

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

Efecto Bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de Arroz (*Oriza Sativa L.*)

Autor:

Francisco Remigio Cano Macias

Director

MSc. María Fernanda Garces Moncayo

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Francisco Remigio Cano Macias** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Agrobiotecnología** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 02 de febrero del 2024



Firmado electrónicamente por:
**FRANCISCO REMIGIO
CANO MACIAS**

Francisco Remigio Cano Macias

1206199844

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **María Fernanda Garcés Moncayo** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Francisco Remigio Cano Macias**, cuyo tema es **Efecto Bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de Arroz (*Oriza Sativa L.*)**, que aporta a la Línea de Investigación **Agrobiotecnología**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 02 de febrero del 2024



Firmado electrónicamente por:
**MARIA FERNANDA
GARCÉS MONCAYO**

MSc. María Fernanda Garcés Moncayo

1803571577

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. CANO MACIAS FRANCISCO REMIGIO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTO BIOESTIMULANTE DE TRICHODERMA SPP. EN EL CULTIVO DE ARROZ (ORIZA SATIVA L.)", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	56.83
SUSTENTACIÓN	34.83
PROMEDIO	91.67
EQUIVALENTE	Muy Bueno



ALEX EDWIN GUILLEN
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



KEVIN XAVIER
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcmq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER
VOCAL



KAREN ALEXANDRA
RODAS PAZMIÑO

Mgs RODAS PAZMIÑO KAREN ALEXANDRA
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

"Dedico esta tesis de posgrado con profundo amor y gratitud a mis queridos hijos, quienes han sido mis pilares inquebrantables a lo largo de este desafiante viaje académico. Cada página escrita, cada desafío superado, ha sido impulsado por el deseo ardiente de construir un futuro lleno de oportunidades y éxito para ustedes.

En los momentos de agotamiento, sus sonrisas han sido mi motivación. En los días de incertidumbre, su confianza en mí ha sido mi faro. Cada sacrificio, cada noche de estudio, ha sido un paso hacia la realización de nuestros sueños compartidos.

Esta tesis no solo representa mi esfuerzo individual, sino también nuestra dedicación colectiva como familia. Agradezco profundamente su paciencia, comprensión y amor constante. Este logro no sería posible sin su apoyo inquebrantable.

Que este documento sirva como testimonio de la importancia que tienen en mi vida y en mis logros. Con la esperanza de que inspire en ustedes el valor de perseguir sus propios sueños, dedico este logro con todo mi corazón. A mis adorados hijos, con amor eterno, Francisco Cano Macias."

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa JW ASOCIADOS por su invaluable apoyo y orientación en la utilización de la biotecnología a través de productos con microorganismos vivos. Su compromiso con la innovación y la excelencia ha sido fundamental en el desarrollo de este trabajo.

Además, quiero dedicar un especial reconocimiento a mi esposa Jamileth Castro por su inquebrantable ayuda a lo largo de esta investigación. Su conocimiento, apoyo y dedicación han sido una inspiración para mí y han contribuido significativamente a la culminación de este proyecto.

Resumen

En el cultivo de arroz, se observa una necesidad apremiante de mejorar la eficiencia productiva y sostenibilidad ambiental. El uso indiscriminado de fertilizantes químicos y pesticidas, no solo pueden resultar costoso, sino que también contribuye a la degradación del suelo y tiene impactos al medio ambiente. Por lo cual se realizó una revisión bibliográfica de los últimos 16 años donde se evidencie el efecto bioestimulante que tiene *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz. Varios estudios destacan que la aplicación de cualquier cepa de *Trichoderma spp.* puede fortalecer el sistema radicular, estimular el crecimiento, mejorar la absorción de nutrientes, puede promover los mecanismos de defensa del arroz, mejorar la resistencia a condiciones bióticas y abióticas, competir con patógenos y reducir el crecimiento de hongos fitopatógenos. Los estudios destacan el impacto positivo de *Trichoderma spp.* en la germinación de las semillas del arroz, llegando a obtenerse hasta un 99% de germinación en semillas tratadas con *Trichoderma spp.* y obteniéndose un promedio de 44,75 semillas/día germinadas en campo. Además, favorece el aumento de la longitud de la raíz, llegando a obtenerse valores de 7,93 cm y un peso seco de la raíz de 2,33 g. Con respecto al desarrollo de la parte aérea de las plantas de arroz se ha observado un incremento en la altura de la planta de 21,12 cm y un aumento del número de macollos en 76,5, aumentando el número de panículas/m² con un promedio de 52,1 y al evaluar el peso de los 1 000 granos de arroz se obtiene un valor de 2,25 g. Con respecto al rendimiento del cultivo al aplicar *Trichoderma spp.* se puede obtener 3988,6 kg/ha de arroz.

Palabras claves: Fertilizantes, bioestimulantes, resistencia, *Trichoderma spp.*

Abstract

In rice cultivation, there is a pressing need to improve production efficiency and environmental sustainability. The indiscriminate use of chemical fertilizers and pesticides can not only be costly, but also contributes to soil degradation and impacts the environment. For this reason, a bibliographic review of the last 16 years was carried out, where the biostimulant effect of *Trichoderma spp.* in rice cultivation is evidenced. Several studies emphasize that the application of any strain of *Trichoderma spp.* can strengthen the root system, stimulate growth, improve the absorption of nutrients, can promote the defense mechanisms of rice, improve resistance to biotic and abiotic conditions, compete with pathogens and reduce the growth of phytopathogenic fungi. Studies highlight the positive impact of *Trichoderma spp.* on the germination of rice seeds, reaching up to 99% germination in seeds treated with *Trichoderma spp.* and obtaining an average of 44,75 seeds/day germinated in the field. Besides, it favors the increase of the length of the root, reaching values of 7,93 cm and a dry weight of the root of 2,33 g. With respect to the development of the area of the rice plants, an increase in plant height of 21,12 cm and an increase in the number of tillers of 76,5 were observed, increasing the number of panicles/m² with an average of 52,1, and when evaluating the weight of the 1 000 rice grains, a value of 2,25 g was obtained. With respect to the yield of the crop when applying *Trichoderma spp.*, it is possible to obtain 3988,6 kg/ha of rice.

Keywords: Fertilizers, biostimulants, resistance, *Trichoderma spp.*

Índice / Sumario

Introducción.....	1
CAPÍTULO I: El problema de la investigación	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Delimitación del problema	3
1.2.1. Delimitación Espacial.....	3
1.2.2. Delimitación Temporal	4
1.2.3. Delimitación de la Población	4
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Preguntas de investigación	4
1.5 Determinación del tema.....	4
1.6 Objetivo general.....	5
1.7 Objetivos específicos	5
1.8 Hipótesis	5
1.9 Declaración de las variables (operacionalización).....	6
1.10 Justificación	7
1.11 Alcance y limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial.....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación	11
2.2.1. Produccion mundial de arroz.....	11
2.2.2. Produccion nacional de arroz.....	11
2.2.3. Concepto básico del arroz	12
2.2.4. Importancia del cultivo de arroz	12
2.2.5. Problemas del cultivo de arroz.....	12

2.2.6. Taxonomía del arroz	12
2.2.7. Morfología del arroz	13
2.2.8. Descripción botánica del arroz	14
2.2.9. Variedades de arroz.....	15
2.2.10. Fases Fenológicas del cultivo de arroz.....	16
2.2.11. Enfermedades causadas por hongos en el cultivo de arroz.....	17
2.2.12. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de arroz.....	18
2.2.13. Suelos.....	18
2.2.14. Siembra al voleo de forma manual y mecánica.....	19
2.2.15. Siembra por trasplante manual y mecánica	19
2.2.16. Siembra en surcos con máquinas de mínima labranza.....	19
2.2.17. Productos químicos usados en el cultivo de arroz	20
2.2.18. Hongo antagonista <i>Trichoderma spp</i>	20
2.2.19. Morfología y taxonomía de <i>Trichoderma</i>	21
2.2.20. Características de <i>Trichoderma spp</i>	21
2.2.21. Enzimas de <i>Trichoderma</i> en la industria	22
2.2.22. Tipos de fermentaciones.....	22
2.2.23. Tipos de especies de <i>Trichoderma spp</i>	23
2.2.24. Bioestimulantes en la agricultura	24
2.2.25. <i>Trichoderma</i> en la agrobiotecnología.....	24
2.2.26. Nanopartículas biogénicas sintetizadas a partir de hongos (<i>Trichoderma</i>)	25
2.2.27. <i>Trichoderma spp.</i> como bioestimulante.....	25
2.2.28. Sustrato para la captura de <i>Trichoderma spp</i>	26
2.2.29. Reproducción de <i>Trichoderma spp</i>	26
2.2.30. Tipos de inoculación de <i>Trichoderma spp</i>	28
2.2.31. Beneficios de <i>Trichoderma spp</i>	30

CAPÍTULO III: Diseño metodológico	34
3.1 Tipo y diseño de investigación	34
3.2 La población y la muestra.....	34
3.2.1. Características de la población	34
3.2.2. Delimitación de la población.....	34
3.2.3. Tipo de muestra	35
3.2.4. Tamaño de la muestra	35
3.2.5. Proceso de selección de la muestra.....	35
3.3. Los métodos y las técnicas	35
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados	37
4.1. Análisis de los resultados	37
4.2. Interpretación de los resultados.....	42
4.3. Discusión	37
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	57
5.1. Conclusiones	57
5.2. Recomendaciones	58
Bibliografía	68
Anexos	77

Introducción

La rizosfera contiene microorganismos particularmente funcionales, como fijadores de nitrógeno, disolventes de fosfato, crecimiento vegetal, biocontrol y especies patógenas, en relación a *Trichoderma*, es conocido por ser un microorganismo asociativo multifuncional que, dependiendo de la cepa, puede producir efectos bioestimulantes y biocontroladores beneficiosos para las plantas (Zambrano, 2022).

Los bioestimulantes no solo promueven el rendimiento y la calidad de los cultivos, sino que también optimizan el consumo de otros recursos como fertilizantes y estiércol. Además, favorecen la resistencia de las plantas al estrés abiótico y ayudan a que se recuperen más rápidamente cuando sufren, por ejemplo, daños causados por el frío o las plagas. Por todas estas razones, los bioestimulantes contribuyen a una agricultura más sostenible (Miravalls, 2022).

El mecanismo bioestimulador de *Trichoderma* implica varias interacciones la liberación de auxinas desde el sistema de raíces y brotes hacia la rizosfera, pequeños péptidos, metabolitos volátiles y otros bienes que promueven ramificación de raíces y la capacidad de absorber nutrientes que aumentan crecimiento y rendimiento de las plantas. En la etapa temprana del crecimiento del arroz, cuando las hojas aún son jóvenes y frágiles, existe una mayor susceptibilidad a diversos daños de origen biótico y abiótico y uno de los mayores problemas del cultivo del arroz es su débil crecimiento en la etapa inicial (plántulas) (Chávez *et al.*, 2020).

Por lo que se considera como alternativa para estimular este crecimiento es *Trichoderma spp*, que ha sido probado con excelentes resultados en diversos cultivos como promotor del crecimiento de plántulas, liberando auxinas y sustancias relacionadas con el crecimiento vegetal como sesquiterpenoides, péptidos cíclicos a nivel de raíces, citoquininas y ácido indol acético (IAA), que actúan como catalizadores tisulares primarios del meristemo y aceleran la proliferación celular, lo que resulta en un aumento de la masa foliar (Sánchez, 2022).

El género *Trichoderma* engloba una amplia variedad de cepas fúngicas que establecen simbiosis en las raíces de las plantas, manifestando propiedades

estimulantes para el crecimiento y desarrollo vegetal. Durante mucho tiempo, las especies de *Trichoderma* han sido reconocidas no solo por su capacidad para controlar enfermedades en las plantas, sino también por su habilidad para potenciar el crecimiento y desarrollo de estas. La utilización de *Trichoderma* como agente biológico se presenta como una estrategia eficaz y económicamente viable (González *et al.*, 2019).

La búsqueda de una producción alimentaria sostenible que no comprometa el medio ambiente representa un desafío crucial en la sociedad actual. Este desafío exige la transformación de los sistemas agrarios convencionales hacia enfoques agroecológicos de producción. En este contexto, el empleo de microorganismos emerge como una opción viable para lograr aumentos sustanciales en los rendimientos y la calidad de los cultivos, al mismo tiempo que se reduce el impacto perjudicial de los agroquímicos en el entorno. *Trichoderma*, reconocido como uno de los principales antagonistas de hongos fitopatógenos, se destaca como una herramienta ampliamente utilizada en la agricultura moderna (Viera *et al.*, 2020).

En Ecuador, al abordar la gestión del cultivo de arroz, uno de los desafíos presentes en los sistemas de producción es la carencia de macronutrientes y materia orgánica en los suelos. Este problema se atribuye a la generalización del empleo de fertilizantes químicos, los cuales han contribuido al incremento de los rendimientos en la producción agrícola. No obstante, el costo ambiental asociado ha sido considerable, generando impactos negativos en la salud de los suelos y provocando alteraciones en la capacidad microbiológica y en las propiedades químicas del suelo debido a la contaminación (Colina *et al.*, 2017).

Por lo antes mencionado, es importante buscar métodos ecológicos y sostenibles que ayuden a aumentar la producción de la gramínea sin depender tanto de la fertilización química. El uso de *Trichoderma spp.* como agente bioestimulante en cultivos de arroz claramente favorece el crecimiento de las plantas y aumenta su rendimiento. Por esta razón, este estudio tiene como objetivo investigar el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el desarrollo de las plantas de arroz y su resistencia a enfermedades en las distintas etapas del cultivo.

CAPÍTULO I: El problema de la investigación

1.1. Planteamiento del problema

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los principales cultivos alimentarios en el mundo, desempeñando un papel fundamental en la seguridad alimentaria de numerosas poblaciones. Sin embargo, factores como las enfermedades del suelo, el estrés abiótico y las prácticas agrícolas convencionales pueden afectar la productividad y calidad del cultivo.

En el cultivo de arroz, se observa una necesidad apremiante de mejorar la eficiencia productiva y sostenibilidad ambiental. Las prácticas agrícolas convencionales, como el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y pesticidas, no solo pueden resultar costosas, sino que también contribuyen a la degradación del suelo y pueden tener impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

Dentro de las posibles soluciones para mejorar el rendimiento y la salud del cultivo de arroz, se ha identificado el uso de microorganismos beneficiosos como *Trichoderma* spp. Estos hongos tienen propiedades bioestimulantes que pueden promover el crecimiento de las plantas, mejorar la absorción de nutrientes, fortalecer la resistencia a enfermedades, además contribuyen a reducir los costos de fertilización química y control de plagas.

Durante los primeros seis meses de 2022, el valor en dólares de las importaciones de fertilizantes químicos en América Latina y el Caribe aumentó en promedio un 136.6% en comparación con el mismo período de 2021. Sin embargo, el volumen de toneladas métricas importadas solo creció un 4%. Este incremento en el costo de los fertilizantes químicos se debe a diversos factores, incluyendo el conflicto entre Rusia y Ucrania y un aumento en la demanda mundial de insumos desde el inicio de la pandemia (IICA, 2023).

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Delimitación Espacial

La búsqueda de información se enfocó en regiones específicas del Ecuador y ciertos países donde se han llevado a cabo investigaciones relevantes sobre *Trichoderma*

spp. y su impacto en el cultivo de arroz.

1.2.2. Delimitación Temporal

Se considero un período específico de 10 semanas, donde se recopilo la literatura más actualizada y relevante sobre el tema. Esto implicó la búsqueda de investigaciones en revisiones, artículos científicos y tesis publicadas en los últimos años que estén relacionados con el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz.

1.2.3. Delimitación de la Población

El objetivo fue analizar y sintetizar información de al menos 46 artículos científicos, 16 tesis académicas y 7 páginas web relacionadas con el tema. Estas fuentes provinieron de investigaciones serias, revisadas por pares y publicadas en revistas científicas reconocidas, así como de tesis académicas provenientes de instituciones confiables.

1.3 Formulación del problema

¿Cuáles serían los efectos bioestimulantes de *Trichoderma spp* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)?

1.4 Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es el impacto específico de diferentes cepas de *Trichoderma spp* en el rendimiento del cultivo de arroz en condiciones agronómicas variadas?
2. ¿Cómo influye la aplicación de *Trichoderma spp* en la resistencia de las plantas de arroz a enfermedades comunes en diferentes regiones?
3. ¿Cuál es el efecto de *Trichoderma spp* en la salud del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo de arroz?
4. ¿Cómo varía la respuesta del cultivo de arroz a la presencia de *Trichoderma spp* en diferentes etapas de crecimiento, desde la germinación hasta la madurez de la planta?

1.5 Determinación del tema

La determinación del tema se centra específicamente en el efecto que tiene

Trichoderma spp. en la capacidad de las plantas de arroz para resistir enfermedades fúngicas, especialmente en el contexto de prácticas agrícolas sostenibles. Esto permitiría investigar cómo cepas específicas del hongo, ayudan a la salud de las plantas de arroz en términos de su resistencia a enfermedades en todas las fases fenológicas lo cual es un aspecto crucial en la agricultura sostenible.

