5 (con <i>T. harzianum</i>)
T4	<i>M. oryzae</i> vs <i>T. harzianum</i>	10^6 (con <i>T. harzianum</i>)

Elaborado por: La Autora 2026

La tabla 1 evidencia los tratamientos correspondientes a las evaluaciones del antagonismo in vitro entre *M. oryzae* y *T. harzianum*. El tratamiento t1 representa a un control sin presencia del *T. harzianum*, mientras que los demás tratamientos (t2, t3, t4) representan diferentes concentraciones del antagonista los cuales son (10^4 10^5 10^6), que se utilizaron para evaluar el efecto en la inhibición del crecimiento del patógeno.

3.2.2 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA), integrado por cuatro tratamientos con cinco repeticiones por cada tratamiento, lo que constituyó un total de 20 unidades experimentales. La valoración del ensayo se efectuó a través de pruebas de cultivo dual en placas Petri, donde se estableció la confrontación directa entre *T. harzianum* y *M. oryzae*.

3.2.2.1 Recursos

El ensayo se efectuó en el laboratorio de biotecnología de la Universidad Agraria del Ecuador, extensión Milagro. Debido a la disponibilidad limitada de recursos en el laboratorio, se emplearon los insumos, reactivos y equipos básicos accesibles, entre los cuales se incluyeron:

Materiales

- Cajas Petri
- Espátulas
- Pipetas manuales
- Cámara de Neubauer
- Marcadores y etiquetas
- Mechero de alcohol

Equipos

- Microscopio óptico
- Balanza digital
- Incubadora
- Cámara de flujo laminar
- Autoclave
- PH metro

- Horno microondas (para disolver medio)
- Esterilizador seco
- Regla o calibrador (pie de rey)

Insumos

- Cepas comerciales de *T. harzianum*
- Cepas recolectadas en campo de *M. oryzae*
- Papel parafilm
- Guantes y mascarilla

Reactivos

- Medio PDA (Papa Dextrosa Agar)
- Agua destilada
- Alcohol
- Amoxicilina
- Azul de metileno

3.2.2.2 Procedimiento experimental

3.2.2.2.1. Aislamiento de *Magnaporthe oryzae*

Se recolectaron muestras de hojas de arroz que presentaban síntomas característicos de la enfermedad (*M. oryzae*), luego se realizó la desinfección adecuada del material que se obtuvo, después de esto se sembraron las muestras en medio de cultivo PDA con el fin de realizar el aislamiento del patógeno para así poder proceder a realizar la investigación. Las placas se mantuvieron en incubación a temperatura ambiente (24 °C a 27 °C) durante un periodo de cinco a siete días, hasta observar el desarrollo del micelio. Posteriormente, se seleccionaron colonias con morfología típica para proceder a su purificación.

3.2.4.2.2 Cultivo de *Trichoderma harzianum*

Se utilizó una cepa comercial de *T. harzianum*, la cual se cultivó en cajas Petri con medio PDA durante un periodo de siete días, con el fin de obtener micelio en estado activo de crecimiento (Ponce y otros, 2023)

3.2.4.2.3 Métodos y técnicas

Se incubo la cepa comercial de *T. harzianum* junto a asilamiento con *M. oryzae* obtenidos a partir de muestras recolectadas en cultivos de arroz, ambos microorganismos se desarrollaron en medio PDA previamente modificado mediante la adición de amoxicilina e inhibidores de hongos oportunistas, con el fin de evitar contaminaciones en el medio.

Para la preparación del medio, se pesó la cantidad correspondiente que indicaba el PDA y se diluyó en 500 ml de agua destilada. Posteriormente, se incorporó ácido tartárico a una concentración del 10% y se completó el volumen hasta 1000 ml con agua destilada. El medio que se realizó fue esterilizado en autoclave a 121 °C en un lapso de 20 minutos, una vez que se alcanzó una temperatura tibia, se añadió la amoxicilina y el medio se vertió en las placas Petri estériles, las cuales se dejaron enfriar completamente antes de proceder a la inoculación con las muestras vegetales. Durante la incubación se incluyó una placa testigo con medio sin inocular, con el propósito de verificar la calidad y esterilidad el medio del cultivo.

Las espigas de arroz fueron sometidas a un proceso de desinfección superficial, iniciando con su inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 5 minutos, posteriormente, se sumergieron en alcohol por 1 minuto y se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril, manteniendo cada lavado durante 5 minutos. Luego, el material vegetal se secó sobre papel absorbente estéril y se sembró en las placas Petri con el medio PDA.

