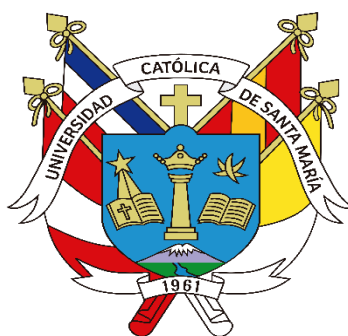


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas,
Bioquímicas y Biotecnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería
Biotecnológica



**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA CAPACIDAD
ANTAGÓNICA DEL HONGO *TRICHODERMA* SP. FRENTE A
LOS FITOPATÓGENOS QUE AFECTAN A LOS CULTIVOS DE
IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PERÚ**

Tesis presentada por la Bachiller:

Arapa Apaza, Jody Jaiden

para optar el Título Profesional
de Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Dr. Torres Vela, Fernando Antero

Arequipa- Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA BIOTECNOLÓGICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 28 de Julio del 2023

Dictamen: 004746-C-EPIB-2023

Visto el borrador del expediente 004746, presentado por:

2014200282 - ARAPA APAZA JODY JAIDEN

Titulado:

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA CAPACIDAD ANTAGÓNICA DEL HONGO TRICHODERMA SP.
FRENTE A LOS FITOPATÓGENOS QUE AFECTAN A LOS CULTIVOS DE IMPORTANCIA
ECONÓMICA DEL PERU**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29440909 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**42671615 - CARPIO CARPIO JOSE MIGUEL
DICTAMINADOR**



**43085216 - MEDINA CABRERA EDILBERTO VICENTE
DICTAMINADOR**



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA CAPACIDAD ANTAGÓNICA DEL HONGO TRICHODERMA SP. FRENTE A LOS FITOPATÓGENOS QUE AFECTAN A LOS CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PERÚ

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.iniap.gob.ec Fuente de Internet	2%
2	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	2%
3	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	1%
4	scielo.conicyt.cl Fuente de Internet	1%
5	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	www.argentina.gob.ar Fuente de Internet	1%
8	ainfo.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	1%

9	portal.amelica.org Fuente de Internet	1 %
10	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	libros.cidepro.org Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	1 %
13	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
14	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1 %
15	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios , por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre , por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, que ha sabido formarme con buenos sentimientos , hábitos y valores , y que con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis docentes , gracias por su tiempo , por su apoyo , así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional . A mi familia en general , porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo Buenos y malos momentos.

Agradecimiento

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres , pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir todo lo que logrado.

Su tenacidad y apoyo insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar , no solo para mi , sino para mi hermana y mi familia en general.

A ellos este proyecto, ya que sin ellos , no hubiese podido ser.



RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue recopilar información sobre la capacidad antagonista del género *Trichoderma* contra los fitopatógenos de cultivos económicos en el Perú. Se realizó una revisión sistemática de artículos científicos y tesis de pregrado recientes y relevantes sobre la actividad antifúngica del género *Trichoderma*, obtenidos de diferentes bases de datos y repositorios digitales de acceso libre. Se seleccionaron y analizaron 100 documentos, usando procedimientos lógicos y de síntesis. Los fitopatógenos destruyen un tercio de las cosechas cada año, por lo que se busca controlarlos con alternativas como *Trichoderma*, el género más exitoso y usado a nivel mundial, con más del 60% de aplicación. El género *Trichoderma* mejora la producción de los cultivos, tiene alta viabilidad y resistencia antifúngica, y contribuye a la protección ambiental, siendo uno de los mejores controladores biológicos, a pesar de sus limitaciones económicas y su dosificación.

Palabras clave: Género *Trichoderma*; antagonismo; antifúngico.