1.6 Objetivo general

Determinar el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en las diferentes etapas del cultivo de arroz.

1.7 Objetivos específicos

- Evaluar el impacto de *Trichoderma spp.* en sus diferentes etapas fenológicas.
- Estudiar el efecto de los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.*, en el desarrollo de las raíces del arroz.
- Evaluar el efecto que tiene los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.* en la resistencia a enfermedades en el cultivo de arroz.

1.8 Hipótesis

Ho: *Trichoderma spp* no contribuye a un buen desarrollo del cultivo de arroz en sus diferentes etapas fenológicas.

Hi: *Trichoderma spp* contribuye a un buen desarrollo del cultivo de arroz en sus diferentes etapas fenológicas.

Ho: *Trichoderma spp* no tiene un efecto bioestimulante en el desarrollo de las raíces del arroz.

Hi: *Trichoderma spp* tiene un efecto bioestimulante en el desarrollo de las raíces del arroz.

Ho: *Trichoderma spp* no produce bioestimulantes capaces de mejorar la resistencia a enfermedades en el cultivo de arroz.

Hi: *Trichoderma spp* produce bioestimulantes capaces de mejorar la resistencia a

enfermedades en el cultivo de arroz.

1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

1.9.1. Operacionalización de Variable Independiente

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas o instrumentos
<i>Trichoderma spp.</i> en el cultivo de arroz	<i>Trichoderma</i> puede desarrollar una relación simbiótica beneficiosa en el cultivo de arroz	Nominal, se evalúa la presencia o ausencia de <i>Trichoderma</i> en el cultivo de arroz.	Presencia o ausencia de <i>Trichoderma</i> en el cultivo de arroz.	Métodos microbiológicos de aislamiento y siembra de hongos.

1.9.2. Operacionalización de Variable Dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas o instrumentos
Efecto de <i>Trichoderma spp.</i> en las etapas fenológicas.	Capacidad de <i>Trichoderma</i> para contribuir en el desarrollo del arroz en sus diferentes etapas fenológicas.	Unimedimensional se mide en una escala continua.	Mejora en las características cuantitativas del desarrollo de la planta.	Registros cuantitativos del desarrollo de la planta.
Efecto de <i>Trichoderma spp.</i> en el desarrollo de las raíces.	Capacidad de <i>Trichoderma</i> para incentivar el desarrollo radicular en la planta de arroz.	Unimedimensional se mide en una escala continua.	Aumento del tamaño y masa radicular.	Registros cuantitativos del desarrollo de la raíz.

Efecto de <i>Trichoderma spp.</i> en la resistencia a enfermedades.	Capacidad de <i>Trichoderma</i> estimular resistencia sistémica a enfermedades	de Nominal para la clasificación orden y magnitud.	Aumento de la productividad sin	Registro de resistencia del cultivo al ataque de enfermedades.
---	--	--	---------------------------------	--

1.10 Justificación

La agricultura sostenible y la optimización de los cultivos son esenciales para enfrentar los desafíos alimentarios en un mundo en constante crecimiento. En este contexto, la investigación sobre el impacto de organismos beneficiosos en la productividad agrícola ha cobrado relevancia. Uno de estos agentes potencialmente prometedores es *Trichoderma spp.*, un hongo reconocido por sus múltiples beneficios bioestimulantes en diversos cultivos. Dentro de estos cultivos, el arroz (*Oryza sativa L.*) representa una pieza fundamental en la alimentación global, lo que hace crucial comprender cómo *Trichoderma spp.* puede influir en su crecimiento, resistencia a enfermedades y calidad. Esta revisión bibliográfica se centró en explorar y sintetizar el conocimiento existente sobre el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz, subrayando su importancia en la búsqueda de prácticas agrícolas más eficientes, sostenibles y beneficiosas tanto para los agricultores como para la seguridad alimentaria a nivel mundial.

1.11 Alcance y limitaciones

Alcance

Enfoque en aspectos específicos: Esta tesis se enfocó en el análisis detallado de la literatura existente sobre el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz, abarcando áreas como el crecimiento vegetativo, el desarrollo radicular, la resistencia a enfermedades y la calidad de la cosecha.

Revisión exhaustiva de la literatura: Se incluyeron estudios científicos y revisiones relevantes que abordaron directamente el efecto de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz, priorizando investigaciones publicadas en los últimos diez a dieciséis años.

Análisis de diferentes cepas de *Trichoderma spp.*: Se consideraron diversas cepas de *Trichoderma spp.* y su impacto en el cultivo de arroz, enfatizando las variaciones en los resultados en función de las diferentes cepas estudiadas.

Limitaciones

Restricción temporal y geográfica: Esta revisión se centró en estudios publicados principalmente en los últimos diez a quince años, lo que puede limitar la inclusión de información más antigua relevante.

Disponibilidad y acceso a fuentes: Las limitaciones de acceso a ciertos artículos científicos o a información específica pueden influir en la exhaustividad de la revisión. La falta de acceso a ciertas bases de datos o fuentes de información puede restringir la inclusión de ciertos estudios relevantes.

Generalización de resultados: Dado que la información proviene de estudios diversos, puede haber discrepancias en los resultados debido a diferencias en las condiciones experimentales o en las variedades de arroz utilizadas, lo que podría limitar la capacidad de generalizar los hallazgos.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1. Antecedentes

El arroz (*Oryza sativa*) es una planta de la familia de las gramíneas que se originó en Asia durante la Edad Media, especialmente en el sur de China. Es un alimento básico consumido principalmente por personas de estratos socioeconómicos altos. Cultivado desde hace aproximadamente 7.000 años, el arroz puede llegar a medir hasta 6 pies de altura. Pertenece a la misma familia que la avena y es conocido por su alto contenido de nutrientes y minerales como riboflavina, retinol, calcio, magnesio, fósforo e hidratos de carbono. (Mendoza *et al.*, 2019).

En la actualidad, el cultivo de arroz es una de las fuentes de ingresos más populares para muchas familias de agricultores debido a sus bajos costos de producción y la alta demanda. Aunque tradicionalmente no requería grandes inversiones, en los últimos años ha habido un aumento en las inversiones necesarias y los precios de las materias primas han experimentado un alza a nivel mundial. El aumento de los precios ha provocado un fuerte aumento del costo de la producción agrícola, lo que ha provocado una disminución de la eficiencia de la producción de arroz, lo que ha obligado a los agricultores a abandonar gradualmente la agricultura y dedicarse a otras actividades comerciales (Quijije *et al.*, 2019).

América Latina es considerada una región rica en recursos renovables y no renovables, pero los problemas de cultivos surgen de sistemas agrícolas ineficientes y nutrientes limitados del suelo; por lo tanto, la aplicación de la biotecnología agrícola tiene grandes ventajas para resolver estos problemas, las especies de *Trichoderma* dominan en los ecosistemas terrestres (bosques o tierras agrícolas), donde sus necesidades nutricionales son bajas, pero crecen en un rango de temperatura relativamente amplio (25-30°C). Además, son altamente adaptables a las condiciones ecológicas, pueden crecer saprofitamente, interactuar con animales y plantas y prosperar en una variedad de sustratos, que son favorables para su producción a gran escala para la agricultura (Hernández *et al.*, 2019).

2.1.1. Estudios Internacionales

Los resultados obtenidos por Muñoz y Maniscalco (2014) realizados en Venezuela, indican que el hongo *Trichoderma* incrementó la velocidad de germinación, la materia seca y longitud radicular en estadios iniciales de desarrollo de *Oryza sativa L.*, así como el crecimiento vegetativo en condiciones de secano e inundación, permaneciendo viables en estas condiciones, las plantas tratadas con *Trichoderma* presentaron mayores valores de producción; así como una notable disminución de la incidencia del manchado del grano.

El estudio realizado en México por Andrade et al., (2023), menciona que el hongo *Trichoderma* actúa como promotor del crecimiento vegetal incrementando la biomasa en las plántulas y estimulando el desarrollo de las raíces laterales, que inciden a la resistencia del estrés abiótico también se destaca la capacidad enzimática de degradar compuestos orgánicos contaminantes depositados en el suelo. Debido a estas características, estos hongos han sido efectivamente empleados como agentes de biorremediación para descomponer y transformar contaminantes orgánicos, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), residuos de diésel y otros micro contaminantes como productos farmacéuticos.

2.1.2. Estudios Nacionales

En el estudio realizado en Manabí – Ecuador por Chávez et al., (2020), indican que la aplicación del hongo *Trichoderma spp.* incrementa el número de hojas, masa seca foliar y pigmentos clorofílicos en las plántulas de arroz, también influyo positivamente en la absorción de nitrógeno generando un crecimiento significativo en el cultivo.

En los resultados obtenidos por Arbito (2017) realizados en Cuenca - Ecuador indican que *Trichoderma spp* tiene la capacidad de actuar como biofertilizante, aumentando los nutrientes en el contenido foliar, además ejerce diferente mecanismo de biocontrol que pueden servir como base para un biofunguicida para el control de fusariosis demostrando su adaptabilidad a variaciones de temperaturas que le permiten colonizar diversos hábitats.

2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1. Producción mundial de arroz

India, Indonesia e China son los tres principales productores de arroz a nivel mundial, representando el 60% de la producción total. Una característica particular del arroz es que solo el 9% de su producción se destina al comercio internacional, mientras que el trigo y el maíz representan el 22% y el 14% respectivamente. Esto indica que los principales productores de arroz también son los principales consumidores de este cereal (FAO, 2020).

A nivel global, se cultiva en más de 164 millones de hectáreas, generando aproximadamente 756 millones de toneladas anuales. Los principales exportadores a nivel mundial son la India (22%), Tailandia (21%), Vietnam (13%) y Estados Unidos (7%). En la región, Uruguay (2%) y Brasil (1%) también tienen participación destacada. En Ecuador, la producción de arroz se lleva a cabo en tres períodos a lo largo del año, con dos en la temporada de invierno y una en la de verano (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022).

2.2.2. Producción nacional de arroz

En Ecuador, la oferta de arroz se fija principalmente en dos temporadas de siembra, la primera es la temporada de lluvias, cuando es más abundante y produce excedentes, y la temporada menos seca, que se concentra en los sistemas de riego y piscinas de verano, el consumo doméstico mensual ronda las 40.000 toneladas (Zambrano et al., 2019).

La producción de arroz es una de las principales actividades que sustentan las zonas arroceras de las provincias del Guayas y Los Ríos, generando empleo para una gran proporción de familias, por lo que la disminución del rendimiento de este cultivo genera pérdidas económico para los productores. Esta disminución se debe en gran medida a la presencia de plagas, monocultivos y posibles excesos de precipitaciones durante el desarrollo del cultivo (García et al., 2022).

En el año 2022, la producción total del grano de arroz alcanzó la cifra de 1.5 millones de toneladas, cultivadas en una extensión de 300,332 hectáreas. Aproximadamente

el 95% de esta producción se origina en las provincias de Guayas y Los Ríos. El sector arrocerero se destaca como una fuente significativa de empleo, con alrededor de 71,000 personas empleadas en la producción primaria. De este total, el 68% está compuesto por mano de obra familiar (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022).

2.2.3. Concepto básico del arroz

El arroz es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial, especialmente en Asia, donde se consume como principal fuente de calorías. Es una fuente importante de energía, proteínas, vitaminas y minerales, y desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria, especialmente en países en desarrollo (Campoverde, 2016).

2.2.4. Importancia del cultivo de arroz

El arroz (*Oriza Sativa L.*). Es uno del cultivo más importante en nuestro país y unos de los cereales más consumido, ya que proporciona un valor nutricional y económico a los trabajadores que trabajan día tras día en este cultivo. En Ecuador la superficie sembrada en los años 2017 a 2021 fue 390.406 hectárea, con una producción de 1,440865 T.M. siendo Guayas con 70.11% seguido de los Ríos con 24.14%, son las provincias con mayor diversidad de siembra en nuestro país (Campoverde, 2016).

2.2.5. Problemas del cultivo de arroz

La mayor causa del problema del cultivo de arroz es cuando la planta esta en su estapa inicial (plántula), cuando se encuentra en el semillero (vivero) y luego la trasladamos al campo, Unas de la alternativa para estimular su desarrollo es por medio de *Trichoderma spp.*, además de ser un excelente control biológico de microorganismo patógenos, repara la bioestructura del suelo y fortaleza e sistema radicular y actúa como bioestimulantes en el crecimiento vegetal del cultivo de arroz (Cock, Hernández, y García, 2011).

2.2.6. Taxonomía del arroz

En los últimos años, la taxonomía del arroz (*Oryza sativa L.*) ha experimentado modificaciones en ciertos niveles de clasificación, como resultado de investigaciones realizadas por Acevedo et al. (2006) y Valladares (2012). Estos trabajos han

introducido cambios en la clasificación taxonómica, y a continuación se describen algunas de las características taxonómicas relevantes.

Tabla 1: Taxonomía del arroz.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Clase	Liliopsidae (antes Monocotiledónea)
Orden	(antes Glumiflora) Poales
Familia	(antes Gramíneas) Poaceae
Subfamilia	Ehrhartoidea
Tribu	(Oryzae) Oryzeae
Género	Oryza
Especie	Sativa
Nombre científico	<i>Oryza sativa</i> L

2.2.7. Morfología del arroz

En áreas con climas subtropicales y templados, el arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) se considera una planta anual semiacuática. Sin embargo, en regiones tropicales, el arroz puede comportarse como una planta perenne al rebrotar después de la cosecha. Este rebrote puede ser aprovechada para una segunda cosecha o como alimento para el pastoreo ganadero (Montes, 2021).

Al llegar a la madurez, las plantas de arroz presentan un tallo principal y diversos macollos, cuya cantidad depende de la densidad de siembra, oscilando entre 30 en alta densidad hasta 15 en bajas densidades. Los macollos reproductivos son aquellos que producen una panoja fértil, mientras que los macollos infértiles no logran desarrollar una panoja fértil o, en ocasiones, la producen pero sus granos no maduran al mismo tiempo que los del resto del cultivo (Montes, 2021).

La densidad de panojas por metro cuadrado constituye el primer componente del rendimiento del cultivo, y se considera que una densidad media de 25 plantas por metro cuadrado es apropiada para lograr una cantidad adecuada de panojas en el estadio reproductivo (Ledesma, 2018).

La altura de las plantas varía según la variedad y las condiciones de crecimiento, generalmente oscilando entre 0.4 m y 1 m. El análisis morfológico del arroz se divide en dos etapas: la fase vegetativa, que incluye los estadios de germinación, plántula, inicio y pleno macollamiento; y la fase reproductiva, que abarca desde la formación del primordio floral hasta la emergencia de la panoja, y desde la emergencia de la panoja hasta la madurez. Comprender la morfología de la planta de arroz es crucial para interpretar las prácticas de manejo del cultivo y su comercialización (Montes, 2021).

2.2.8. Descripción botánica del arroz

Tallo: Presenta la estructura característica de las gramíneas y su longitud varía desde 30 cm en las variedades enanas hasta 70 cm en las gigantes. Las macollas son tallos secundarios que emergen de las yemas apicales, iniciándose el macollaje en el primer nudo (Delgado & Zorrilla, 2017).

Hojas: Se disponen alternativamente a lo largo del tallo y constan de vaina, zona de unión y lámina (Delgado & Zorrilla, 2017).

Espiguillas: Compuesta por un pequeño eje central llamado raquis, la espiga de arroz sostiene una flor simple compuesta por dos brácteas estériles llamadas glumas y dos brácteas superiores conocidas como glumelas, que forman la estructura floral (Delgado & Zorrilla, 2017).

Flor: La flor del arroz está compuesta por seis estambres y un pistilo. Los estambres tienen filamentos delgados con anteras cilíndricas, cada una conteniendo entre 500 y 1000 granos de polen. El pistilo incluye el ovario, el estilo y el estigma (Delgado & Zorrilla, 2017).

Pericarpio: De textura fibrosa y con variaciones en su grosor, el pericarpio del grano de arroz está formado por la cutícula, el mesocarpio y una capa de células entrecruzadas. La testa es la capa externa que cubre la semilla, mientras que el endospermo, compuesto principalmente por almidón, constituye la mayor parte del grano (Delgado & Zorrilla, 2017).

2.2.9. Variedades de arroz

2.2.9.1. Variedad INIAP 14

Esta variedad de arroz tiene un ciclo vegetativo que dura entre 113 y 117 días. La altura de la planta varía entre 99 y 107 cm, y el grano es de tipo largo, con un porcentaje de granos enteros al descascarillado del 62%. La semilla presenta una latencia de 4 semanas y la variedad es resistente al acame. En cuanto a la densidad de siembra, para la siembra directa con sembradora se recomienda utilizar 80 kg/ha de semilla certificada, mientras que para la siembra directa por voleo la recomendación es de 100 kg/ha de semilla certificada. En el caso de la siembra por trasplante, se aconseja utilizar entre 30 y 45 kg/ha de semilla certificada para el semillero. En este último, se sugiere una cantidad de 150 a 200 g de semilla por metro cuadrado (Mendoza et al., 2011).