A partir del crecimiento observado, se registraron los diámetros del crecimiento radial de *M. oryzae* y *T. harzianum*, con base en estos datos y tras la observación del desarrollo, se procedió al cálculo del % de inhibición.

3.2.4.2.2 Evaluación de variables de respuesta

Se realizó la medición del diámetro radial del crecimiento del patógeno, tanto en presencia como ausencia del antagonista. Asimismo, se evaluó el sobrecrecimiento de *T. harzianum* sobre el micelio del patógeno, registrándose la formación de halos de inhibición.

Adicionalmente, se efectuaron observaciones microscópicas con el fin de identificar posibles interacciones directas entre las hifas de ambos microorganismos.

3.2.4.2.2 Análisis estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se efectuó mediante un análisis de varianza (ANOVA), con la finalidad de observar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Previamente, se verificaron los supuestos estadísticos a través de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Para la comparación múltiple de medias se aplicó la prueba Tukey. El procesamiento y la interpretación de la información se realizó utilizando el software infoStat en su versión estudiantil, lo que permitió determinar la significancia de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Análisis de varianza del experimento

Fuente de variación	Grados de libertad
tratamientos (t-1)	3
Error t (r-1)	16
Total tr-1	19

Elaborado por: La Autora 2026

4. RESULTADOS

En la tabla 3 se observa el efecto de las diferentes concentraciones de *T. harzianum* sobre el crecimiento radial de *M. oryzae* en condiciones in vitro. El tratamiento testigo presento el mayor crecimiento micelial, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos donde se aplicó el antagonista, según prueba de Tukey al 5%. Los tratamientos con *T. harzianum* mostraron una reducción significativa del crecimiento del patógeno en comparación con el testigo. Sin embargo, entre las concentraciones evaluadas no se detectaron diferencias estadísticas, lo que indica que todas ejercieron un efecto inhibitorio similar bajo las condiciones del ensayo.

El coeficiente de variación (CV) obtenido indica una adecuada precisión experimental.

Tabla 3. resultado de crecimiento radial (%) de *T. harzianum* vs *M. oryzae*

TRATAMIENTO		CRECIMIENTO RADIAL CON <i>T. harzianum</i>
T1	<i>Sin T. harzianum</i>	87,28a
T2	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁴	57,94b
T3	<i>T. harzianum</i> vs <i>M. oryzae</i> 10 ⁵	54,42b
T4	<i>T. harzianum</i> vs <i>M. oryzae</i> 10 ⁶	56,76b
CV(%)		22,76

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

Elaborado por: La Autora 2026

En la tabla 4 se muestran los resultados del porcentaje de inhibición, los cuales reflejan que los tratamientos con *T. harzianum* lograron disminuir el desarrollo de *M. oryzae* en comparación con el testigo. Aunque se evidencian valores de inhibición en todos los tratamientos con antagonista, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones evaluadas, de acuerdo con la prueba de Tukey al 5%. Esto sugiere que el efecto inhibitorio se mantiene relativamente constante dentro del rango de concentraciones analizado.

En esta tabla número 4 se realizó un ajuste angular donde se pudo reducir el coeficiente de variación al 30%

Tabla 4. Resultado de crecimiento Índice de inhibición radial de *T. harzianum* (%)

No.	TRATAMIENTO	Índice de inhibición radial (%)
T2	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁴	33,04a
T3	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁵	36,26a
T4	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁶	40,24a
	CV(%)	48,45
	CV(%)*	17,66*

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

*Con respecto a los datos transformados a valor angular.

Elaborado por: La Autora 2026

En la tabla 5 correspondiente al porcentaje de colonización se puede observar la capacidad de *T. harzianum* para invadir el espacio ocupado por *M. oryzae* durante la confrontación directa. Los valores obtenidos muestran una alta capacidad de colonización en los tratamientos evaluados. No se registraron diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones, lo que indica que el antagonista presentó un comportamiento similar en cuanto a expansión micelial sobre el patógeno.