ABSTRACT

The objective of this research was to collect information on the antagonistic capacity of the *Trichoderma* genus against phytopathogens of economic crops in Peru. A systematic review of recent and relevant scientific articles and undergraduate theses on the antifungal activity of the *Trichoderma* genus, obtained from different databases and free access digital repositories, was carried out. 100 documents were selected and analyzed, using logical and synthesis procedures. Phytopathogens destroy a third of the crops every year, so it is sought to control them with alternatives such as *Trichoderma*, the most successful and used genus worldwide, with more than 60% application. the *Trichoderma* genus improves crop production, has high viability and antifungal resistance, and contributes to environmental protection, being one of the best biological controllers, despite its economic limitations and dosage.

Keywords: Genus *Trichoderma*; antagonism; antifungal

ÍNDICE

<i>Dedicatoria</i>	iii
<i>Agradecimiento</i>	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPITULO I.....	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	5
2.1. Fuente de datos y estrategia de búsqueda.....	5
2.2. Criterios de Inclusión y Exclusión	6
CAPITULO II.....	7
3. CUERPO DE LA REVISIÓN	8
3.1. Elementos de la Revisión Teórica	12
3.1.1. <i>Trichoderma spp.</i>	12
3.1.2. <i>Taxonomía del género Trichoderma</i>	14
3.1.3. <i>Morfología</i>	14
3.1.4. <i>Características microscópicas</i>	15
3.1.5. <i>Ciclo del Trichoderma spp.</i>	16
3.1.6. <i>Condiciones de crecimiento</i>	17
3.1.7. <i>Mecanismos de regulación biológica</i>	17
3.1.8. <i>Ventajas del uso del género Trichoderma en la Agricultura</i>	19
3.1.9. <i>Cómo favorece el género Trichoderma a los cultivos</i>	21
3.1.10. <i>Género Trichoderma y la promoción del crecimiento de la planta</i>	22
3.1.11. <i>Características del Trichoderma spp.</i>	23
3.2. Antagonismo	23
3.2.1. <i>Hongos Fitopatógenos</i>	25
3.2.2. <i>Enfermedades de las plantas causadas por hongos</i>	27
3.2. Enfermedades de los principales cultivos del Perú	29
3.3. Importancia agrícola del género <i>Trichoderma</i> como agente de biocontrol.....	31
CAPITULO III.....	33
4. DISCUSIÓN.....	34
5. PERSPECTIVAS FUTURAS + Agentes de Biocontrol.....	37
CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales ventajas y desventajas tecnológicas y tecno-económicas de los Biocontroladores como el <i>Trichoderma spp</i>	36
--	----



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Taxonomía del Género Trichoderma</i>	14
<i>Figura 2, se muestra la estructura del Trichoderma spp.</i>	16
<i>Figura 3. Patógenos sobre los que Trichoderma spp. actúa</i>	20
<i>Figura 4. Cultivos duales de Trichoderma asperellum contra Fusarium oxysporum</i>	24
<i>Figura 5. Cultivos duales de Trichoderma asperellum contra Phythophthora parasitica</i> .25	
<i>Figura 6. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos fitopatógenos más frecuentes</i>	26



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una fuente confiable de alimentos para la población mundial; su importancia se refleja en el flujo histórico de cultivos y razas de ganado a través de las culturas, cambiando las dietas y ayudando a reducir la pobreza (1). La importancia de la seguridad alimentaria mundial exige una mayor inversión en investigación y desarrollo agrícolas para aumentar la productividad agrícola en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo (2). A pesar de los esfuerzos por mejorar la economía agrícola y los sistemas agrícolas, la agricultura tradicional y urbana sufre diversos problemas relacionados con la escasez de agua debido a la sobreexplotación de los acuíferos, el aumento de la resistencia de las plagas a los productos químicos y las prohibiciones sobre el uso de productos químicos agrícolas (3).