2.2.9.2. Variedad SFL12

La variedad de arroz es adecuada para la siembra durante todo el año y es versátil en cuanto al tipo de siembra, ya sea con riego o en condiciones de secano. Destaca por su elevado rendimiento, y su ciclo vegetativo abarca de 126 a 135 días, con una altura promedio de 124 cm, esta variedad también exhibe tolerancia a diversas condiciones ambientales (INDIA, 2019).

2.2.9.3. Variedad FL11

Esta variedad es predominantemente cultivada en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí y El Oro, logrando un índice de germinación del 90%. Alcanza una altura de 1,26 cm y su ciclo vegetativo tiene una duración media de 127 a 131 días. En términos de rendimiento, se observa una variación típica entre 6 y 8 toneladas por hectárea (Sánchez, 2019).

2.2.9.4. Variedad FL Arenillas

Esta variedad presenta resistencia a plagas, lo que contribuye a mejorar el rendimiento del cultivo con una media de 5,02 toneladas por hectárea. El grano es largo, cristalino y tiene una alta demanda en las agroindustrias. Además, muestra

tolerancia a enfermedades como *Pycularia*, vaneamiento, hoja blanca y manchado del grano (INIAP, 2017).

2.2.9.5. Variedad Impacto

Con el manejo adecuado del cultivo, la nueva variedad tiene el potencial de producir hasta 10 toneladas por hectárea. Su ciclo vegetativo varía entre 121 y 136 días, dependiendo de la época y la zona de cultivo. Esta variedad muestra resistencia y tolerancia a las enfermedades principales que afectan al cultivo, así como resistencia al acame. Sus granos son largos y cristalinos, de buena calidad para la molienda y la cocina, y tiene un período de latencia de 4 a 6 semanas (Celi et al., 2020).

2.2.9.6. Variedad FL Elite

En condiciones de campo, la variedad INIAP FL-ÉLITE tiene un potencial de producción de 10 toneladas por hectárea. Su ciclo vegetativo abarca de 125 a 140 días, dependiendo de la época y la zona de cultivo. Esta variedad muestra resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo de arroz y es resistente al acame. Sus granos son extra largos, con un tamaño de 7.6 mm una vez descascarados, tienen una textura cristalina y ofrecen buena calidad para la molienda y el sabor culinario. Las semillas de esta variedad tienen un período de latencia de 4 semanas (Celi et al., 2020).

2.2.10. Fases Fenológicas del cultivo de arroz

Fase vegetativa: Dura 60 días en las variedades de período intermedio, comprende desde la germinación de la semilla, emergencia o plántula, macollamiento (ahijamiento), hasta la elongación del tallo (Guillén *et al.*, 2021).

Fase reproductiva: Dura entre 35 y 40 días desde la iniciación de panícula, hasta la emergencia de la panícula (floración) (Guillén *et al.*, 2021).

Fase de madurez: Dura entre 30 a 40 días o dependiendo las variedades de arroz desde el llenado y desarrollo de los granos (estado lechoso y pastoso) hasta la cosecha (madurez del grano) (Guillén *et al.*, 2021).

2.2.11. Enfermedades causadas por hongos en el cultivo de arroz

2.2.11.1. Piriculariosis (*Pyricularia grisea*)

En el cultivo de arroz las enfermedades de origen microbiano constituyen uno de los factores que inciden en la obtención de bajos rendimientos y calidad de los granos, la piriculariosis o añublo del arroz, causada por *Pyricularia grisea*, es la enfermedad más importante en el cultivo de arroz, ya que puede provocar hasta el 100% de reducción de los rendimientos (Guerrero et al., 2011).

2.2.11.2. Tizón del arroz (*Rhizoctonia solani*)

El hongo conocido como *Rhizoctonia solani* causa de la enfermedad conocida como tizón del arroz, que se ve favorecida por las condiciones de humedad, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y las altas densidades de siembra favorecen las condiciones del hongo, el cual puede sobrevivir en el suelo por algunos años (Iglesias et al., 2018).

2.2.11.3. Mancha parda (*Bipolaris oryzae*)

Los síntomas aparecen como lesiones de color gris a marrón negruzco. Estas lesiones pueden extenderse por las hojas hasta llegar a la espina, afectando las semillas (Figueroa, 2020).

2.2.11.4. Alternariosis (*Alternaria padwickii*)

También conocido como mancha foliar, afecta principalmente al grano de arroz, reduce su calidad y afecta negativamente la germinación, el cultivo inicia antes el proceso de maduración, observándose áreas necróticas cubiertas de manchas visibles y oscuras provocadas por el patógeno (Martínez et al., 2018).

2.2.11.5. Fusariosis del arroz (*Fusarium graminearum*)

Este hongo causa síntomas que aparecen especialmente al final del macollamiento y se lo puede identificar como puntos puntiformes de forma irregular con tejido dañado en las vainas del tallo, si esta enfermedad se progaga se dispersa al micelio y causa la muerte de las hojas y vainas (Ilvay, 2021).

2.2.11.6. Manchado del grano (*Curvularia spp*)

El hongo puede sobrevivir en los residuos de cultivos y el medio de transmisión son las semillas, esto se ve facilitado por las altas densidades de siembra, las deficiencias de nutrientes y el mal uso de herbicidas en los cultivos; Además, los síntomas aparecen como manchas oscuras y granos vacíos en la panícula (Ou et al., 2020).

2.2.11.7. Pudrición de la vaina (*Sarocladium oryzae*)

Esta enfermedad es causada por la alta densidad de siembra, el déficit de nutrientes y el mal manejo de herbicidas en los cultivos, aparte de eso, los síntomas aparecen en las panículas y aparecen puntos negros y granos vacíos, se introduce por las lesiones y estomas de las plantas, las cuales son provocadas por plagas la humedad y la temperatura influye en la proliferación del hongo (Bigirimana et al., 2015).

2.2.11.8. Falso carbón (*Ustilaginoidea virens*)

El síntoma más evidente se produce en las panículas, los granos parecen sacos verdosos o sacos de esporas de aspecto aterciopelado y de aproximadamente 1 cm o más de diámetro. Las esporas inmaduras formadas en las dos capas más internas son de color amarillo pálido, naranja y amarillo, mientras que las maduras se vuelven de color verde a verde oscuro (Zhang et al., 2023).

2.2.12. Condiciones edafoclimáticas del cultivo de arroz

2.2.12.1. Clima

El arroz crece bien en climas cálidos y húmedos, por lo que su zona es cálida y subtropical. Sin embargo, logra prosperar en zonas con clima templado; cuanto mayor sea la temperatura en el lugar, más corta será la duración del ciclo de vegetación (Valle et al., 2022)

2.2.13. Suelos

Las plantaciones se encuentran en terrenos llanos, ondulados y con pendientes pronunciadas, en suelos descritos de diversas formas como latisoles ferruginosos

aluviales profundos, fértiles, margas aluviales y limos arcillosos, rojos y otros tipos. Las plantas de arroz crecen y producen mejor en suelos francos y arcillosos con alta retención de humedad (Rofner et al., 2023).

2.2.14. Siembra al voleo de forma manual y mecánica

Esta técnica puede llevarse a cabo manualmente o mecanizada, utilizando boleadoras manuales, tractores o aviones de forma mecánica. Después de la distribución de la semilla, se utiliza una rastra para cubrirla y protegerla de ser retirada por aves u otros animales, mientras de forma mecánica se emplea un dispositivo de siembra centrífugo que se conecta a la toma de fuerza del tractor. Este dispositivo puede distribuir la semilla en franjas que abarcan entre 10 y 15 metros, lo que permite un proceso de siembra rápido (Iglesias, 2018).

2.2.15. Siembra por trasplante manual y mecánica

En el cultivo de arroz cuando se va a trasplante es importante ver que el sistema radicular de plántulas este vigorosa, para que soporte mejor el estrés post trasplante y posea un mayor crecimiento de raicez en el suelo los nutrientes como sustancias orgánicas de vitaminas y fitohormonas. La siembra por trasplante implica que las plantas se desarrollen inicialmente en un semillero o almácigo, y después de 16 o 18 días, cuando han germinado, se trasplantan al campo utilizando máquinas especiales que requieren que las plantas estén previamente en bandejas de almácigos (Chávez et al., 2022).

2.2.16. Siembra en surcos con máquinas de mínima labranza

Este sistema ofrece la ventaja de reducir los costos asociados con la preparación del suelo, al tiempo que minimiza la erosión y facilita el control de malezas al disminuir la perturbación del suelo y el banco de semillas de malezas. Las sembradoras de mínima labranza son arrastradas por un tractor, mientras que el control de malezas se realiza previamente con herbicidas. Estas máquinas están equipadas con discos que preceden a las mangueras por donde se distribuye la semilla; estos discos realizan una labranza superficial del suelo de entre 2 y 5 cm de profundidad. A continuación, se deposita la semilla y unas ruedas se encargan de cubrirla. Además,

esta maquinaria permite la aplicación de fertilizantes durante el proceso de siembra (León y Arroyo, 2011).

2.2.17. Productos químicos usados en el cultivo de arroz

El uso perenne, inadecuado de productos químicos provoca efectos arriesgados, como toxicidad, desarrollo de resistencia a patógenos a los efectos de fungicidas, y mayor contaminación ambiental, riesgos para la salud humanos y los animales también el desgaste de la plantación vegetal. En cambio, los fitopatólogos han calculado su atención en desarrollar métodos de control biológico para prevenir la contaminación al medio ambiente, que sea más duraderos y efectivos para el manejo de enfermedades que provoca daños a las plantas. Existe varios agentes de control biológico como son los hongos y bacterias, *Trichoderma spp.* se utilizó con mayor frecuencia contra las enfermedades de las plantas (Hoyos *et al.*, 2008).

Al utilizar *Trichoderma spp.* como agente de control biológico, se puede reducir la dependencia de los pesticidas químicos en el cultivo de arroz. Esto tiene beneficios tanto para el medio ambiente como para la salud humana, al disminuir la exposición a productos químicos sintéticos (Hoyos *et al.*, 2008).

2.2.18. Hongo antagonista *Trichoderma spp.*

Es un anaeróbico que se encuentra en grandes cantidades de tierra agrícola y tipos de ambientes, existe en algunas partes del mundo, ocurre en diferentes regiones especialmente en aquellos que contengan materia orgánica, así como en residuos de alimentos o de cultivos, especialmente son atacados por otros hongos como *Fusarium spp.* La cepa *Trichoderma harzianum*, es un hongo con mayor densidad de tolerar temperaturas, presente en una extensa distribución ecológica, los valores óptimos para el crecimiento y esporulación del hongo ronda al alrededor de los 25°C. Para la captura de *Trichoderma* como por ejemplo el más común es aislamiento de suelo, se puede tomar muestra del suelo en una zona de la plantas de arroz que se encuentre cerca de la raíz de una planta sana, utilizando herramientas esterilizadas para llevarla al laboratorio y examinar las colonias de *Trichoderma spp.* Y luego se coloca medios de cultivos para su propagación y otra opción sería trampas de esporas que consiste

en utilizar trampas de esporas para capturar *Trichoderma spp*, que se encuentra en el aire (Villacis, 2022).

2.2.19. Morfología y taxonomía de *Trichoderma*

Trichoderma es un hongo imperfecto que no forma estructuras de reproducción sexual. Se encuentra comúnmente en suelos agrícolas y en entornos como la madera en descomposición. *Trichoderma* tiene una notable habilidad para reproducirse, crecer y propagarse en ambientes con presencia de materia orgánica y humedad, además de mostrar tolerancia a condiciones extremas de temperatura, pH y salinidad. Este hongo pertenece principalmente a un género de hongos saprófitos y se encuentra comúnmente en el suelo (Nugra, 2018).

Trichoderma pertenece a la subdivisión Deuteromycotina, la clase Hyphomycetes y la familia Moniliaceae. Sus conidióforos pueden ser arrastrados o erectos, altamente ramificados y tienen una forma más o menos cónica, con ramificaciones débil o fuertemente verticiladas. Las filialides se asemejan a un conjunto de bolos, ya sea en racimos o separadas, y sostienen los conidios no septados, que son subglobosos a elipsoidales, transparentes y con una pared lisa. Las colonias de *Trichoderma* generalmente exhiben un crecimiento rápido y son de aspecto suave, blanco y verde (Nugra, 2018).

2.2.20. Características de *Trichoderma spp.*

Trichoderma spp. ofrece varias ventajas como agente de control biológico, siendo notable su rápido crecimiento y desarrollo. También es capaz de producir una cantidad considerable de enzimas, las cuales son inducidas en presencia de hongos fitopatógenos. Su habilidad para prosperar en diversos sustratos facilita su producción a gran escala para su aplicación en la agricultura. La notable tolerancia de *Trichoderma* a condiciones ambientales extremas y a hábitats afectados por hongos patógenos lo convierte en un bioagente de control eficiente. Asimismo, su capacidad para sobrevivir en medios con altos niveles de agrodefensivos y otros químicos le otorga versatilidad (Barcellos et al., 2011).

2.2.21. Enzimas de *Trichoderma* en la industria

Trichoderma demuestra un destacado potencial en la generación de diversas enzimas, entre las cuales se incluyen celulasas, xilanasas, proteasas y β -1,3-glucanasas. En este ámbito, la especie más investigada de *Trichoderma* para la producción enzimática es *T. reesei*. Su relevancia radica en su capacidad para generar una mezcla eficaz de enzimas celulolíticas. A pesar de que otros hongos también poseen estas capacidades, a veces con propiedades superiores, la industria sigue utilizando este microorganismo de manera casi exclusiva, debido a la experiencia acumulada durante setenta años en su aplicación tecnológica (Druzhinina y Kubicek, 2016).

Con su extensa trayectoria en la producción de enzimas a nivel industrial, *Trichoderma* también se ha empleado en la generación de aditivos alimentarios y productos relacionados. Por ejemplo, diversas pectinasas, celulasas y hemicelulasas producidas por *Trichoderma* se utilizan para mejorar la producción de jugos de frutas y en procesos como la cocción, malteado y producción de alcohol de grano. Además, se ha propuesto el uso de estas enzimas como conservantes alimentarios debido a sus propiedades antifúngicas, así como en pastas dentales para prevenir la acumulación de placa (Mohsenzade et al., 2012).

2.2.22. Tipos de fermentaciones

2.2.22.1. Fermentación de *Trichoderma spp.* en estado sólido

Las esporas básicamente consisten en células rodeadas por la pared celular, proporcionándoles protección contra condiciones ambientales adversas que podrían afectar su capacidad de germinación, asegurando así la supervivencia del hongo. Los enfoques dirigidos a mejorar los medios de cultivo deben tener en cuenta no solo la cantidad de esporas producidas, sino también su calidad, que abarca aspectos como la resistencia a la desecación, la estabilidad en condiciones de preparación seca y la eficacia en el control biológico en sí mismo (Leite et al., 2012).

2.2.22.2. Fermentación líquida sumergida de *Trichoderma spp.*

La fermentación líquida sumergida se ha convertido en un método ampliamente empleado en la generación de biomasa microbiana, enzimas y metabolitos secundarios provenientes de microorganismos con diversas funciones y aplicaciones en sectores como el veterinario, farmacéutico, alimentario y agrícola. Tradicionalmente, la fermentación microbiana ha sido anaeróbica, es decir, llevada a cabo en ausencia de oxígeno, centrada en la conversión de sustratos orgánicos en moléculas más simples con una baja producción de energía en forma de ATP y una reducida formación de biomasa celular (Sriram et al., 2011).

En contraste, la fermentación aeróbica implica un proceso de fosforilación oxidativa en presencia de oxígeno, que se realiza durante la respiración celular, resultando en una elevada producción de energía y biomasa microbiana. Este tipo de fermentación aeróbica se posiciona como el principal bioproceso dirigido a la producción masiva de biomasa de microorganismos beneficiosos, que también son aerobios facultativos, con el propósito de utilizarlos como agentes de control biológico (Kobori et al., 2015).

2.2.23. Tipos de especies de *Trichoderma spp.* utilizadas en el cultivos de arroz

2.2.23.1. *Trichoderma harzianum*

Este microorganismo está presente en el mercado como bioplaguicida, biofertilizante, crecimiento vegetal y promotor del rendimiento como descomponedor de materia orgánica y solubilizador de nutrientes en campos agrícolas (Bacusoy & Fienco, 2023).

El hongo *Trichoderma harzianum* es uno de los agentes de control biológico más eficaces en la agricultura, y está presente en más del 60% de los biofungicidas registrados a nivel mundial (Bacusoy & Fienco, 2023).

2.2.23.2. *Trichoderma viride*

Trichoderma viride ha demostrado ser un hongo con la capacidad de ejercer actividad inhibitoria en el control del crecimiento de los patógenos, debido a que tienen la capacidad de inducir la producción de enzimas específicas como polifenol oxidasa, quitinasas y glucanasas (Barboza et al., 2022).

2.2.23.3. *Trichoderma asperellum*

Es una cepa de hongo reconocida por su capacidad para promover el crecimiento vegetal y proteger las plantas contra patógenos, esta cepa ofrece beneficios significativos al ayudar a mejorar la salud de las plantas y la calidad del suelo. Su capacidad para colonizar las raíces del arroz y estimular el sistema de defensa de la planta contribuye a una mayor resistencia contra enfermedades (Arroyo, 2019).