Tabla 5. Colonización de *T. harzianum* (%)

No.	TRATAMIENTO	Colonización de <i>T. harzianum</i>
T2	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁴	68.60a
T3	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁵	69.40a
T4	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁶	70,20a
	CV(%)	12,06

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

Elaborado por: La Autora 202

En la tabla 6 se pudieron determinar las observaciones realizadas durante el ensayo, las cuales evidenciaron interacción directa entre las hifas de ambos hongos. Se identificaron indicios compatibles con competencia por espacio y posible micoparasitismo, manifestados a través de la invasión del micelio del patógeno por parte del antagonista. Aunque esta variable no fue evaluada cuantitativamente mediante análisis estadístico, los registros cualitativos respaldan la actividad antagonista observada en las variables de crecimiento.

Tabla 6. Resultados del micoparasitismo

No.	TRATAMIENTO	Micoparasitismo (escala 0-4)
T2	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁴	2,80a
T3	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁵	2,60a
T4	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁶	2,80a

CV(%)

27,54

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

Elaborado por: La Autora 2026

En la tabla 7 correspondiente al halo de inhibición se presentan los valores obtenidos durante la confrontación entre *T. harzianum* y *M. oryzae*. La formación de un halo indica la posible producción de metabolitos antifúngicos capaces de limitar el crecimiento del patógeno antes del contacto directo entre ambos micelios.

De acuerdo con los resultados, los tratamientos con *T. harzianum* mostraron presencia de halo en comparación con el testigo. Sin embargo, el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas, lo que sugiere que la producción de compuestos inhibitorios fue similar dentro del rango estudiado. Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, la presencia del halo respalda la actividad antagonista observada en las demás variables, reforzando la hipótesis de que el control ejercido por *T. harzianum* podría estar asociado tanto a competencia directa como a la liberación de sustancias con efecto antifúngico.

Tabla 7. resultados del Halo de inhibición

No.	TRATAMIENTO	Halo de inhibición (mm)
T2	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁴	1,97a
T3	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁵	2,03a
T4	<i>T. harzianum</i> vs. <i>M. oryzae</i> 10 ⁶	2,19a

CV(%)

27,46

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

Elaborado por: La Autora 2026

5. DISCUSIÓN

Al analizar los resultados obtenidos durante la confrontación in vitro, se pudo observar que *T. harzianum* ejerció un efecto claro sobre el crecimiento de *M. oryzae*, lo que demuestra el potencial del mismo. Desde los primeros días de incubación fue evidente, ya que el desarrollo del patógeno disminuía cuando se encontraba en presencia del antagonista, lo que posteriormente se confirmó mediante la medición del crecimiento radial, donde se pudo registrar un porcentaje de inhibición de 17,66%, este limitó su desarrollo al estar frente de *T. harzianum* compitiendo por nutrientes y espacio, además de que este produce compuestos que logran afectar directamente el desarrollo de *M. oryzae*

Estos resultados se relacionan con lo reportado sobre el uso de *T. harzianum* como biocontrolador de hongos fitopatógenos, y coinciden con lo analizado por Taoré (2022) el cual lo dice en sus estudios. Por ejemplo, investigaciones realizadas en Mali demostraron que *T. harzianum* mostró un alto nivel de antagonismo cuando esta frente a patógenos y logro obtener coeficientes de inhibición significativos en cultivos dobles (Traoré A. , 2022).

Por lo consiguiente, estudios en el Congo han podido demostrar que algunas cepas de este hongo son capaces de inhibir el 60% y un 68% del desarrollo micelial del patógeno (*M. oryzae*), lo que lo respalda como agente de biocontrol biológico contra las enfermedades del cultivo de arroz.

La capacidad antagonista de *T. harzianum* se explica por diferentes mecanismos de acción descritos en la literatura científica, estos incluyen el micoparasitismo, competencia por espacio, nutrientes y producción de enzimas hidrolíticas como las quitinasas y glucanasas, las cuales son capaces de degradar la pared celular de hongos patógenos. Además, este microorganismo puede producir metabolitos secundarios con actividad fúngica que puede afectar el desarrollo de diversos hongos en el mismo ambiente, además de afectar directamente a los patógenos, es por esto que se ha logrado demostrar que *T. harzianum* promueve la resistencia de las enfermedades en las plantas (Pérez et al, 2022)

Diversos estudios han demostrado que *Trichoderma harzianum* estimula los mecanismos de defensa de las plantas al promover la producción de enzimas antioxidantes, las cuales contribuyen a mejorar la tolerancia al estrés ocasionado por patógenos. De esta manera, su presencia no solo limita el desarrollo de microorganismos dañinos, sino que también fortalece el sistema de defensa vegetal. En conjunto, los resultados obtenidos en esta investigación confirman el potencial de *T. harzianum* como una alternativa sostenible para el manejo de enfermedades fúngicas en el cultivo de arroz (Pérez et al, 2022).