América Latina es considerada una región rica en recursos renovables y no renovables, pero los cultivos sufren problemas debido a sistemas agrícolas ineficientes y disponibilidad limitada de nutrientes en el suelo; por lo tanto, la aplicación de la biotecnología agrícola es un gran desafío para resolver las ventajas de este problema (4). El nitrógeno (N) es un excelente ejemplo del nutriente más deficiente en el sector agrícola, por lo que se han buscado estrategias para suministrar N en sistemas de cultivo que utilizan fertilizantes inorgánicos, estiércol y residuos de cultivos como estiércol o abono verde; sin embargo, el empleo de fertilizantes artificiales tiene ventajas, pero también limitaciones relacionadas con su costo y salinidad del suelo debido al uso excesivo (5).

Además, la agricultura moderna se ha vuelto dependiente de la utilización de pesticidas químicos para controlar los patógenos de las plantas, lo que lleva a la resistencia a las plagas, los cambios en la diversidad microbiana del suelo y la contaminación ambiental (6). Los hongos que afectan a las plantas se les denomina fitopatógenos y causan un impacto negativo, ya que anualmente, arruinan un tercio de las cosechas producidas. Concretamente, ocasionan el perjuicio de cinco alimentos: arroz, trigo, maíz, papa y soya, que a nivel mundial son de los más importantes (7).

El daño creciente al medio ambiente causado por el uso de productos químicos para controlar enfermedades de las plantas ha alentado el uso de alternativas biológicas como el *Trichoderma*, un género de hongos en la rizosfera que se consideran simbioses vegetales oportunistas capaces de producir defensas inducidas contra patógenos e insectos que ayudan en la solubilización del fósforo y promueven la síntesis de sustancias promotoras del

crecimiento de las plantas (8).

El Perú es un país que se caracteriza por la fertilidad de sus tierras (9). Esto favorece el cultivo de diversas frutas y vegetales que contribuyen al desarrollo agrario y alimentan a millones de personas del Perú y el mundo (10). Los principales cultivos para el desarrollo agrario en el Perú lo constituyen la papa, palta, espárragos, uva y arándanos (9). Las frutas que más aportaron al Valor de la Producción Agrícola (VBP) en el 2020 fueron: arándano, uva, plátano, palta, mandarina, mango, naranja y piña. En las verduras destacaron: Espárrago, cebolla, maíz choclo, tomate, alcachofa, arveja y zapallo (10).

Los fitopatógenos son hongos que provocan enfermedades en las plantas y afectan gravemente la producción agrícola. Según estimaciones, estos organismos son responsables de la destrucción de un tercio de las cosechas mundiales cada año (7). Entre los cultivos más vulnerables se encuentran el arroz, el trigo, el maíz, la papa y la soya, que constituyen la base alimentaria de gran parte de la población humana (7). Un escenario catastrófico sería que estos cinco cultivos se infectaran simultáneamente y se perdieran por completo, lo que provocaría una hambruna global que afectaría a más del 60% de las personas. Algunos de los géneros de hongos más dañinos para estos cultivos son: *Fusarium*, *Giberella*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Alternaria* y *Botrytis*, entre otros (7).

Desde hace un largo tiempo estas hortalizas han sido afectadas principalmente por una serie de hongos fitopatógenos responsables de grandes pérdidas económicas en los pequeños agricultores de Arequipa, que son los más afectados. Algunos de los diferentes agentes patógenos como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Stemphylium sp.*, *Fusarium sp.*, *Pyrenochaeta terrestris*, *Alternaria porri*, *Sclerotium cepivorum* *Pyrenocheta* terrestres y algunos nematodos como el *Dytilenchus dipsaci* (11,12).

Una de las enfermedades fúngicas comunes en la producción de ajo y cebolla es la pudrición blanca causada por el hongo *Sclerotium cepivorum* causante de la pudrición de la raíz, marchitamiento vascular y pudrición del fruto infecta a más de 400 especies de plantas entre ellas las del género *Allium* produciendo estructuras de supervivencia por aglomeración de hifas de melanina alta llamada esclerocios (12).