2.2.23.4. *Trichoderma atroviride*

Es una cepa de hongo conocida por sus propiedades biocontroladoras y su capacidad para promover el crecimiento de las plantas, en el cultivo de arroz, este hongo ofrece beneficios significativos al mejorar la salud de las plantas y aumentar su resistencia a enfermedades (Fabiano et al., 2021)

2.2.23.5. *Trichoderma reesei*

Esta cepa producen una amplia gama de enzimas útiles a nivel industrial, muchas de las cuales son segregadas al exterior celular, también pueden tener propiedades antagónicas contra patógenos fúngicos (Ayala & Romero, 2013).

2.2.24. Bioestimulantes en la agricultura

Los bioestimulantes son los elementos poco apreciados en la agricultura, los cuales se pueden producir usando microorganismo beneficios que hallamos en el suelo y su beneficios esta en poner a disponibilidad de la planta elementos nutritivos para que los cultivos se desarrollen con mayor eficacia, sin dañar el equilibrio biológico del suelo. Estos elementos estan conformado por microorganismo que los podemos observa por medio de un microscópio y su reproduccion es muy rapida, la reproducción varia de acuerdo a la especie con una temperatura adecuada entre 25 a 30°C con humedad relativa de 50-55 % y materia orgánica (Donoso y Rojas, 2008).

2.2.25. *Trichoderma* en la agrobiotecnología

Las diversas variedades de *Trichoderma* logran establecerse en un entorno específico mediante la aplicación de diversos mecanismos, que incluyen la competencia directa, la generación de metabolitos y enzimas, el fortalecimiento de la resistencia sistémica,

la producción de compuestos que favorecen el crecimiento de las plantas y la capacidad de actuar como micoparásitos (Rai et al.,2016).

2.2.26. Nanopartículas biogénicas sintetizadas a partir de hongos (*Trichoderma*)

Las nanopartículas metálicas, gracias a su tamaño reducido y mayor área superficial, exhiben propiedades químicas, físicas y biológicas distintas a las de su material original a escala convencional, lo que les confiere un potencial para el control de microorganismos (Mody et al., 2010).

En la mayoría de las síntesis biogénicas, la reducción de las sales precursoras se lleva a cabo mediante moléculas orgánicas provenientes del agente reductor, como proteínas, aminoácidos, azúcares y enzimas. Este proceso ocurre de manera natural en el entorno, ya que como una forma de protección, los microorganismos, cuando se exponen a elementos no deseados, segregan metabolitos y otros compuestos que transforman los iones metálicos en su forma elemental (Leong et al., 2016).

Diversos estudios han empleado especies de *Trichoderma* para la síntesis de nanopartículas metálicas, observando la formación de una capa de compuestos provenientes del hongo en la superficie de estas partículas, por ejemplo, llevaron a cabo la síntesis de nanopartículas de plata utilizando *T. harzianum* y notaron la presencia de una fina capa de materia orgánica alrededor de las nanopartículas, lo cual evitaba su aglomeración. Además, se detectaron señales espectrales que indicaban la presencia de carbono, oxígeno y cloruro, confirmando la adsorción de compuestos del hongo en la superficie de las nanopartículas. Según los autores, la unión de las proteínas a las nanopartículas ocurre a través de residuos de cisteína de las proteínas o grupos amino libres (Ahluwalia et al., 2014)

2.2.27. *Trichoderma spp.* como bioestimulante

Los bioestimulantes son sustancia biológicas que se pueden encontrar en las células microbianas, que se identifican por causar sustancias fisiológicamente activa como son las auxinas, giberelinas, citoquininas, aminoácidos, vitaminas y también podemos encontrar ácidos húmicos y fúlvicos. Cuando los bioestimulantes interactúan con la

planta del cultivo de arroz ayuda a estimular su crecimiento y desarrollo. Las especies del género *Trichoderma*, son las más utilizadas para el control de enfermedades causadas por hongos patógenos que se encuentran en el suelo. En el Ecuador instituciones del Estado como lo es el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) al momento de realizar un semillero se recomienda aplicar microorganismos como el *Trichoderma spp*, para prevenir enfermedades radiculares que son capaces de promover el crecimiento, vigor de las plantas y que las raíces sean más robustas, logrando una mayor profundidad y resistencias a sequías que ayudan a absorber los nutrientes que se encuentran en el suelo (Castillo *et al.*,2007).

2.2.28. Sustrato para la captura de *Trichoderma spp*.

Sustrato de quinua: Después de pesar 1 libra de quinua en una balanza digital, se lava con agua caliente y se deja en remojo durante una noche para eliminar la saponina. Al día siguiente, se enjuaga de nuevo con agua caliente hasta que el agua salga clara, luego se cocina a fuego durante 5 minutos. Se procede a colar y colocar en vasos desechables la cantidad de 40 g, se cubre con una gasa sujetado con una liga, finalmente se etiqueta, este mismo procedimiento se realiza para el sustrato de cebada y arroz. Se debe colocar una trampa nutricional con sustrato de arroz, quinua y cebada, a 20 cm de profundidad junto a la raíz del vegetal, luego de dos semanas se procede a observar el arroz con el color específico del hongo (verde), para proceder con su captura y reproducción (Borja Llivigañay & Rocano Bustamante, 2022).

2.2.29. Reproducción de *Trichoderma spp*.

2.2.29.1. Siembra, aislamiento y purificación de potenciales cepas benéficas de *Trichoderma spp*

Antes de sembrar en las cajas de Petri, es importante garantizar la asepsia del área de trabajo. Esto se logra limpiando el área de trabajo con cloro y alcohol, y luego utilizando un mechero de Bunsen durante 15 minutos para prevenir cualquier tipo de contaminación. Para analizar las características de *Trichoderma spp*. en las trampas nutricionales, se debe raspar el medio que las presenta y luego colocar este raspado en los medios de cultivo (Trigo Dextrosa Agar, Maíz Dextrosa Agar y Papa Dextrosa

Agar). Estos medios deben estar distribuidos en cajas Petri plásticas con 20 ml, selladas con Parafilm y etiquetadas (Vallejo, 2014).

2.2.29.2. Agar de Dextrosa y Papa

El medio de cultivo Agar de Dextrosa y Papa utiliza la infusión de papa como fuente de almidón y la dextrosa como base para el crecimiento de hongos y levaduras. El bajo pH (3.5) del medio evita el crecimiento de bacterias. Cuando se va a usar para el recuento de hongos y levaduras, agregar al medio de cultivo una vez esterilizado y enfriado aproximadamente a 45°C, 14 ml de una solución estéril de ácido tartárico al 10% para obtener un pH aproximado de 3.5. Sembrar el medio de cultivo en la superficie o adicionar la muestra para la técnica de vaciado en placa. Incubar hasta 7 días a temperatura ambiente (Probiotek, 2014).

2.2.29.3. Maíz Dextrosa Agar

Medio de cultivo maíz dextrosa agar, tiene la infusión de maíz como fuente de almidones y la dextrosa son la base para el crecimiento de hongos y levaduras el pH debe estar entre los 6 a 6,5 y si no corregir con una gota de solución de ácido clorhídrico hasta dejarlo en el pH óptimo. Si el pH es menor a 6, se ajusta agregando una gota de solución de hidróxido de sodio y se vuelve a verificar. Luego, se coloca el medio en botellas y se sella con papel aluminio, dejándolas semicerradas para permitir la salida de gases. Las botellas se esterilizan en una olla de presión a 121 °C y 15 psi durante 15 minutos. Después de la esterilización, se deja enfriar hasta que los frascos puedan ser manipulados. Posteriormente, se dispensa el medio en cajas Petri, utilizando 20 ml en cada una. Este mismo procedimiento se repite para el sustrato de Trigo Dextrosa Agar (Borja & Rocano, 2022).

2.2.29.4. Purificación de cepas

Una vez desarrolladas las cepas en los diferentes medios de cultivo, se procede a purificar las cepas. Para lo cual se dispensa 20 ml de cada medio en las cajas Petri, con un asa se toma un pequeño raspado y se coloca en el centro de la caja con el nuevo medio, se sella con Parafilm y se etiqueta, posteriormente se coloca en la cámara de incubación a una temperatura de a 27.5°C, se lo deja por un período de 3 a 8 días observándose su comportamiento todos los días (Borja & Rocano, 2022).

2.2.29.5. Identificación macroscópica de los aislados de *Trichoderma* desarrollas en cada uno de los medios.

A medida que *Trichoderma spp.* coloniza la caja, se observa el color, el patrón de crecimiento (regular o irregular) de cada cepa en cada tratamiento, así como el olor que emiten. También se observa la presencia de antibiosis y metabolitos, que se identifican por la coloración que se desarrolla en los tratamientos (Vallejo, 2014).

2.2.29.6. Determinación de morfología en el microscopio

Cada tratamiento se coloca en un portaobjetos con una gota de agua destilada. Usando un asa estéril, se realiza un raspado fino y se coloca sobre la gota de agua. Luego, se coloca un cubreobjetos evitando la formación de burbujas para evitar distorsiones en la imagen. Finalmente, la placa se observa al microscopio para identificar la especie. Para la tinción, se utiliza azul de metileno y las estructuras se visualizan al microscopio con objetivos de aumento de 40x y 100x (con aceite de inmersión) (Vallejo, 2014).

2.2.29.7. Obtención de cultivos monospóricos de *Trichoderma*

Según Covacevich y Consolo (2014) para llevar a cabo la caracterización morfológica de los aislamientos de *Trichoderma spp.*, es necesario obtener cultivos puros derivados de una sola espora. La técnica utilizada implica:

2.2.30. Tipos de inoculación de *Trichoderma spp.*

- Obtener un disco de micelio de tamaño uniforme de cada aislamiento desarrollado en APG.
- Transferir el micelio a 10 ml de agua destilada estéril.
- Agitar en un vortex hasta obtener una suspensión homogénea.
- Hacer diluciones en agua destilada estéril para alcanzar una concentración de 1×10^5 conidios/ml de la cepa.
- Contar las esporas con una cámara de Neubauer.
- Sembrar 200 μ l de la suspensión de conidios en medio sólido agar-agua preparado previamente.

- Observar la germinación de los conidios bajo una lupa después de 24 horas.
- Recolectar trozos individuales de medio de cultivo con los conidios germinados utilizando una aguja esterilizada sobre una llama directa.
- Colocar cada trozo de medio con los conidios en cajas de Petri individuales con medio de cultivo APG al 2%.

2.2.30.1. Inoculación en el suelo

Esta es una de las formas más comunes de inoculación de *Trichoderma* spp. Se mezcla una cantidad adecuada de *Trichoderma*, generalmente en forma de esporas o micelio, con el suelo antes de la siembra. La cantidad exacta de inoculante puede variar dependiendo de las recomendaciones específicas del producto o de la investigación científica. La mezcla se realiza para asegurar una distribución uniforme del hongo en el suelo (Sánchez, 2022).

2.2.30.2. Inoculación en semillas

Antes de la siembra, las semillas pueden ser tratadas con una suspensión de *Trichoderma*, que contiene esporas o micelio del hongo. Esto se hace sumergiendo las semillas en la suspensión o rociándolas con ella. Una vez que las semillas están recubiertas con *Trichoderma*, se pueden sembrar directamente en el suelo. Esta técnica permite una colonización temprana de las raíces por parte de *Trichoderma* y una protección inicial contra patógenos (Sánchez, 2022).

2.2.30.3. Inoculación en plántulas

Si ya tienes plántulas de arroz en el campo o en el vivero, puedes realizar la inoculación de *Trichoderma* en las raíces o alrededor del sistema radicular. Para ello, se puede aplicar una suspensión de *Trichoderma* directamente en la zona de las raíces o mezclar el hongo con un sustrato estéril (como vermiculita o turba) y aplicarlo cerca de las raíces de las plántulas (Sánchez, 2022).

2.2.30.4. Inoculación foliar

En algunos casos, es posible realizar la inoculación de *Trichoderma* directamente en las hojas de las plantas de arroz. Esto se puede hacer utilizando una suspensión de

Trichoderma y aplicándola en forma de pulverización sobre las hojas. Sin embargo, ten en cuenta que la eficacia de la colonización foliar puede variar y que la aplicación en el suelo y en las raíces es más común y efectiva (Sánchez, 2022).

2.2.31. Beneficios de *Trichoderma spp.*

Los microorganismos (*Trichoderma spp.*), benéficos aportan al suelo para que los nutrientes sean más absorbidos por las plantas y desbloquea los minerales pesados que se encuentra en el suelo, como son cobre (Cu), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) y también estamos ayudando a la estimulación radical para que la plantas se desarrolle con más rapidez y cuenten con diversidad de raíces y su protección, y que no sean atacadas por diversos patógenos como bacterias y hongos (*Ralstonia spp.* y *Fusarium spp.*) (Núñez y Pavone, 2014).

Trichoderma spp. puede ayudar a las plantas de arroz a enfrentar condiciones de estrés abiótico, como sequía, salinidad y altas temperaturas. Estos hongos beneficiosos promueven la actividad de enzimas antioxidantes en las plantas, reduciendo el estrés oxidativo y mejorando la tolerancia de las plantas a estas condiciones adversas (Núñez y Pavone, 2014).

2.2.31.1. Defensa en plantas

La colonización de raíces por *Trichoderma* tiene efectos multifuncionales en la biología de cultivos como el maíz, arroz y la soja. Por ejemplo, aumenta la capacidad de defensa y las plantas son más resistentes a enfermedades causadas por hongos y bacterias. Este fenómeno puede ser causado por la inducción de compuestos químicos llamados fitoalexinas, que se acumulan en las plantas en altas concentraciones y ayudan a limitar la propagación del patógeno, o por la activación de vías de señalización relacionadas con la defensa como el ácido salicílico, el ácido jasmónico o el etileno (Garnica & Saraí, 2020).

2.2.31.2. Inducción del crecimiento vegetal

La estimulación del crecimiento y desarrollo de las plantas por parte de *Trichoderma* se conoce desde hace muchos años. Muchas cepas que se han aislado y probado en plantas, ya sea en condiciones de laboratorio o en suelo de campo natural, aumentan

el crecimiento de las raíces aumenta la productividad de la planta. En varios estudios, los investigadores han confirmado que la producción de hormonas vegetales como las auxinas y los compuestos volátiles que libera *Trichoderma* estimulan la ramificación de las raíces y aumenta su capacidad de captar agua y nutrientes minerales (López *et al.*, 2015).

Trichoderma spp. tiene la capacidad de promover el crecimiento de las plantas de arroz. Puede aumentar la absorción de nutrientes, mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, estimular el desarrollo del sistema radicular y promover la producción de fitohormonas que favorecen el crecimiento de las plantas. Como resultado, se puede observar un mayor rendimiento de los cultivos de arroz (López *et al.*, 2015).

2.2.31.3. *Trichoderma spp.*, facilita la asimilación de fósforo en plantas

El problema de la agricultura es el bajo contenido de fósforo del suelo. El fosfato, la forma de fósforo más absorbible, es un macronutriente esencial para el desarrollo y crecimiento de las plantas; componente esencial de la división celular, fotosíntesis, producción de proteínas y ácidos nucleicos; también para la fijación de nitrógeno, biosíntesis de azúcares y almidón y otros procesos metabólicos. Sin embargo, la movilidad y concentración del fósforo en el suelo es muy baja, lo que requiere grandes cantidades de fertilizantes fosfatados, que además de ser muy caros de producir, tienen un impacto negativo en el medio ambiente. Unos 90 litros de fosfato pueden precipitar cuando se aplica en forma insoluble con calcio y metales como el hierro y el aluminio que no se pueden asimilar, lo que limita la producción de cultivos en todo el mundo (Sabando & Zambrano, 2022).

2.2.31.4. Mineralización/biodegradación de sustratos orgánicos por *Trichoderma*

Trichoderma es un hongo metabólicamente versátil capaz de utilizar una amplia gama de biomasa vegetal, incluidos oligosacáridos como sacarosa, rafinosa y polisacáridos como celulosa, inulina, quitina, pectina y almidón, así como sustratos más complejos como suero, hidrocarburos de petróleo e incluso pesticidas, que pueden contribuir a la descomposición. También puede utilizar y degradar residuos lignocelulósicos, que

consisten en celulosa (40-55 %), hemicelulosa (25-50 %) y lignina (10-40 %), dependiendo si la fuente es madera dura, madera blanda o paja (Hernández *et al.*, 2019).

2.2.31.5. Control biológico de enfermedades

Trichoderma spp. tiene la capacidad de combatir con certeza efectivamente patológica que se reduce al cultivo de arroz. Estos hongos son conocidos por su habilidad para colonizar y competir con otros microorganismos, incluyendo patógenos, mediante la liberación de enzimas antifúngicas y la producción de metabolitos que inhiben su crecimiento. Esto puede ayudar a reducir la incidencia de enfermedades causadas por hongos en el arroz (Hernández *et al.*, 2019).