Asimismo, los resultados permiten afirmar que *T. harzianum* tiene la capacidad de reducir el crecimiento de *Magnaporthe oryzae* en condiciones *in vitro*. Sin embargo, debido a que el estudio se desarrolló bajo condiciones controladas, donde factores como la temperatura, humedad, microbiota del suelo y respuesta de la planta no influyeron en la interacción, es necesario realizar evaluaciones en condiciones de invernadero y campo. Esto permitirá validar la efectividad del antagonista en sistemas de producción agrícola reales y determinar su aplicabilidad práctica en el manejo fitosanitario del cultivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En cuestión de los hallazgos que se obtuvieron mediante confrontación directa en medio PDA, permite evidenciar el efecto antagonista que tiene *T. harzianum* frente a *M. oryzae*, pudiéndose observar una inhibición en el crecimiento micelial del patógeno antes mencionado, en condiciones de laboratorio. Se incluye que *T. harzianum* presento capacidad para inhibir el crecimiento de *M. oryzae* en condiciones de laboratorio. Estos resultados nos demuestran la capacidad del hongo antagonista para que pueda limitar el desarrollo del patógeno cuando estos interactúan en el mismo medio de cultivo.

Las observaciones realizadas durante el enfrentamiento sugieren que el mecanismo de acción podría estar relacionado con competencia por espacio y nutrientes, así como con posibles procesos de micoparasitismo, lo que coincide con el comportamiento descrito para este género en estudios previos. El análisis de los rangos de inhibición del crecimiento micelial de *M. oryzae* permite observar diferencias en el grado de antagonismo cuando se ejerce por *T. harzianum*, y se logra confirmar su potencial como agente de biocontrol en condiciones de laboratorio.

De esta manera, los resultados evidenciados logran demostrar que *T. harzianum* posee un importante potencial para controlar biológicamente *M. oryzae*, lo que logra respaldar su posible utilización como una solución amigable o sustentable dentro de estrategias de manejo de enfermedades en los cultivos de arroz.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda continuar con estudios adicionales de *T. harzianum* en condiciones de invernadero y posteriormente en campo, con el fin de determinar si el efecto observado en laboratorio se mantiene en ambientes más variables y bajo la influencia de factores externos propios del cultivo.

Asimismo, sería pertinente ampliar la investigación incluyendo diferentes cepas del antagonista, para así poder identificar aquellas que presenten mayor capacidad antagonista cuando se encuentre frente a *M. oryzae*, esto permitirá optimizar su uso dentro de programas de manejo biológico de enfermedades.

Se sugiere evaluar un rango más amplio y alto de concentraciones, ya que esto también permitirá determinar con mayor precisión si existen diferencias cuando se aplican dosis superiores o inferiores a las analizadas en este estudio, también poder complementar análisis más detallados de los mecanismos de acción de *T. harzianum*, esto con el propósito de poder comprender mejor la interacción con el patógeno y fortalecer su aplicación como agente de biocontrol. Es de mucha importancia recalcar que se recomienda promover el uso de agentes de control biológico como lo es *T. harzianum*, dentro de estrategias de manejo integrado de enfermedades, con el fin de lograr disminuir la dependencia del uso excesivo de fungicidas químicos en el cultivo de arroz.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adoyo, G., Paul, K., Karwitha, M., & David, M. (2025). Antifungal activity of *Trichoderma* species and vermiwash against rice blast fungus (*Magnaporthe oryzae*). *African Journal of Agricultural Research*, 442–453. <https://doi.org/10.5897/AJAR2025.16876>
- AGROCALIDAD, A. d. (2022). *Manual técnico de procedimientos para el registro y control de agentes de control biológico, extractos vegetales, preparados minerales y semioquímicos*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/DAJ-202225A-0201.0105.pdf>
- Aminurrasyid, A., Ikma, A., & Nadarajah, K. (2025). *El nexo entre el arroz y los microbios: cómo impulsar la productividad mediante la ciencia del suelo*. New York : NIH. [10.1186/s12284-025-00809-0](https://doi.org/10.1186/s12284-025-00809-0)
- Cabrera, Y. (2020). *Uso de biocontroladores para el manejo de Sogata (*Tagosodes orizicolus* M.) en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en Colimes-Guayas*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador. [Universidad Agraria del Ecuador.](https://repositorio.uea.edu.ec/handle/document/1000)
- Castañeda, P., Melisa, R., Valdera, R., & Catheryn, L. (2024). *Efecto de *Trichoderma* sp. en la actividad antagónica contra *Fusarium oxysporum* y en el crecimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*)*. Perú: Universidad Nacional de San Martín. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4780>
- Cercenado, E., & Saavedra, J. (2021). El antibiograma. Interpretación del antibiograma: conceptos generales (I). *ELSEVIER*, 214-217. [10.1016/S1696-2818\(09\)71927-4](https://doi.org/10.1016/S1696-2818(09)71927-4)
- Deng, J., Zhang, Z., Wang, X., Cao, Y., Huang, H., Wang, M., & Luo, Q. (2024).