La *Pyrenochaeta terrestris* es la causante de la pudrición de la raíz rosada y el *Fusarium oxysporum*, *F. graminearum*, es el responsable de las pérdidas y reducción del producto debido a las micotoxinas que esta genera, pero actualmente no hay un tratamiento químico perdurable para combatirlo, por esta razón se busca que los controladores biológicos

podrían ser una buena estrategia para combatirlos (13). En cuanto al *Rhizoctonia solani* es un hongo que extrae los nutrientes de los tejidos muertos de las plantas después de matar las células vegetales, lo que provoca la descomposición de las semillas y la pudrición del tallo o raíz (14).

Los agentes bióticos (vivos) causales de enfermedades son conocidos como patógenos (ejemplo bacterias, hongos, virus, nematodos y fitoplasmas) (15). Actualmente, existen diferentes estudios comprobados que demuestran la efectividad del hongo antagonista *Trichoderma sp.* (16).

En la actualidad, el uso de agentes químicos para combatir con toda esta serie de agentes infecciosos es costoso para el agricultor, además de afectar la salud si no se utilizan con las normas de protección necesarias por falta de medidas preventivas y uso indiscriminado (17). Deteriorando los ecosistemas, porque son inespecíficos eliminando tanto los microorganismos fitopatógenos como los benéficos (18). Y esto, unido al aumento de la concientización social frente al deterioro medioambiental por la masiva utilización de compuestos químicos, está generando un gran interés en la búsqueda de sistemas de control alternativos y amigables con el medio ambiente; es así que la utilización de microorganismos antagonistas frente a los agentes patógenos está produciendo excelente resultado (19).

Las diferentes especies del hongo antagonista del género *Trichoderma* son las más utilizadas para el control de enfermedades de plantas producidas por hongos, esto se debe a su ubicuidad, a su aislamiento y crecimiento rápido en diferentes sustratos, esto se debe a sus diferentes mecanismos de acción: como la competencia por el espacio de crecimiento, la producción de metabolitos antibióticos volátiles y no volátiles y al micoparasitismo que es su capacidad para enrollarse en las hifas de los patógenos produciendo su eliminación además de su capacidad saprofítica (20).

Las características antes señaladas hacen del género *Trichoderma* en su capacidad antagonica el mejor antifungico natural capaz de eliminar con éxito a los agentes patógenos que afectan a los diferentes cultivos (21). En ese contexto surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la capacidad antagonica del hongo del género *Trichoderma* frente a los fitopatógenos que afectan a los cultivos de importancia económica del Perú? La presente investigación tiene como objetivo general realizar una revisión sistemática sobre la capacidad antagonica del hongo del género *Trichoderma* frente a los fitopatógenos que afectan a los cultivos de importancia económica del Perú. En cuanto a los objetivos

específicos se presentan los siguientes: Examinar los estudios sobre la capacidad antagónica del hongo del género *Trichoderma* frente a los fitopatógenos que afectan a los cultivos de importancia económica del Perú. Identificar el papel biocontrolador del hongo del género *Trichoderma*. Verificar las conclusiones a las que llegaron los estudios.



2. METODOLOGÍA

2.1. Fuente de datos y estrategia de búsqueda

Para recabar la información se acometió una revisión sistemática bajo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (22), herramienta de información preferida para las observaciones sistemáticas y los meta-análisis con el propósito de optimar la indagación y estructuración de los artículos científicos en concordancia con las directrices de selección empleadas.

Para la búsqueda de los artículos y tesis se emplearon criterios de inclusión como el año. Publicados del 2015 al 2022, palabras claves como *Trichoderma*, Antagonismo, Fitopatógenos, Cultivos Perú. Tomando en cuenta los Descriptores en Ciencias de la salud DeCS https://decs.bvsalud.org/E/DeCS2020_Alfab.htm y el tipo estudio de cada documento. Para la identificación de artículos y Tesis se usaron las bases de datos como Scopus, WOS, EBSCO y repositorios institucionales. De esta revisión se concluyen las siguientes palabras claves / key words: En español: “*Trichoderma*”, “antagónica”, “cultivos”, “importancia económica del Perú”. En inglés: “*Trichoderma*”, “antagonistic”, “crops”, “economic importance of Peru”.