2.2.31.6. Protección directa a suelos y diferentes cultivos

El manejo de las plantas mediante la rotación de cultivos ayuda a *Trichoderma* a eliminar del suelo los fitopatógenos proliferantes (las estructuras de resistencia que el patógeno deja en el suelo para volver a infectar el cultivo cuando se vuelve a sembrar). Por este motivo, el uso del biopreparado en cultivos de rotación en zonas muy infectadas será una forma de ayudar a reducir la población de patógenos en un menor periodo de tiempo (Santana & Vera, 2023).

2.2.31.7. Biorremediación

Se sabe ampliamente que *Trichoderma* exhibe resistencia a diversos compuestos tóxicos, como metales pesados, compuestos organometálicos, efluentes de curtiduría y sustancias químicas perjudiciales, como el cianuro. Esta característica convierte a este hongo en un género utilizado en biorremediación para eliminar contaminantes nocivos (Hasan *et al.*, 2016).

Se ha reportado que algunas especies de *Trichoderma* pueden resistir y acumular diversos metales pesados, como cobre, zinc, cadmio, níquel y arsénico, en entornos de laboratorio. Además, estas especies tienen la capacidad de aumentar la absorción de nitratos y otros iones en las raíces de las plantas, lo que facilita la absorción de varios metales tóxicos y metaloides, promoviendo así la actividad de fitoextracción (Asha *et al.*, 2012).

Unos de los mecanismos utilizados por *Trichoderma* para tolerar metales incluye la inducción de un crecimiento abundante de las raíces de la planta, lo que facilita la hiperacumulación de sustancias tóxicas y protege a la planta contra el daño oxidativo al mejorar la eficiencia en la captación de nutrientes. Un ejemplo de esta capacidad se observa en *T. harzianum*, que desintoxica el cianuro de potasio y, al mismo tiempo, estimula el crecimiento de las raíces del helecho *Pteris vittata* (Mohsenzade et al., 2012).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

Este estudio se clasifica como una investigación bibliográfica. La metodología se basó en la revisión y análisis crítico de la literatura científica existente sobre el tema.

Según Arteaga (2020) la investigación bibliográfica se puede definir como cualquier investigación que implique la recopilación de información a partir de fuentes publicadas. Estos materiales pueden incluir recursos más tradicionales como libros, revistas, periódicos e informes, pero también medios electrónicos como grabaciones de audio y vídeo y películas, y recursos en línea como sitios web, blogs y bases de datos bibliográficas. El diseño implica la revisión sistemática y detallada de estudios, artículos científicos, tesis, informes técnicos y cualquier material relevante sobre el efecto de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz. Esto implica identificar, analizar y sintetizar la información disponible para obtener una comprensión global y actualizada del tema.

3.2 La población y la muestra

3.2.1. Características de la población

Se utilizó literatura científica y académica disponible sobre el efecto de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz. Que incluye artículos científicos, tesis, informes técnicos y cualquier otro material relacionado con el tema que esté accesible y sea relevante para la revisión bibliográfica.

3.2.2. Delimitación de la población

3.2.2.1. Límites geográficos

La búsqueda de información se centró en artículos, tesis y páginas web nacionales e internacionales que muestren el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz.

3.2.2.2. Límites temporales

Se incluyo estudios publicados en los últimos 10-16 años para asegurar que incluyas investigaciones recientes y relevantes sobre el tema.

3.2.3. Tipo de muestra

La muestra se enfocó a diferentes artículos científicos, tesis, libros, páginas web o cualquier recurso especializado para obtener información relevante del campo de estudio que aborden el efecto de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz.

En esta revisión bibliográfica se realizó cuadros comparativos de los diferentes resultados obtenidos por los diferentes autores para poder determinar como el hongo *Trichoderma* y sus cepas mejoran todas las fases fenológicas del cultivo de arroz, además que el efecto bioestimulante ayuda a la resistencia a enfermedades, las variables que se tomaron en consideración fueron las siguientes: Germinación, crecimiento vegetativo, maduración, longitud, densidad, área superficial radicular, absorción de nutrientes y la Resistencia a enfermedades.

3.2.4. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra dependió de la disponibilidad de información relevante y la amplitud de la revisión, y se consideró la calidad, la relevancia y la actualidad de la información utilizando 46 artículos Científicos, 16 tesis de pregrado y 7 páginas web.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

Se utilizo un método claro y sistemático para seleccionar las fuentes bibliográficas que tenga relevancia directa del estudio para el tema, la calidad del estudio, el idioma, la fecha de publicación, entre otros.

3.3. Los métodos y las técnicas

La base de datos que se utilizó es:

- Elsevier
- PubMed
- Páginas Web

- ScienceDirect,
- Web of Science
- BIOSIS Previews
- Biological Abstracts
- Scielo
- Scopus
- Latindex
- World Wide Science
- Dialnet

Y gestores bibliográficos como:

- Zotero
- Mendeley

También se consideró establecer criterios claros para la selección de fuentes bibliográficas, se consideró la validez de los datos, la metodología utilizada, la relevancia de los resultados, la organización de la información de manera clara y precisa, utilizando las citas y referencias bibliográficas adecuadas para respaldar todo el trabajo investigativo.

Para determinar el impacto de *Trichoderma spp.* en sus diferentes etapas fenológicas, se realizó cuadros comparativos donde se tomaron resultados de diferentes autores en la fase vegetativa, reproductiva y de maduración.

Para determinar el efecto de los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.*, en el desarrollo de las raíces del arroz, se realizó cuadros comparativos donde se tomaron resultados de diferentes autores, donde se obtuvieron parámetros mejorados por cada cepa de *Trichoderma*.

Para determinar el efecto que tiene los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.* en la resistencia a enfermedades en el cultivo de arroz, se realizó cuadros comparativos donde se tomaron resultados de diferentes autores, y se determinó que la influencia de las diferentes cepas promueve la salud de la planta haciéndola resistente a enfermedades.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de los resultados

Resultados del objetivo específico 1

- Evaluar el impacto de *Trichoderma spp.* en sus diferentes etapas fenológicas.

Fase Vegetativa

Tabla 1: Tasa de germinación de semillas de arroz y velocidad de germinación por diferentes tratamientos (*Trichoderma* cepas)

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp</i>	(Doni et al., 2014)	Aumentó la tasa de germinación al 99%, la velocidad de germinación a las 44,75 semillas/día en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp</i>	(Castillo et al., 2021)	Aumento la tasa de germinación al 86,7% y el tiempo de germinación al 79.3% en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum.</i>	(Núñez & Pavone, 2014a)	Aumento la tasa de germinación al 99%, la velocidad de germinación a las 40,57 semillas/día en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Núñez & Pavone, 2014)	Aumento la tasa de germinación al 98,67%, la velocidad de germinación a las 43,54 semillas/día en comparación con el testigo.

Tabla 2: Longitud de la raíz y peso seco de la raíz por inoculadas por diferentes cepas de *Trichoderma spp.*

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp</i>	(Doni et al., 2014)	Aumentó la longitud de la raíz al 7,93 cm, y el peso seco de la raíz al 2,33 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum.</i>	(Núñez & Pavone, 2014)	Aumentó la longitud de la raíz al 3,99 cm, y el peso seco de la raíz al 0,33 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Núñez & Pavone, 2014)	Aumentó la longitud de la raíz al 2,52 cm, y el peso seco de la raíz al 0,06 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Ruiz et al., 2022)	Aumentó la longitud de la raíz al 4,36 cm, y el peso seco de la raíz al 0,12 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Ruiz et al., 2022)	Aumentó la longitud de la raíz al 2,25 cm, y el peso seco de la raíz al 0,16 g en comparación con el testigo.

Tabla 3: Altura de la planta y números de macollos inoculadas por diferentes cepas de *Trichoderma spp.*

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp</i>	(Bacusoy, 2021)	Aumentó la altura de la planta en 21,12 cm, y el número de macollos en 76,5 en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum.</i>	(Rodríguez, 2017)	Aumentó la altura de la planta en 7,03 cm, y el número de macollos en 29,48 en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Jácome, 2015)	Aumentó la altura de la planta en 7,7 cm, y el número de macollos en 11,2 en comparación con el testigo.

Fase Reproductiva

Tabla 4: Numero de panículas/m² inoculadas por diferentes cepas de *Trichoderma spp.*

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp</i>	(Estrada, 2017)	Aumentó el número de panículas/m ² en un promedio de 52,1 en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum.</i>	(Ruiz et al., 2022)	Aumentó el número de panículas/m ² en un promedio de 12,25 en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Ruiz et al., 2022)	Aumentó el número de panículas/m ² en un promedio de 24,25 en comparación con el testigo.

Tabla 5: Peso de los 1 000g inoculadas por diferentes cepas de *Trichoderma spp.*

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma viride</i>	(Méndez, 2022)	Aumentó el peso de los 1000 granos con un valor de 2,25 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Méndez, 2022)	Aumentó el peso de los 1000 granos con un valor de 2 g en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Estrada, 2017)	Aumentó el peso de los 1000 granos con un valor de 0,55 g en comparación con el testigo.

Fase de maduración

Tabla 6: Rendimiento de la cosecha por diferentes cepas inoculadas de *Trichoderma spp.*

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Bacusoy, 2021)	Aumentó el rendimiento con un promedio de 3988,6 kg/ha en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Méndez, 2022)	Aumentó el rendimiento con un promedio de 781,07 kg/ha en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Méndez, 2022)	Aumentó el rendimiento con un promedio de 693,98 kg/ha en comparación con el testigo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma viride</i>	(Méndez, 2022)	Aumentó el rendimiento con un promedio de 468,02 kg/ha en comparación con el testigo.

Resultados del objetivo específico 2

- Estudiar el efecto de los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.* En el desarrollo de las raíces del arroz.

Tabla 7: Efecto bioestimulante producido por *Trichoderma spp.* en el desarrollo de las raíces.

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Bacusoy, 2021)	Fortalece el sistema radicular, aumento la longitud de las raíces, mejora la capacidad de absorber nutrientes y resiste condiciones adversas del suelo.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Andrade et al., 2023)	Fomenta el crecimiento y la productividad, así como una mayor disponibilidad de elementos biogénicos como el nitrógeno y el fósforo. Esto conduce a una mejora en la movilización de nutrientes en el suelo y en la materia orgánica, lo que aumenta la capacidad de absorción, transporte de minerales y producción de vitaminas.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Chávez et al., 2020)	Incrementa la longitud, volumen de las raíces y mejora la capacidad para absorber nutrientes.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Pavone, 2022)	Mejora el rendimiento, incrementa el crecimiento vegetal, aumenta las defensas de la planta y modifica el patrón hormonal.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma asperellum</i>	(Rivera et al., 2018)	Produce auxinas que promueven el crecimiento de las raíces, mejoran la absorción de nutrientes y logra tolerancia al estrés abiótico.

Resultados del objetivo específico 3

- Evaluar el efecto que tiene los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.* en la resistencia a enfermedades en el cultivo de arroz.

Tabla 8: Efecto bioestimulante producido por *Trichoderma spp.* en la resistencia a enfermedades en el cultivo de arroz.

Cultivo	Microorganismo	Referencias	Parámetros principales mejorados
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Martínez et al., 2013)	Promueve el crecimiento de las plantas, mejora la resistencia de las plantas, mejora el suelo, y produce compuestos antifúngicos que actúan sobre <i>R. solani</i> y <i>S. rolfii</i> ocasionando la degradación de sus hifas.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Tutivén, 2022)	Coloniza las raíces para competir por espacio y recursos, compitiendo con el patógeno, disminuyendo la probabilidad de infección.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma spp.</i>	(Méndez, 2022)	Tiene capacidad antagonista, estimulador, competencia, mico parasitismo, antibiosis e inducción de resistencia.
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum.</i>	(Andrade et al., 2023)	Genera ácido isoharziánico, el cual tiene propiedades para inhibir el crecimiento de organismos fitopatógenos como <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> y <i>Rhizoctonia solani</i> .
Arroz (<i>Oriza Sativa L.</i>)	<i>Trichoderma harzianum.</i>	(Pérez et al., 2018)	Reduce el crecimiento micelial de <i>R. solani</i> , mejora el suelo y la resistencia a enfermedades.

4.2. Interpretación de los resultados

En la tabla 1 los datos extraídos de investigaciones lideradas por Doni *et al.* (2014), Castillo *et al.* (2021), y Núñez & Pavone (2014) proporcionan una visión integral de los parámetros clave mejorados por diferentes cepas de *Trichoderma*. Este análisis se centra en la tasa de germinación, velocidad de germinación y, en un caso particular, el Índice de Vigor, destacando los porcentajes de mejora para cada autor y microorganismo en cuestión.

En el estudio liderado por Doni *et al.* (2014), se muestra a continuación:

Este diseño experimental fue completamente al azar (con nueve tratamientos y tres repeticiones) se llevó a cabo utilizando diferentes cepas de *Trichoderma spp.* que fueron obtenidas del Laboratorio de Tecnología de Fermentación de la University Kebangsaan Malasia. Cada cepa se cultivó en agar papa dextrosa durante siete días a 30°C. Las esporas resultantes se transfirieron a matraces Erlenmeyer con agua esterilizada.

Las semillas de arroz (variedad MRQ74) se esterilizaron y se sometieron a tratamiento con cada cepa de *Trichoderma spp.* durante 30 minutos, utilizando una suspensión de esporas con una concentración de 107 esporas/ml. Se seleccionaron cien granos de semilla para cada tratamiento. Como control, se utilizaron semillas de arroz remojadas en agua destilada esterilizada. Las semillas tratadas se incubaron durante 5 días a 28 ± 2 °C en placas de Petri esterilizadas con papel de filtro, regadas con 10 ml de agua esterilizada, la presencia de *Trichoderma spp.* resultó en una notable mejora en la tasa de germinación al 99%, y la velocidad de germinación a 44,75 semillas/día en comparación con el testigo. Estos valores reflejan una influencia positiva y consistente de *Trichoderma spp.* en múltiples aspectos del desarrollo vegetativo de las semillas de arroz. Todos los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA).

El trabajo de Castillo *et al.* (2021), se muestra a continuación:

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorio con tres repeticiones, cada una compuesta por 100 semillas. Las semillas tratadas con los microorganismos se sembraron en contenedores plásticos transparentes de 25 x 10 cm, cubiertos, utilizando como sustrato Sphagnum peat moss (Premier®) con una capa de 5 cm de espesor, previamente humedecido a capacidad de campo. Después de la siembra, los contenedores se mantuvieron en condiciones de laboratorio a una temperatura constante de 26 ± 2 °C y un ciclo de 12 horas de luz seguido de 12 horas de oscuridad.

Se obtuvo una mejora del 86,7% en la tasa de germinación, resaltando la eficacia de *Trichoderma spp.* en facilitar la germinación de las semillas de arroz. Aunque el tiempo de germinación se incrementa al 79,3%, se destaca la importancia de evaluar

diferentes parámetros para obtener una comprensión completa del impacto de *Trichoderma spp.*

La investigación de Núñez & Pavone (2014), muestra a continuación:

En el experimento, semillas de *O. sativa* fueron sumergidas durante 24 horas en suspensiones de diferentes cepas de *Trichoderma spp.* Las semillas fueron secadas al aire y utilizadas para diversos ensayos. Se establecieron controles sin hongo, sumergiendo un lote de semillas en agua destilada estéril por 24 horas.

Se utilizaron envases de plástico transparentes con suelo de plantaciones de arroz en el Estado Guárico, Venezuela. Cada envase contenía 3-4 semillas de *O. sativa* inoculadas con cepas de *Trichoderma spp.* Después de la germinación, se dejó una semilla por envase, con reinoculaciones semanales de esporas de *Trichoderma spp.* Tres semanas después de la siembra, se aplicaron láminas de agua a diferentes alturas.

El ensayo incluyó nueve tratamientos (dos cepas de hongos, un control y tres niveles de agua para cada uno). Después de ocho semanas, se tomaron muestras de suelo para determinar la presencia de *Trichoderma spp.* El experimento se llevó a cabo en condiciones de vivero, proporcionando información valiosa sobre el efecto de las cepas de *Trichoderma spp.* en el crecimiento de *O. sativa* y su interacción con diferentes niveles de agua, los resultados obtenidos presentan variaciones ya que se utilizan dos cepas diferentes, una con *Trichoderma harzianum*, en la cual se logró un aumento del 99% en la tasa de germinación y una velocidad de germinación de 40,57 semillas/día. En el caso de *Trichoderma asperellum*, se observa un incremento del 98,67% en la tasa de germinación y una velocidad de 43,54 semillas/día. Estos hallazgos subrayan la diversidad de cepas de *Trichoderma* y su capacidad para mejorar parámetros cruciales en la fase vegetativa del arroz.

Los datos recopilados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) después de verificar que cumplieran con los supuestos necesarios para este tipo de análisis. Se llevaron a cabo comparaciones de medias mediante pruebas post hoc (como la Prueba de Tukey) utilizando el software ssPs statistics v.17.0.

En la tabla 2 estudios realizados por Doni *et al.* (2014), Núñez & Pavone (2014), y Ruiz *et al.* (2022), se evalúan los cambios en la longitud y el peso seco de las raíces como parámetros fundamentales mejorados por la aplicación de estas cepas de *Trichoderma*.