- Molecular basis for loss of virulence in *Magnaporthe oryzae* strain AM16. *Frontiers in Plant Science*, 30-35. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1484214>
- Ecuador, A. N. (2017). *Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria*. Quito: Registro Oficial. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Sanidad%20Agropecuaria.pdf
- Ecuador, C. d. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Washington, D.C: Organización de los Estados Americanos (OEA). https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Fernandez, J., & Orth, k. (2020). Rise of a cereal killer: The biology of *Magnaporthe oryzae* biotrophic growth. *National Library of Medicine*, 582–597. [10.1016/j.tim.2017.12.007](https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.12.007)
- García, A. (2024). *Evaluación de dos antagonistas biológicos (Trichoderma harzianum y T. viride) en cinco variedades de arroz en Palestina, Ecuador*. Milagro: Universidad Agraria del Ecuador. [10.1016/j.tim.2017.12.007](https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.12.007)
- Hernández, M., Cerrato, R., & Alarcón, A. (2021). Trichoderma: importancia agrícola, biocontrol y mecanismos de acción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 40-100. [10.29312/remexca.v17i1.3987](https://doi.org/10.29312/remexca.v17i1.3987)
- Larram, S., Parelló, A., & Balatti, P. (2020). *Alteraciones fisiológicas causantes*. La Plata: FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES | UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/181244>

- López, A. &. (2020). Mecanismos de antagonismo de *Trichoderma harzianum* frente a patógenos de arroz. *Agrociencia*, 789-803.
[10.31047/1668.298x.v37.n2.29419](https://doi.org/10.31047/1668.298x.v37.n2.29419)
- Martínez, B., Torres, F., & Vargas, D. (2021). Producción de metabolitos secundarios y enzimas líticas por *Trichoderma* spp. y su efecto sobre hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 75-89. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26262/1/UPS-GT004714.pdf>
- Mena, M., Cruz, J., Abel, G., & Huacón, D. (2023). Efecto antagonista de cepas de *Trichoderma* sobre agentes causales en el cultivo de maíz. *ProSciences*, 90-100. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol7iss47.2023pp90-100>
- Merchán, A. (2023). *Efecto de Trichoderma harzianum como biocontrolador de enfermedades en el sistema productivo de arroz (Oryza sativa L.) en el cantón Santa Lucía*. Santa Lucía: Universidad Agraria del Ecuador. [Universidad Agraria del Ecuador](https://repositorio.uea.edu.ec/handle/20.500.11960/1107510).
- Nazifa, Z., Aminuzzaman, F., Laila, L., & Ashrafi, M. (2021). *Comparative in Vitro Efficacy Assessment Methods of a Bioagent Trichoderma harzianum THR 4 against Rice Blast Pathogen Magnaporthe oryzae oryzae*. OALib Journal. [10.4236/oalib.1107510](https://doi.org/10.4236/oalib.1107510)
- Patiño, C., Melisa, R., Valdera, R., & Catheryn, L. (2024). *Efecto de Trichoderma sp. en la actividad antagónica contra Fusarium oxysporum y en el crecimiento de maracuyá (Passiflora edulis)*. Perú: Universidad Nacional de San Martín. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4780>
- Pedrozo, R., Liol, M., & Crue, S. (2025). *Genomic profiles of Pyricularia oryzae*

in Sub-Saharan Africa: Exploring population differences and their evolutionary implications. Lausanne: Frontiers Media SA.
[10.3389/fpls.2025.1650532](https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1650532)