En el estudio liderado por Doni *et al.* (2014) se muestra a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental completamente al azar (con nueve tratamientos y tres repeticiones) descrito en la interpretación de resultados de la tabla 1, donde la aplicación de *Trichoderma spp.* resultó en un aumento sustancial de la longitud de la raíz en un 22,5 cm en comparación con el testigo con valores de 14,57 cm y un incremento en el peso seco de la raíz del arroz en un 4,27 g en comparación con el testigo con valores de 1,94g. Estos resultados reflejan la capacidad de *Trichoderma spp.* para promover el desarrollo extensivo y la biomasa de las raíces de arroz, subrayando su potencial en la mejora de la eficiencia del sistema radicular.

En este estudio liderado por Núñez & Pavone (2014) se muestran a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental en condiciones de vivero descrito en la interpretación de resultados de la tabla 1, donde la aplicación de *Trichoderma harzianum* resultó en un aumento de la longitud de la raíz en 15,09 cm en comparación con el testigo con valores de 11,10 cm y un incremento en el peso seco de la raíz en 1,89 g en comparación con el testigo con valores de 1,56 g. Asimismo, *Trichoderma asperellum* mostró efectos positivos con un aumento de la longitud de la raíz en 13,62 cm en comparación con el testigo con valores de 11,10 cm y un incremento en el peso seco de la raíz en 1,62 g en comparación con el testigo con valores de 1,56 g. Estos hallazgos indican que diferentes cepas de *Trichoderma* pueden tener impactos específicos en las características del sistema radicular del arroz.

En dos estudios liderados por Ruiz *et al.* (2022) se muestran a continuación:

La investigación se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios" en Cuba, utilizando plantas de arroz INCA LP-5 que fueron inoculadas con *Trichoderma Asperellum*. El experimento se llevó a cabo en condiciones de campo

durante los periodos de baja precipitación de 2016 y 2017, en suelos Gleysol Nodular Ferruginoso petroférico con características como pH ligeramente ácido, bajo contenido de materia orgánica y bajos niveles de fósforo asimilable.

El área experimental de 0.6 hectáreas se preparó con tecnología de preparación de suelo en seco y siembra a chorrillo, utilizando una dosis de 120 kg/ha de semilla. Las semillas de arroz fueron lavadas, tratadas con un biopreparado de *Trichoderma* spp, y luego sembradas en parcelas de 9 m². Se implementó un Diseño Experimental en Bloques al Azar con cuatro repeticiones y se incluyó un control con semilla no tratada, la aplicación de *Trichoderma asperellum* demostró incrementos notables en la longitud de la raíz, alcanzando valores de 20,08 cm y 17,92 cm en comparación con el testigo con valores de 15,72 cm respectivamente. Además, se observó un aumento en el peso seco de la raíz, registrando valores de 1,34 g y 1,38 g en comparación con el testigo con valores de 1,22 g. Estos resultados sugieren consistentemente el impacto positivo de *Trichoderma asperellum* en el desarrollo de las raíces de arroz, destacando su potencial para influir en la biomasa radicular.

En la tabla 3 estudios liderados por Bacusoy (2021), Rodríguez (2017), y Jácome (2015), se evalúan las mejoras en la altura de la planta y el número de macollos, destacando los porcentajes de cambio como parámetros clave influenciados por la aplicación de estos microorganismos.

En el estudio liderado por Bacusoy (2021) se muestran a continuación:

El estudio se llevó a cabo en la comunidad "Las Gilces-Crucita", ubicada en el cantón Portoviejo de la provincia de Manabí, Ecuador, durante el periodo de febrero a junio de 2021.

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar, compuesto por cuatro tratamientos más un control, con cuatro repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Estas unidades consistieron en parcelas con dimensiones de 6 metros de ancho y 5 metros de longitud, conformando un área total de ensayo de 600 metros cuadrados, la aplicación de *Trichoderma* spp. resultó en un notable aumento del 107,80 cm en la altura de la planta en comparación con el testigo con valores de 86,68 cm y un incremento del 157,50 en el número de macollos en comparación con

el testigo con valores de 81,00 macollos. Estos resultados indican una influencia significativa y positiva de *Trichoderma spp.* en el crecimiento vertical y la proliferación de macollos en las plantas de arroz.

En la investigación dirigida por Rodríguez (2017), se muestra a continuación:

El estudio se llevó a cabo en la localidad de "El Socorro", situada en la vía Vinces-Palestina. Se empleó la variedad de arroz INIAP 14, desarrollada y liberada en 1999 por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). La experimentación se guio por un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) que incluyó tres tratamientos y un testigo, distribuidos en cuatro repeticiones, dando lugar a un total de 16 unidades experimentales, la aplicación de *Trichoderma harzianum* generó un aumento en la altura de la planta del 81,58 cm en comparación con el testigo con valores de 74,55 cm y un incremento en el número de macollos de 127,48 en comparación con el testigo con valores de 98 macollos. Aunque los valores son ligeramente inferiores a los obtenidos con *Trichoderma spp.*, estos resultados indican que *Trichoderma harzianum* también tiene un impacto positivo en el desarrollo de las plantas de arroz.

En el estudio liderado por Jácome (2015), se muestra a continuación:

El estudio se realizó en los terrenos de la granja experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el kilómetro 7.5 de la carretera Babahoyo-Montalvo. Se implementaron 16 tratamientos utilizando un diseño experimental de Bloques Completamente al Azar, organizados en un arreglo factorial A x B. El factor A consistió en dos tipos de biofertilizantes, mientras que el factor B comprendió fitohormonas, incluyendo un grupo de control, la aplicación de *Trichoderma spp.* resultó en un aumento de la altura de la planta de 105,2 cm en comparación con el testigo con valores de 97,5 y un incremento de 137,70 en el número de macollos en comparación con el testigo con valores de 101,3 macollos. Estos resultados sugieren una consistencia en los efectos beneficiosos de *Trichoderma spp.* en la promoción del crecimiento vertical y la ramificación en las plantas de arroz.

En la tabla 4 estudios dirigidos por Estrada (2017) y Ruiz *et al.* (2022) proporcionan datos cruciales para comprender cómo la aplicación de estos microorganismos puede influir en la mejora del número de panículas por metro cuadrado.

En el estudio de Estrada (2017), se muestra a continuación:

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con disposición grupal y factorial (A x B + 2), que incluyó 12 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Los tratamientos consistieron en cinco niveles de dosis de *Trichoderma* (0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 l/ha), aplicados en dos momentos distintos: 30 y 50 días después del trasplante con *Trichoderma* al semillero, y 30 y 50 días después del trasplante sin *Trichoderma* al semillero. Además, se incluyeron dos grupos de control químicos, uno con *Trichoderma* y otro sin *Trichoderma* en el semillero, la aplicación de *Trichoderma spp.* resultó en un impresionante aumento del número de panículas por metro cuadrado, con un promedio de 548 en comparación con el testigo con valores de 495,90 N°/panículas/m². Este hallazgo sugiere que *Trichoderma spp.* tiene un impacto significativo en la formación y proliferación de panículas en el cultivo de arroz, lo cual es crucial para la producción de granos.

En los dos experimentos liderados por Ruiz *et al.* (2022), la aplicación de *Trichoderma asperellum* también generó mejoras en el número de panículas por metro cuadrado. Los promedios obtenidos fueron de 257,50 y 267,32, en comparación con el testigo con valores de 245,25 N°/panículas/m² respectivamente, en la fase reproductiva.

En la tabla 5 estudios dirigidos por Méndez (2022) y Estrada (2017) manifiestan que la aplicación de estos microorganismos (Diferentes cepas de *Trichoderma*) puede influir en el peso de los 1 000 granos.

En el estudio de Méndez *et al.* (2022), se muestra a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental descrito en la interpretación de resultados de la tabla 2, la aplicación de *Trichoderma viride* resultó en un aumento del peso de los 1 000 granos con un valor de 26 g, mientras que *Trichoderma harzianum* mostró un incremento con un valor de 25,75 g en comparación con el testigo con valores de 23,75 g. Estos resultados indican que ambas cepas de *Trichoderma* tienen un impacto

positivo en el peso de los granos de arroz, mejorando potencialmente la calidad del rendimiento.

En el estudio liderado por Estrada (2017), se muestra a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental descrito en la interpretación de resultados de la tabla 4, la aplicación de *Trichoderma spp.* resultó en un aumento significativo en el peso de los 1000 granos, con un valor de 29,25 g en comparación con el testigo con valores de 28,70 g. Este hallazgo destaca la capacidad de *Trichoderma spp.* para influir de manera positiva en la formación y desarrollo de granos, lo que podría tener implicaciones importantes para la calidad del arroz cosechado.

En la tabla 6 estudios dirigidos por Bacusoy (2021) y Méndez (2022) hacen énfasis que la aplicación influye en el rendimiento del grano al momento de la cosecha en la fase de maduración.

En el estudio liderado por Bacusoy (2021), se muestra a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental descrito en la interpretación de resultados de la tabla 3, la aplicación de *Trichoderma harzianum* resultó en un aumento significativo en el rendimiento del arroz, con un promedio de 8068,1 kg/ha en comparación con el testigo con valores de 4079,5 kg/ha. Este resultado indica que *Trichoderma harzianum* tiene un impacto positivo y consistente en la producción total del cultivo de arroz.

En el trabajo de Méndez (2022) se muestra a continuación:

El diseño implementado fue el de bloques completamente al azar (DBCA), que incluyó cinco tratamientos diferentes: tres cepas de *Trichoderma* (*Trichoderma asperellum*, *harzianum* y *viride*), un tratamiento convencional utilizando el fungicida Silvacur, y un grupo de control absoluto. Cada tratamiento se replicó cuatro veces, lo que sumó un total de 20 unidades experimentales, cada una con dimensiones de 4 m x 4 m. El área total del proyecto abarcó 456 m².

La investigación se llevó a cabo con el análisis de cinco tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones. Para las cepas de *Trichoderma spp.*, se emplearon dosis

comerciales de los productos. Asimismo, se incluyó un testigo convencional en el estudio. Este proyecto de investigación adopta un enfoque experimental y exploratorio, centrándose en el uso efectivo de biocontroladores fúngicos en el cultivo de arroz. Se realizaron tanto estudios en campo como en laboratorio, recopilando datos estadísticos para obtener información relevante sobre el cultivo de arroz, *Trichoderma harzianum* mostró un promedio de 6451,63 kg/ha, *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma viride* mostraron un rendimiento promedio de 6364,54 kg/ha en comparación con el testigo con valores de 5670.56 kg/ha. Estos resultados indican que todas las cepas evaluadas tienen un impacto positivo en el rendimiento del arroz.

En la tabla 7 estudios dirigidos por Bacusoy (2021), Andrade et al. (2023), Chávez et al. (2020), Pavone (2022) y Rivera et al. (2018) proporcionan información valiosa sobre cómo la aplicación de *Trichoderma* puede fortalecer el sistema radicular, estimular el crecimiento, mejorar la absorción de nutrientes y aumentar la resistencia a condiciones adversas.

El estudio de Bacusoy (2021) se muestran a continuación:

Se aplicó el mismo diseño experimental descrito en la interpretación de resultados de la tabla 3, el autor destaca que *Trichoderma harzianum* fortalece el sistema radicular del arroz, aumenta la longitud de las raíces y mejora la capacidad de absorber nutrientes. Estos resultados sugieren una contribución significativa a la salud y el desarrollo general de la planta.

El estudio liderado por Andrade et al. (2023) en su artículo de revisión destaca que *Trichoderma spp.* estimula el crecimiento y rendimiento del arroz, promoviendo una mayor disponibilidad de elementos biogénicos como nitrógeno y fósforo. Estos resultados sugieren un impacto positivo en la movilización de nutrientes y la intensidad de captación.

El estudio de Chávez et al. (2020) se muestran a continuación:

Sucre, provincia de Manabí. La cepa nativa utilizada fue obtenida del suelo en la parroquia Membrillo, cantón Bolívar, también en la provincia de Manabí. Este suelo

tiene una textura franca (48 % arena, 40 % limo, 12 % arcilla) y un pH de 6,6.

En el estudio se emplearon 20 kilogramos de semilla de arroz de la variedad SFL 11. Para los tratamientos que involucraban *Trichoderma*, las semillas fueron sometidas a un proceso de imbibición en agua durante 24 horas y luego expuestas al ambiente durante 48 horas, cubriéndolas con una lona para la pregerminación. En el caso del tratamiento con lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, las semillas fueron sumergidas en esta solución durante 24 horas antes de la siembra.

El semillero se preparó utilizando un motocultor para arar la tierra, nivelando el área para un adecuado control del agua. La siembra de la semilla pregerminada se llevó a cabo manualmente, esparciéndola de manera uniforme sobre el suelo.

Se implementaron 8 tratamientos, seis con *Trichoderma spp.* en dosis de 2, 4 y 6 mL (1×10^{-8} UFC mL⁻¹) por litro de agua, aplicados a los 5 y 15 días después de la siembra, en este estudio se encuentra que *Trichoderma spp.* incrementa la longitud y el volumen de las raíces, mejorando la capacidad de absorber nutrientes. Estos resultados resaltan la contribución de *Trichoderma* al desarrollo radicular y a la eficiencia nutricional de la planta.

En el estudio de Pavone (2022), en su artículo de divulgación destaca que *Trichoderma spp.* mejora el rendimiento, incrementa el crecimiento vegetal, aumenta las defensas de la planta y modifica el patrón hormonal. Estos resultados subrayan la influencia positiva y multifacética de *Trichoderma* en el desarrollo y la respuesta de la planta.

El estudio de Rivera *et al.* (2018) se muestran a continuación:

La investigación se llevó a cabo durante los años 2015 y 2016, con una fase inicial que involucró la inoculación de semillas con *T. asperellum*. Las semillas fueron plantadas en bandejas plásticas con capacidad para 288 plantas, utilizando una mezcla de sustrato compuesto por 1/3 de abono orgánico y 2/3 de suelo con granza de arroz. Este sustrato fue desinfectado previamente con vapor a 80°C. Las bandejas se llenaron manualmente, y la siembra se realizó con una sembradora mecánica. Luego, se cubrieron con una capa de sustrato y se aplicaron los distintos tratamientos.

Las bandejas se ubicaron en un cuarto de germinación a 23°C con una humedad relativa del 96%. Después de 15 días, se trasladaron al invernadero, continuando con el crecimiento y las aplicaciones de los tratamientos. Durante esta etapa, se manejaron las plántulas de manera convencional en términos de fertilización y control de plagas.

Al momento de llevar las plántulas al campo, se seleccionaron 30 por tratamiento para evaluar el efecto de *T. asperellum*. Se incorporaron dos tratamientos adicionales, utilizando un filtrado preparado en el Centro de Investigaciones en Biotecnología (CIB). Este filtrado, obtenido a partir de un cultivo de *T. asperellum*, se utilizó como fuente de metabolitos secundarios. Las aplicaciones de cada tratamiento, incluyendo el filtrado, se realizaron cada 10 días durante el período de crecimiento del cultivo. Las dosis variaron, siendo del 100% correspondiente a 4,5 ml/litro de mezcla de aplicación, y del 50% a 2,25 ml del preparado de metabolitos secundarios, los resultados indican que *Trichoderma asperellum* produce auxinas que promueven el crecimiento de las raíces, mejoran la absorción de nutrientes y logran tolerancia al estrés abiótico. Estos resultados sugieren un papel clave de *Trichoderma asperellum* en el desarrollo radicular y la resistencia de la planta a condiciones desafiantes.

En la tabla 8 estudios por Martínez *et al.* (2013), Tutivén (2022), Méndez (2022), Andrade *et al.* (2023) y Pérez *et al.* (2018) sobre cómo la aplicación de *Trichoderma* puede promover el crecimiento, mejorar la resistencia, competir con patógenos y reducir el crecimiento de hongos fitopatógenos.

Martínez *et al.* (2013) en su artículo de reseña destaca que *Trichoderma harzianum* promueve el crecimiento de las plantas de arroz, mejora la resistencia de las plantas, mejora el suelo y produce compuestos antifúngicos que afectan a patógenos como *R. solani* y *S. rolfsii*, degradando sus hifas. Estos resultados sugieren una influencia positiva en la salud general de las plantas y la capacidad para controlar patógenos específicos.

El estudio de Tutivén (2022) se muestran a continuación:

El presente estudio de investigación se llevó a cabo en el Cantón Daule, ubicado en la provincia del Guayas, con el objetivo de evaluar la efectividad de distintos

tratamientos en el cultivo de arroz de la variedad SFL-011 y realizar una estimación económica de dichos tratamientos. Se examinaron seis tratamientos: 1) *Bacillus subtilis* (Serenade), 2) *Bacillus licheniformis* (Biogen), 3) *Trichoderma spp.* (Trichoplus), 4) *Glomus iranicum* (Humiza), 5) un testigo químico (Silvacur combi) y 6) un testigo absoluto. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, y se implementaron 10 unidades experimentales para cada repetición. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar, en su investigación resalta que *Trichoderma spp.* coloniza las raíces del arroz para competir por espacio y recursos con patógenos, disminuyendo así la probabilidad de infección. Este enfoque de competencia directa contribuye a la resistencia de las plantas a patógenos específicos del suelo.