Pérez, J., Rodríguez, A., & Gómez, L. (2022). Mecanismos moleculares de *Trichoderma harzianum* en el control de hongos fitopatógenos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 145-158.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v24n1.98613>

Philip, B., Behiry, D., Salem, M., Amer, M., Samra, I., Abdelkhalek, A., & Heflish, A. (2024). Los metabolitos TRI07 de *Trichoderma afroharzianum* inhiben el crecimiento de *Alternaria alternata* e inducen enzimas relacionadas con la defensa del tomate. *Scientific reports*, 120-132 [10.1038/s41598-024-52301-2](https://doi.org/10.1038/s41598-024-52301-2)

Ponce, G., Cruz, J., Gómez, A., & Huacón, D. (2023). Se utilizó una cepa comercial de *T. harzianum*, la cual se cultivó en placas con medio PDA durante un periodo de siete días, con el fin de obtener micelio en estado activo de crecimiento. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e investigación*. [10.18633/biotecnia.v25i1.1726](https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1726)

Ramírez, J., & Pérez, A. (2021). Microbiota benéfica y endófitos en cultivos de arroz.

Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas, 216-230.

<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1728>

Ramírez, J., & Pérez, A. (2022). Microbiota benéfica y endófitos en cultivos de arroz: impactos sobre nutrición y resistencia al estrés. *Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas*, 215-230.

[10.24188/recia.v5.n1.2013.473](https://doi.org/10.24188/recia.v5.n1.2013.473)

- Sharma, P., & Singh, R. (2021). Efecto de *Trichoderma* spp. en el control de *Magnaporthe oryzae* en arroz: mecanismos de acción y eficacia. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 75-89. <https://orcid.org/0000-0002-8390-1175>
- Suddal, T., Awan, M., Ali, S., Iqbal, S., Ali, Q., Javed, J. M., & Alshahrani, M. (2024). Target prediction of potential candidate miRNAs from *Oryza sativa* to silence the *Pyricularia oryzae* genome in rice blast. *Scientific Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72608-4>
- Tan, J., Zhao, H., Li, J., Gong, Y., & Li, X. (2023). The devastating rice blast airborne pathogen *Magnaporthe oryzae*: A review on genes studied with mutant analysis. *Pathogens*, 40-67. [10.3390/pathogens12030379](https://doi.org/10.3390/pathogens12030379)
- Traoré, A. (2022). Evaluación de cepas de *Trichoderma harzianum* contra *Magnaporthe oryzae* en arroz. *Revista Africana de Fitopatología*, 45-59. <https://doi.org/10.5897/AJMR2021.9476>
- Traoré, A. (2022). *Evaluación in vitro de cepas de Trichoderma harzianum como agente de biocontrol contra Magnaporthe oryzae en arroz*. Guayaquil: UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

- Traoré, A. (2022). *Evaluación in vitro de cepas de Trichoderma harzianum como agente de biocontrol contra Magnaporthe oryzae en arroz*. Mali: Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB). <https://doi.org/10.5897/AJMR2021.9476>
- Wang, Y., Zhu, X., Wang, J., Shen, C., & Wang, W. (2023). Identification of Mycoparasitism-Related Genes against the Phytopathogen Botrytis cinerea via Transcriptome Analysis of Trichoderma. *Journal of Fungi*, 50-62. <https://doi.org/10.3390/jof9030324>
- Yi n, Y., Miao, J., Shao, W., Liu, X., Zhao, Y., & Ma, Z. (2023). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas: causas y efectos en cultivos extensivos. *Fungicide Resistance: Progress in Understanding Mechanism, Monitoring, and Management*, 707-718. [10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD](https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD)

8. ANEXOS

ANEXO 1. Base de datos de resultados

Tratamientos	Rep	C_radial (Sin T. harzianum) (mm)	C_radial (mm)	IIR (%)	IIR_Transf	CTa (%)	Micoparasitismo (0-4)	HI (mm)
T1: Sin Trichoderma	1	80.6	91.1	0	0	0.00	0.00	0,00
T2: Trichoderma 10 ⁴	1	86.2	67.2	17,84	25,0	56	2	1.45
T3: Trichoderma 10 ⁵	1	84.8	35,2	25,66	30,4	58	2	1.63
T4: Trichoderma 10 ⁶	1	90.1	54.1	61,89	51,9	77	3	2.03
T1: Sin Trichoderma	2	80.1	90.3	0	0,0	0.00	0.00	0.00
T2: Trichoderma 10 ⁴	2	85.8	46.4	38,71	38,5	64	2	2,08
T3: Trichoderma 10 ⁵	2	89.3	60.2	48,23	44,0	72	3	2,14
T4: Trichoderma 10 ⁶	2	88.1	31.6	35,89	36,8	66	3	3,12
T1: Sin Trichoderma	3	81.0	82	0	0,0	0.00	0	0.00
T2: Trichoderma 10 ⁴	3	80.6	60.4	64,34	53,3	79	3	2,69
T3: Trichoderma 10 ⁵	3	82.2	69.5	33,55	35,4	81	3	2,44
T4: Trichoderma 10 ⁶	3	88.0	64.2	24,18	29,5	78	2	2,28
T1: Sin Trichoderma	4	91.4	81	0	0,0	0.00	0.00	0,00
T2: Trichoderma 10 ⁴	4	87.5	36.4	30,5	33,5	68	3	1.36
T3: Trichoderma 10 ⁵	4	86.9	50.6	62,21	52,1	72	2	1.41
T4: Trichoderma 10 ⁶	4	88.5	84.2	42,75	40,8	69	2	1,33
T1: Sin Trichoderma	5	88.8	92	0	0,0	0.00	0.00	0.00
T2: Trichoderma 10 ⁴	5	86.4	79.3	13,8	21,8	76	4	2.26
T3: Trichoderma 10 ⁵	5	89.0	56.6	11,65	20,0	64	3	2,51
T4: Trichoderma 10 ⁶	5	89.4	49.7	36,49	37,2	61	4	2,21

C_radial: Crecimiento radial de *M. oryzae* (%); IIR: Índice de inhibición radial (%); CTa: Colonización de *T. harzianum* (%); HI: Halo de inhibición (mm)

Elaborado por: La Autora 2026

ANEXO 2. Análisis de crecimiento radial

Nueva tabla : 10/2/2026 - 15:04:38 - [Versión : 30/4/2020] 9.

10. Análisis de la varianza

11.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C radial (mm)	20	0,51	0,42	22,76

14.

15. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3614,18	3	1204,73	5,66	0,0077
Tratamientos	3614,18	3	1204,73	5,66	0,0077
Error	3406,32	16	212,90		
Total	7020,50	19			

21. Elaborado por: La Autora 2026

22.

23. Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=26,40180

24. Error: 212,8950 gl: 16

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1: Sin Trichoderma	87,28	5	6,53 A
T2: Trichoderma 10 ⁴	57,94	5	6,53 B
T4: Trichoderma 10 ⁶	56,76	5	6,53 B
T3: Trichoderma 10 ⁵	54,42	5	6,53 B

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

Elaborado por: La Autora 2026

ANEXO 3. Análisis de varianza

Nueva tabla : 10/2/2026 - 15:23:20 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

IIR (%)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
IIR (%)	15	0,03	0,00	49,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	130,15	2	65,08	0,20	0,8223
Tratamientos	130,15	2	65,08	0,20	0,8223
Error	3927,48	12	327,29		
Total	4057,63	14			

Elaborado por: La Autora 2026

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=30,52530

Error: 327,2899 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: Trichoderma 10 ⁶	40,24	5	8,09 A
T3: Trichoderma 10 ⁵	36,26	5	8,09 A
T2: Trichoderma 10 ⁴	33,04	5	8,09 A

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

Elaborado por: La Autora 2026

IIR_Transf (Log 10)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
IIR Transf	15	0,04	0,00	30,48	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	58,76	2	29,38	0,24	0,7941
Tratamientos	58,76	2	29,38	0,24	0,7941
Error	1499,85	12	124,99		
Total	1558,60	14			

Elaborado por: La Autora 2026

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,86369

Error: 124,9873 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: Trichoderma 10 ⁶	39,24	5	5,00 A
T3: Trichoderma 10 ⁵	36,38	5	5,00 A
T2: Trichoderma 10 ⁴	34,42	5	5,00 A

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

Elaborado por: La Autora 2026

CTa (%)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
CTa (%)	15	0,01	0,00	12,21	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,40	2	3,20	0,04	0,9565
Tratamientos	6,40	2	3,20	0,04	0,9565
Error	861,20	12	71,77		
Total	867,60	14			

Elaborado por: La Autora 2026

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=14,29404

Error: 71,7667 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: Trichoderma 10 ⁶	70,20	5	3,79 A
T3: Trichoderma 10 ⁵	69,40	5	3,79 A
T2: Trichoderma 10 ⁴	68,60	5	3,79 A