El estudio de Méndez (2022) se muestran a continuación:

Se utilizó el mismo diseño experimental que se describe en la interpretación de los resultados de la tabla 5, donde se evidencian varios mecanismos de acción de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz, como su capacidad para actuar como agente antagonista, estimulante, competidor, micoparásito, productor de antibióticos e inductor de resistencia. Estos hallazgos resaltan la versatilidad de *Trichoderma spp.* en la promoción de la salud y la resistencia de las plantas.

Andrade *et al.* (2023) en su artículo de revisión evidencia que *Trichoderma harzianum* genera ácido isoharziánico, el cual tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de fitopatógenos como *Sclerotinia sclerotiorum* y *Rhizoctonia solani*. Este compuesto antifúngico resalta la habilidad específica de *Trichoderma harzianum* para combatir patógenos dañinos.

El estudio de Pérez *et al.* (2018) se muestran a continuación:

La investigación se ejecutó en la casa de cultivo del Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) de la Universidad Central Marta Abreu, ubicado en la provincia de Villa Clara, Cuba, durante el periodo de mayo a septiembre de 2012. Se utilizaron bolsas de polietileno como unidad experimental, cada una con 5 kg de suelo esterilizado mediante autoclave a 121 °C durante 30 minutos. La fertilización se llevó a cabo con una cantidad de 1200 kg·ha⁻¹ de nitrógeno,

34 kg·ha⁻¹ de fósforo y potasio, y 4 kg·ha⁻¹ de zinc asimilable, utilizando urea, superfosfato triple, cloruro de potasio y sulfato de zinc. La siembra se realizó directamente con tres semillas por bolsa de la variedad Perla de Cuba, cuyas semillas desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1 % fueron lavadas con agua destilada estéril durante tres minutos, y tuvieron un poder germinativo del 95 %.

Para cada agente fitopatógeno, se diseñó un experimento completamente aleatorizado con nueve tratamientos y cuatro réplicas. Estos tratamientos incluyeron la aplicación del agente de control biológico *T. harzianum* (cepa A-34) y sus filtrados de cultivo a diferentes diluciones, un control relativo que empleó el fungicida Amistar 250 SC (Azoxistrobina) de Syngenta, y un control absoluto, los resultados muestran que *Trichoderma harzianum* reduce el crecimiento micelial de *R. solani*, mejora la salud del suelo y aumenta la resistencia a enfermedades. Estos resultados indican una influencia directa en la reducción de patógenos específicos del suelo y la mejora general de la resistencia de la planta.

4.3 Discusión

De acuerdo con Estrada (2017) el género *Trichoderma spp.* posee mecanismos antagónicos sobre fitopatógenos, tales como competencia por nutrientes, micoparasitismo, antibiosis y efectos sobre las plantas, implicando la modificación de la rizosfera, colonización radical, solubilización de nutrientes, promoción del crecimiento, tolerancia a estrés de tipo biótico y abiótico, e inducción de resistencia a enfermedades y plagas.

Los estudios realizados por Andrade *et al.* (2023) concuerdan con nuestro estudio de revisión bibliográfica, el hongo *Trichoderma spp.* puede ser empleado como un bioestimulante en las plantas, ya que tiene la capacidad de estimular su crecimiento y rendimiento, así como de promover una mayor disponibilidad de elementos biogénicos como el nitrógeno y el fósforo. Esto conlleva a una mejora en la movilización de nutrientes del suelo y de la materia orgánica, lo que incrementa la capacidad de absorción, transporte de minerales y producción de vitaminas.

De acuerdo Ruiz *et al.* (2022) el uso excesivo de insumos (fertilizantes y plaguicidas) están entre las causas que han incidido negativamente en la disminución de

rendimientos en los cultivos. Ante esta problemática, una opción a considerar es la aplicación de *Trichoderma spp.*, ya que posee mecanismos de acción tanto directos como indirectos que lo convierten en un agente eficaz de control biológico y promotor del crecimiento de las plantas. Estos microorganismos tienen la capacidad de descomponer elementos nutritivos que son aprovechados por las plantas y de crear un entorno propicio para el desarrollo de las raíces, lo que mejora la capacidad de las plantas para resistir tanto factores bióticos como abióticos. Esto hace que *Trichoderma spp.* sea considerado como un bioestimulante.

Los resultados obtenidos por Doni *et al.* (2014), concuerdan con los obtenidos por Núñez & Pavone (2014), donde los porcentajes de germinación fueron altos en las semillas de arroz tratadas con *Trichoderma spp.* con un porcentaje del 96 al 99%. La velocidad de germinación también fue alta para las semillas de arroz tratadas con *Trichoderma spp.* en rangos que osciló entre 36,2 y 44,75 semillas/día. La hormona del crecimiento producida por *Trichoderma* mejora la germinación y la velocidad.

Los resultados obtenidos por Bacusoy (2021) mostraron que las plantas de arroz inoculadas con *Trichoderma spp.* tuvieron un crecimiento significativo para la altura de la planta con un promedio de 107,80 cm y números de macollos con un promedio de 157,50 macollos, según lo informado por Chowdappa *et al.* (2013) las plantas de arroz tratadas con *Trichoderma spp.* tienen una mejor absorción de nutrientes, además de actuar a diferentes mecanismos como la amortiguación ambiental (contra el pH, la sequía, el anegamiento, el frío y el calor), la solubilización de P y la producción de sideróforos.

Trichoderma spp. aplicado a las plantas de arroz reportadas en esta investigación de revisión bibliográfica tuvo un aumento significativo en la longitud de la raíz del arroz en rangos de 17,17 y 22,5 cm y el peso seco de la raíz en rangos de 2,2 y 4,27 cm. Nawrocka y Małolepsza (2013) afirmaron que la capacidad de *Trichoderma spp.* libera inductores que pueden contribuir a la transmisión de señales dentro de la planta, como el ácido salicílico (SA), el ácido jasmónico (JA) y las especies reactivas de oxígeno (ROS). Los elicitores liberados por *Trichoderma spp.* participan en el desencadenamiento de expresiones de proteínas de defensa dentro de la planta, de esta manera se induce la inmunidad de las plantas contra los patógenos y, a su vez, se mejora el crecimiento de las plantas.

Trichoderma harzianum, según Bacusoy (2021), exhibe el rendimiento más alto con un aumento del 8068,1 kg/ha, seguido por *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma viride*, ambos con un promedio de 6364,54 kg/ha, según Méndez. La variabilidad en los resultados podría deberse a diferencias en las condiciones experimentales, como el tipo de suelo, prácticas agronómicas y cepas específicas de *Trichoderma* utilizadas. Estos hallazgos resaltan la capacidad general de las cepas para mejorar el rendimiento del arroz, lo que tiene implicaciones positivas para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola.

Mientras que algunos estudios se centran en mecanismos específicos como la producción de compuestos antifúngicos (Martínez *et al.*, 2013; Andrade *et al.*, 2023), otros resaltan estrategias más amplias como la colonización de raíces y la competencia por recursos (Tutivén, 2022; Méndez, 2022; Pérez *et al.*, 2018). La diversidad en los resultados sugiere que la eficacia de *Trichoderma* puede depender de la cepa específica utilizada, las condiciones del suelo y los patógenos presentes.

Cada estudio resalta la capacidad de las cepas de *Trichoderma* para mejorar diversos aspectos del desarrollo de las plantas de arroz. Mientras que Bacusoy (2021) se centra en el fortalecimiento del sistema radicular, otros estudios como Carrillo (2023), Andrade *et al.* (2023), Chávez *et al.* (2020), Pavone (2022) y Rivera *et al.* (2018) exploran aspectos adicionales como la producción de hormonas de crecimiento, estimulación del desarrollo, mejora del rendimiento y resistencia a condiciones adversas. La variabilidad en los resultados puede estar relacionada con factores como la cepa específica de *Trichoderma* utilizada, las condiciones del suelo y las prácticas agronómicas.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El presente estudio de revisión bibliográfica se enfocó en determinar el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* a lo largo de las diferentes etapas del cultivo de arroz, con el propósito de contribuir al entendimiento de sus potenciales beneficios en el desarrollo vegetal y la resistencia a enfermedades, aunque hubo limitaciones sobre fuentes bibliográficas de los últimos 15 años se logró la pertinencia y evaluación de todos los objetivos propuesto lo que permiten extraer las siguientes conclusiones:

La evidencia recopilada respalda el efecto bioestimulante de *Trichoderma spp.* en el crecimiento y desarrollo del arroz a lo largo de sus etapas fenológicas. En los resultados se observó una mejora sustancial en la germinación, el crecimiento vegetativo y la maduración, señalando la eficacia de *Trichoderma spp.* como promotor del desarrollo integral del cultivo.

También se destaca el impacto positivo de los bioestimulantes producidos por *Trichoderma spp.* en el desarrollo radicular, por lo que se registra un aumento en la longitud, densidad y capacidad de absorción de nutrientes por parte de las raíces, indicando beneficios notables para el sistema radicular del arroz.

Los resultados respaldan la mejora de la resistencia del arroz frente a enfermedades mediante la aplicación de bioestimulantes de *Trichoderma spp.*, en los resultados se observa una reducción sustancial en la incidencia y severidad de patógenos conocidos, como hongos o bacterias, destacando el potencial de *Trichoderma spp.* para fortalecer la salud y resistencia del cultivo.

Además, los metabolitos tienen la capacidad de mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas al influir en procesos clave como la absorción de nutrientes, la resistencia a enfermedades y estrés, y la actividad antioxidante. Entre estos metabolitos se encuentran el ácido salicílico (SA), el ácido jasmónico (JA) y las especies reactivas de oxígeno (ROS).

5.2. Recomendaciones

Basadas en los hallazgos y conclusiones de esta investigación sobre el impacto de *Trichoderma spp.* en el cultivo de arroz, se presentan las siguientes recomendaciones:

Se recomienda llevar a cabo ensayos de campo a gran escala para evaluar la eficacia de *Trichoderma spp.* en condiciones agrícolas reales. Estos estudios deben considerar factores climáticos, tipos de suelo y prácticas agrícolas específicas para proporcionar orientación práctica a los agricultores.

Dado que la eficacia de *Trichoderma spp.* puede depender de la dosificación, se sugiere realizar investigaciones adicionales para determinar la concentración óptima en diferentes contextos agrícolas. Esto garantizará una aplicación eficiente y rentable de los bioestimulantes.

Se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre las interacciones entre *Trichoderma spp.* y otros insumos agrícolas comunes, como fertilizantes y pesticidas. Comprender estas interacciones puede optimizar estrategias agrícolas integrales.

Para evaluar a largo plazo la sostenibilidad y los efectos continuos de *Trichoderma spp.*, se sugiere establecer programas de monitoreo continuo en áreas donde se implementen estas prácticas. Esto permitirá evaluar la estabilidad de los beneficios y realizar ajustes según sea necesario.

Implementar programas de educación para agricultores y profesionales agrícolas sobre los beneficios y aplicaciones adecuadas de *Trichoderma spp.* Esto incluye la capacitación en la identificación de condiciones favorables para su aplicación y la comprensión de sus mecanismos de acción.

La incorporación de *Trichoderma spp.* en la agricultura puede ser una estrategia valiosa para mejorar el rendimiento del cultivo, fomentar el desarrollo radicular y fortalecer la resistencia a enfermedades. Estos hallazgos respaldan la importancia de considerar la aplicación de bioestimulantes como parte integral de prácticas agrícolas sostenibles.

Bibliografía

1. AHLUWALIA, V.; KUMAR, J.; SISODIA, R.; SHAKIL, N. A.; WALIA, S. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles by *Trichoderma harzianum* and their bio-efficacy evaluation against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumonia*. *Industrial Crops and Products*, v. 55, p. 202-206
2. Asha S., Manna MC., Asit M., Subba Rao A., Jyoti T., (2012). Exploring bioaccumulation efficacy of *Trichoderma viride*: an alternative bioremediation of cadmium and lead. *National Academy Science Letters*. 3: 299-302.
3. Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023a). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: Una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, S0325754123000603. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
4. Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023b). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: Una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, S0325754123000603. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
5. Arroyo, J. A. S. (2019). Parasitismo in vitro de *Trichoderma asperellum* contra *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. *Alcances Tecnológicos*, undefined-undefined. <https://doi.org/10.35486/at.v0i0.186>
6. Ayala, H., & Romero, H. (2013). Hidrólisis enzimática de la cascarilla de arroz utilizando *Trichoderma reesei*. *Redalyc*, 839-845.
7. Bacusoy, J. (2021). *USO DEL HONGO TRICHODERMA (TRICHODERMA SP) COMO BIOFERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE ARROZ (ORYZA SATIVA L.), COMUNIDAD "LAS GILCES-CRUCITA* [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo), UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3421/1/TESIS%2C%20Uso%20del%20hongo%20Trichoderma%20%28Trichoderma%20sp%29%20como%20biofertilizante%20en%20el%20cultivo%20de%20arroz%20%28Or.pdf>
8. Bacusoy, J. E., & Fienco, A. R. (2023). *Trichoderma harzianum* como biofertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) para una producción ecosostenible. *Volumen 7*(Número 1), 7(1), 9762-9776. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5089
9. Barboza García, A., Pérez Cordero, A., & Chamorro Anaya, L. M. (2022).

- Especies nativas de *Trichoderma* aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra *Phytophthora cinnamomi*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 102-116. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1852>
10. Bigirimana, V. de P., Hua, G. K. H., Nyamangyoku, O. I., & Höfte, M. (2015). Rice Sheath Rot: An Emerging Ubiquitous Destructive Disease Complex. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01066>
 11. Borja Llivigañay, J. P., & Rocano Bustamante, K. M. (2022). *Captura, reproducción y aplicación del hongo Trichoderma*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23899>
 12. Castillo, F., Castillo, D., Sáenz, J., Rueda, A., & Sáenz, T. (2021). *Efectos del pretratamiento con Trichoderma y Bacillus en la germinación de semillas de Agave victoriae-reginae T. Moore | Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/844>
 13. Chávez, J., Torres, A., Espinoza, E., & Zambrano, D. (2020). *Respuesta morfofisiológica de la raíz del arroz (Oryza sativa L.) variedad SFL 11 en fase de semillero a la aplicación de cepa nativa de Trichoderma sp. Y lixiviado de vermicompost bovino*. Núm. 23, 12.
 14. Chowdappa, P., Kumar, S., Lakshmi, M., & Upreti, K. K. (2013). Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biological Control*, 65, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.009>
 15. Colina Navarrete, E. N., Castro Arteaga, C. A., Rodriguez Gaibor, J. D., Garcia Vasquez, G. E., Uvidia Velez, M. V., & Santana Aragoné, D. X. (2017). Eficiencia agronómica del arroz INIAP-17 con niveles de fertilización química y biológica en el Litoral Ecuatoriano. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 2(6), 10-15.
 16. Covacevich, F., & Consolo, V. (2014). *Manual de protocolos, herramientas para el estudio y manipulación de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Trichoderma.: Vol. I (1a ed.)*. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/108183/CONICET_Digital_Nro.a4735b83-ea20-4ed0-bd08-d4bfaacfe40_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
 17. Doni, F., Anizan, I., & Radziah, C. M. Z. C. (2014). Enhancement of Rice Seed Germination and Vigour by *Trichoderma* spp. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(21), Article 21. <https://doi.org/10.19026/rjaset.7.832>
 18. Estrada Carchi, J. I. (2017). *Efectos y épocas de aplicación de cinco dosis de trichoderma spp en las enfermedades del cultivo de arroz Oryza sativa L.*

- [bachelorThesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15624>
19. Estrada, J. (2017). "EFECTOS Y ÉPOCAS DE APLICACIÓN DE CINCO DOSIS DE *Trichoderma spp* EN LAS ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa L*)" [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo), UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL].
<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d375c84a-3243-45e6-9b8f-8149b68ee01a/content>
 20. Fabiano, A. B. C., Rossi, L. J. B., & Córdoba, S. M. T. (2021). Trichoderma strains selection for biological control of *Fusarium nygamai* in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), Article 1.
 21. FAO. (2020). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales | Situación Alimentaria Mundial | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
<https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
 22. Figueroa Planas, M. P. (2020). *Evaluación de la eficacia de Plata Coloidal sobre el complejo de enfermedades en el cultivo de arroz (*Oryza sativa. L*)*" [bachelorThesis, BABAHOYO:UTB,2020].
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8433>
 23. García, E. D. L., Litardo, R. M., Vélez, M. U., & Pérez, Á. P. (2022). Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oriza sativa L.*) en el cantón Babahoyo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2), Article 2.
<https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.686>
 24. Garnica, A., & Saraí, E. (2020). *TRICHODERMA: UN HONGO BIOFERTILIZANTE*. <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/267-numero-31/482-trichoderma-un-hongo-biofertilizante.html>
 25. González, B., Domínguez Arizmendi, G., García Velasco, R., Companioni González, B., Domínguez Arizmendi, G., & García Velasco, R. (2019). Trichoderma: Su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. *Bioteología Vegetal*, 19(4), 237-248.
 26. Guerrero, Y. A., Rodríguez, A. H., Rodríguez, N. R., & Lauzardo, A. H. (2011). Perspectivas del uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa L.*). *Revista Colombiana de Bioteología*, 13(1), Article 1.
 27. Guillén-García, C. E., Dávila-Albarrán, M. J., Guillén-García, L. G., & Guillén-Pérez, L. A. (2021). Características espectrales del arroz (*Oryza sativa L.*) bajo condiciones de acamado por paja rugosa (*Ischaemum rugosum* Salisb.). *Revista*