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

Elaborado por: La Autora 2026

Micoparasitismo (0-4)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Micoparasitismo (0-4)	15	0,02	0,00	27,54	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	2	0,07	0,12	0,8900
Tratamientos	0,13	2	0,07	0,12	0,8900
Error	6,80	12	0,57		
Total	6,93	14			

Elaborado por: La Autora 2026

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,27016

Error: 0,5667 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T2: Trichoderma 10 ⁴	2,80	5	0,34 A
T4: Trichoderma 10 ⁶	2,80	5	0,34 A
T3: Trichoderma 10 ⁵	2,60	5	0,34 A

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

Elaborado por: La Autora 2026

HI (mm)

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV	HI
(mm)	15	0,03	0,00	27,46		

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,14	2	0,07	0,21	0,8098
Tratamientos	0,14	2	0,07	0,21	0,8098
Error	3,85	12	0,32		
Total	3,99	14			

Elaborado por: La Autora 2026

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,95579

Error: 0,3209 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4: Trichoderma 10 ⁶	2,19	5	0,25 A
T3: Trichoderma 10 ⁵	2,03	5	0,25 A
T2: Trichoderma 10 ⁴	1,97	5	0,25 A

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

Elaborado por: La Autora 2026

ANEXO 4. Área de Recolección del material vegetativo



ANEXO 5. Recolección de material vegetativo, *Magnaporthe oryzae*



ANEXO 6. Material vegetal recolectado



ANEXO 7. Desinfección del material vegetal



ANEXO 8. Preparación del medio PDA



ANEXO 9. Vertido del medio en placas Petri estériles***ANEXO 10. Aislamiento del material vegetativo***

ANEXO 11. Siembra del material vegetativo**ANEXO 12. Crecimiento inicial del patógeno**

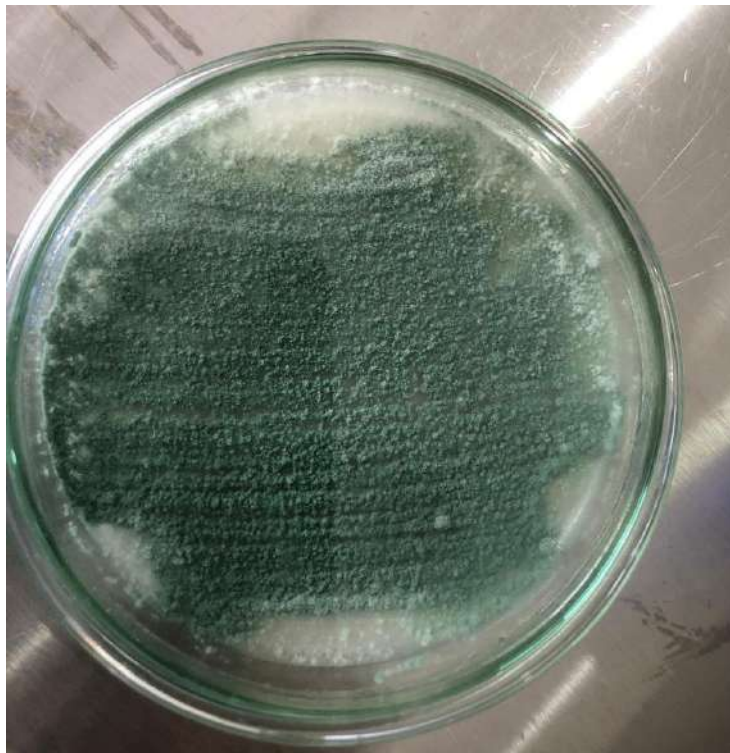
ANEXO 13. Observación del patógeno bajo microscopio



ANEXO 14. Aislamiento del patógeno (*Magnaporthe oryzae*)



ANEXO 15. Cultivo de *Trichoderma Harzianum*



ANEXO 16. Siembra dual de los hongos



ANEXO 17. Competencia entre los hongos



ANEXO 18. Observación técnica del tutor en laboratorio



ANEXO 19. Observación de competencia de hongos



ANEXO 20. Efecto antagonista *T. harzianum* frente a *M. oryzae*



ANEXO 21. Observación microscópica de colonias



ANEXO 22. Evaluación del crecimiento del antagonista



ANEXO 23. Registro de tratamientos