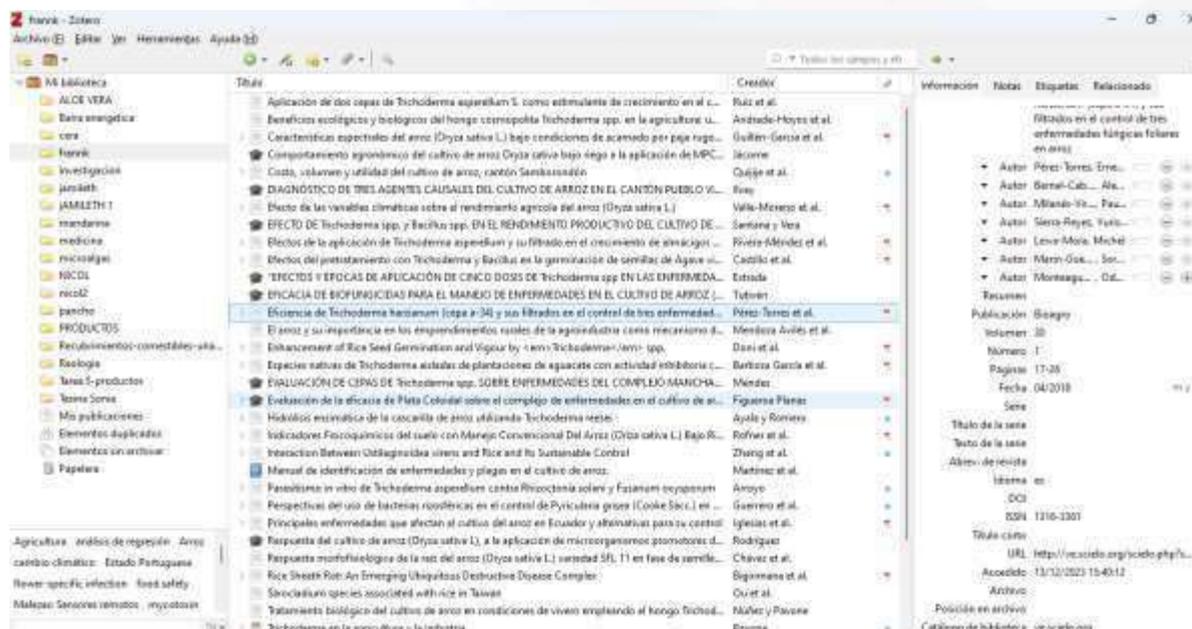
- Geográfica de América Central*, 1(66), 385-406.
28. Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019a). Trichoderma: IMPORTANCIA AGRÍCOLA, BIOTECNOLÓGICA, Y SISTEMAS DE FERMENTACIÓN PARA PRODUCIR BIOMASA Y ENZIMAS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
 29. Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019b). Trichoderma: IMPORTANCIA AGRÍCOLA, BIOTECNOLÓGICA, Y SISTEMAS DE FERMENTACIÓN PARA PRODUCIR BIOMASA Y ENZIMAS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
 30. Iglesias, D. C. H. I. P., Delgado, Ms. I. R., & Batista, D. C. R. M. G. (2018). Principales enfermedades que afectan al cultivo del arroz en Ecuador y alternativas para su control. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), Article 1.
 31. IICA. (2023). *Aumenta 137% el valor de las importaciones de fertilizantes químicos de América Latina y el Caribe en 2022*. Blog Del IICA. <https://blog.iica.int/index.php/en/blog/aumenta-137-valor-las-importaciones-fertilizantes-quimicos-america-latina-caribe-en-2022>
 32. Ilvay, C. (2021). *DIAGNÓSTICO DE TRES AGENTES CAUSALES DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL CANTÓN PUEBLO VIEJO, LOS RIOS* [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo), UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR]. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ILVAY%20CARANQUI%20CARLOS%20ALFREDO.pdf>
 33. Jácome, M. (2015). *Comportamiento agronómico del cultivo de arroz *Oryza sativa* bajo riego a la aplicación de MPC microorganismos promotores de crecimiento y hormonas vegetales en la zona de Babahoyo*. [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo), UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/1070/T-UTB-FACIAG-AGR-000208.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 34. Jennifer Paola Borja Llivigañay & Karla Maribel Rocano Bustamante. (2022). *Captura, reproducción y aplicación del hongo Trichoderma*. 3.
 35. López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., & Herrera-Estrella, A. (2015). Trichoderma as biostimulant: Exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043>

36. Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). Trichoderma spp. Y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal*, 28(1), 1-11.
37. Martínez, S., Bao, L., & Escalante, F. (2018). *Manual de identificación de enfermedades y plagas en el cultivo de arroz*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA.
38. Mendez, B. (2022). *EVALUACIÓN DE CEPAS DE Trichoderma spp. SOBRE ENFERMEDADES DEL COMPLEJO MANCHADO DE GRANO EN EL CULTIVO DE ARROZ (Oryza sativa L.) EN EL CANTÓN SALITRE – PROV. GUAYAS*. [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónoma), UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MENDEZ%20DOMINGUEZ%20BLANCA%20CECILIA.pdf>
39. Mendoza Avilés, H. E., Loo Bruno, A. C., & Vilema Escudero, S. F. (2019). *El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de Samborondón*. 11(1), 324-330.
40. Mendoza, L., Racines Jaramillo, M. R., & Espín O., D. (2011). *Adopción de la variedad de arroz INIAP-14 y sus componentes tecnológicos, en el proyecto de riego América Lomas, cantón Daule, provincia del Guayas*.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2730>
41. Nawrocka, J., & Małolepsza, U. (2013). Diversity in plant systemic resistance induced by Trichoderma. *Biological Control*, 67(2), 149-156.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.07.005>
42. Nugra Sánchez, A. N. (2018). *Evaluación de sustratos orgánicos para la propagación del Trichoderma spp.* [bachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15121>
43. Núñez, L., & Pavone, D. (2014a). *Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo Trichoderma spp.* 39(núm. 3), 185-190.
44. Núñez, L., & Pavone, D. (2014b). *Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo Trichoderma spp.* 39(núm. 3), 7.
45. Ou, J.-H., Lin, G.-C., & Chen, C.-Y. (2020). Sarocladium species associated with rice in Taiwan. *Mycological Progress*, 19(1), 67-80.
<https://doi.org/10.1007/s11557-019-01543-w>
46. Pavone, D. (2022, marzo 8). Trichoderma en la agricultura y la industria. *TECNOVITA*. <https://tecnovitaca.com/trichoderma-agricultura-industria/>
47. Pérez-Torres, E., Bernal-Cabrera, A., Milanés-Virelles, P., Sierra-Reyes, Y., Leiva-Mora, M., Marín-Guerra, S., & Monteagudo-Hernández, O. (2018). Eficiencia de Trichoderma harzianum (cepa a-34) y sus filtrados en el control de

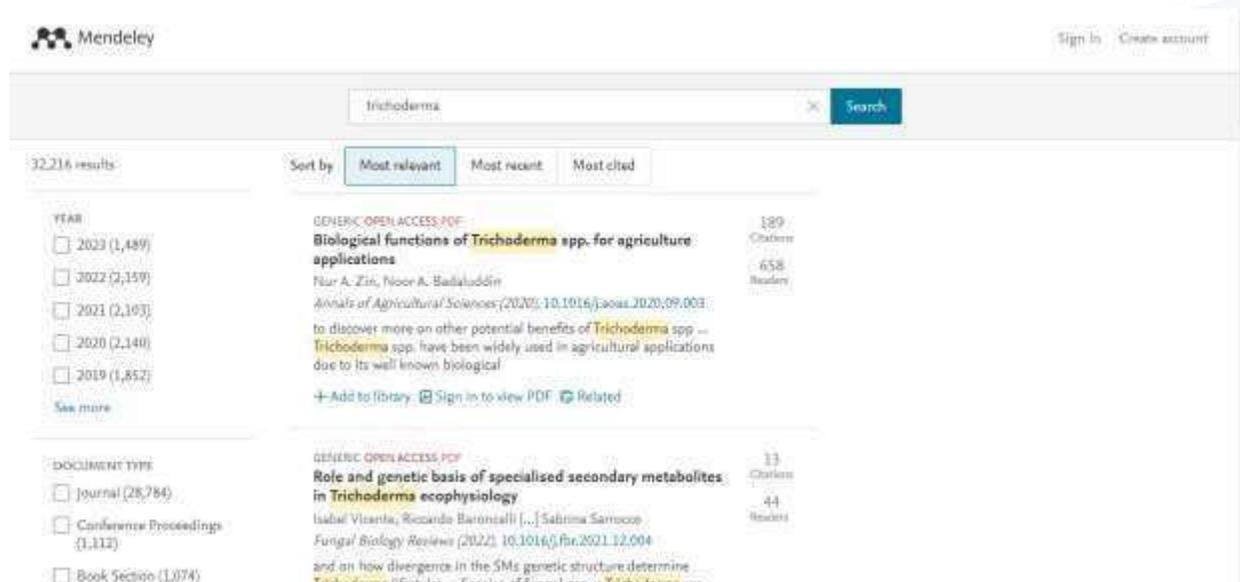
- tres enfermedades fúngicas foliares en arroz. *Bioagro*, 30(1), 17-26.
48. Probiotek. (2014, enero 27). *AGAR DE DEXTROSA Y PAPA* | <https://www.probiotek.com/productos/reactivos/medios-de-cultivo-reactivos/agar-de-dextrosa-y-papa/>
49. Quijije, B. A., Carvajal, S. J., Garcia, K. E., & Cedeño, W. B. (2019). Costo, volumen y utilidad del cultivo de arroz, cantón Samborondón. *Revista ESPACIOS*, 40(06). <https://www.revistaespacios.com/a19v40n07/19400716.html>
50. Rivera-Méndez, W., Brenes-Madriz, J., Zúñiga-Vega, C., Rivera-Méndez, W., Brenes-Madriz, J., & Zúñiga-Vega, C. (2018). Efectos de la aplicación de *Trichoderma asperellum* y su filtrado en el crecimiento de almácigos de cebolla (*Allium cepa*). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(2), 98-105. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i2.3627>
51. Rodríguez, M. (2017). *Respuesta del cultivo de arroz (Oryza sativa L), a la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal bajo condiciones de riego, en Vinces-Ecuador* [Tesis de pregrado (Ingeniera Agrónoma), UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL]. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ca680172-1d34-4921-80da-7a87d22a9814/content>
52. Rofner, N. F., Becerril, D. T., & Rojas, A. R. (2023). Indicadores Físicoquímicos del suelo con Manejo Convencional Del Arroz (*Oriza sativa L.*) Bajo Riego. *La Granja*, 37(1), Article 1. <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.09>
53. Ruiz, M., Echeverría, A., Muñoz, Y., Martínez, A., & Cruz, A. (2022a). *Aplicación de dos cepas de Trichoderma asperellum S. como estimulante de crecimiento en el cultivo del arroz*. 43(1), 12.
54. Ruiz, M., Echeverría, A., Muñoz, Y., Martínez, A., & Cruz, A. (2022b). *Aplicación de dos cepas de Trichoderma asperellum S. como estimulante de crecimiento en el cultivo del arroz*. 43(1), 12. <https://doi.org/1819-4087>
55. Sabando, G. A. S., & Zambrano, A. (2022). *EVALUACIÓN DE CEPAS DE Trichoderma spp COMO BIOESTIMULANTE EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PIMIENTO* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ]. https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1972/1/TIC_A28D.pdf
56. Sánchez Coba, J. S. (2022). *Uso de Trichoderma spp. Como bioestimulante de crecimiento de tres especies forestales a nivel de vivero en la provincia de Tungurahua*. <http://dspace.espacec.edu.ec/handle/123456789/17902>
57. Santana, B., & Vera, V. (2023). *EFECTO DE Trichoderma spp. Y Bacillus spp. EN EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE FRÍJOL CAUPÍ (Vigna*

- unguiculata* L. Walp) [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrícola), ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ].
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2153/1/TIC_A42D.pdf
58. Tutivén, J. (2022). *EFICACIA DE BIOFUNGICIDAS PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE ARROZ (Oryza sativa L.) EN EL CANTÓN DAULE* [Tesis de pregrado (Ingeniero Agrónomo), UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL].
<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3179fb18-28b1-456e-8035-a8b33b93e8a7/content>
59. Vallejo, M. (2014). "CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE TRICHODERMAS NATIVOS APLICANDO DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO A NIVEL DE LABORATORIO ARTESANAL" [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7691/1/tesis-026%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20256.pdf>
60. Valle-Moreno, J. del, González-Viera, D., Rafael-Peña, L., Sánchez-Altunaga, O. R., & Delgado-Torres, C. (2022). Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento agrícola del arroz (*Oryza sativa* L.). *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(1). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269904004/html/>
61. Viera Arroyo, W. F., Tello Torres, C. M., Martínez Salinas, A. A., Navia Santillán, D. F., Medina Rivera, L. A., Delgado Párraga, A. G., Perdomo Quispe, C. E., Pincay Verdezoto, A. K., Báez Cevallos, F. J., Vásquez Castillo, W. A., & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
62. Zambrano, C. E., Andrade Arias, M. S., Carreño Rodríguez, W. V., Zambrano, C. E., Andrade Arias, M. S., & Carreño Rodríguez, W. V. (2019). Factores que inciden en la productividad del cultivo de arroz en la provincia Los Ríos. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(5), 270-277.
63. Zhang, F., Cao, Z., Zheng, X., He, Y., Chen, M., & Lin, X. (2023). Interaction Between *Ustilagoidea virens* and Rice and Its Sustainable Control. *Rice Science*. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.11.012>

Anexos



Anexo 1: Base de datos de Zotero, gestor bibliográfico.



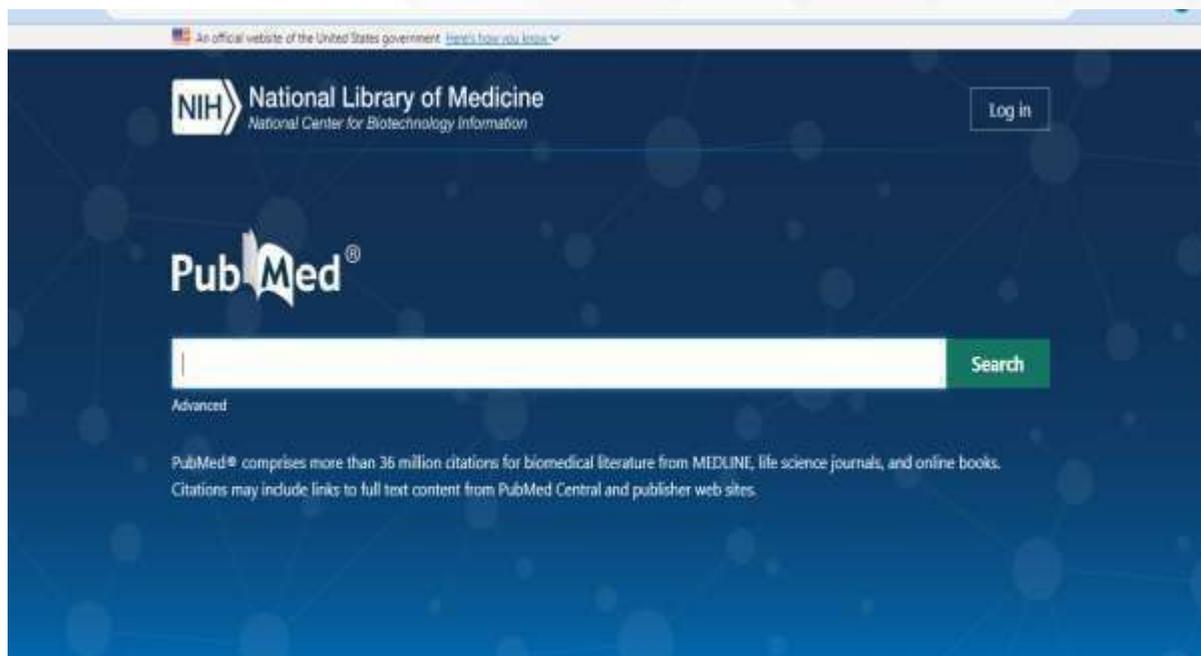
Anexo 2: Base de datos Mendeley.



Anexo 3: Revista Científicas.



Anexo 4: Base de datos Elsevier.



Anexo 5: Base de datos Pub-Med.



Anexo 6: Revista Científicas.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