Para la selección de documentos se llevó a cabo un tamizaje, Sistema GRADE: clasificación de la calidad de la evidencia y graduación de la fuerza de la recomendación, el cual establece 4 categorías: alta, moderada, baja y muy baja, descartando para este estudio los de baja y muy baja categoría (23). Asimismo, se llevó a cabo un proceso de filtración a los documentos, para detectar y eliminar los duplicados.

Subsiguientemente, se efectuó una selección precisa de cien documentos, admitiendo así la exclusión de sesenta documentos que no exhibían asociación suficiente con el tema de estudio, quedando cuarenta con potencial elección y eliminando trece, de los cuales siete trataban sobre otros cultivos, seis con metodología no adecuada. Por ello se incluyeron veintisiete documentos adecuados para el análisis y ejecución de la tesis.

De los estudios seleccionados, se extrajo la información más reciente y relevante, sobre el manejo del género *Trichoderma* como antagonista de fitopatógenos en los diferentes cultivos de importancia económica del Perú.

2.2. Criterios de Inclusión y Exclusión

Se incluye los artículos científicos de las fuentes de Science Direct, Springer, Scopus, WOS, EBSCO y tesis incluidas en repositorio institucional con no más de 8 años de publicación. Se excluyen los artículos científicos y tesis con más de 9 años de antigüedad.

Tras la indagación de los datos, se presentan a continuación los principales resultados observados. Luego de aplicar los aspectos metodológicos detallados, se identificaron 100 publicaciones que abordan la capacidad antagonista del hongo del género *Trichoderma* frente a los fitopatógenos que afectan a los cultivos de importancia económica del Perú, los artículos identificados incluyen divulgaciones dentro de los últimos 8 años, (2015-2022), se utilizó como fuente, artículos científicos actuales, tanto cualitativos como cuantitativos, de las revistas científicas: Science Direct, Springer, Scopus, WOS, EBSCO y tesis de pregrado y postgrado, las mismas fueron identificadas en el repositorio nacional digital de acceso libre.

Se esgrimió el análisis de contenido para visualizar el horizonte de avances científicos respecto a la temática. Se inició con el compendio de revistas científicas para obtener los artículos a examinar. Los cuales constituyen la muestra final del estudio fueron veintisiete documentos acopiados y que se señalan a continuación según el orden cronológico:

El género *Trichoderma* ofrece cepas antagonistas que permiten el desarrollo de productos biológicos con propiedades favorables para el ambiente (24). Sin embargo, para que estos productos sean exitosos, se requiere una cuidadosa selección de cepas, considerando tanto sus aspectos fisiológicos como su función específica, y un riguroso sistema de calidad para su producción. La adaptabilidad, la diversidad de mecanismos biológicos y la flexibilidad ecológica que caracterizan al género *Trichoderma* lo convierten en un eficaz controlador biológico (24).



CAPITULO II

3. CUERPO DE LA REVISIÓN

El género *Trichoderma* es uno de los hongos beneficiosos más versátiles y multifuncionales que se encuentran en los suelos, capaz de ofrecer una amplia variedad de beneficios que evidencian su inestimable valor desde la perspectiva agrícola, beneficios que lo convierten en un microorganismo indispensable en los suelos y cultivos (25). Los perfiles electroforéticos revelaron que la respuesta defensiva de la planta ante el inductor biótico y el abiótico fue más intensa y duradera que la de las plantas tratadas solo con el químico. Se necesita más investigación para determinar si la resistencia inducida (RI) provocada por los inductores utilizados puede ser superada con otras dosis, compuestos y momentos de aplicación y si estas respuestas están influenciadas por el genotipo del hospedero y/o las condiciones ambientales (26).

En el bioensayo de almácigo, el tratamiento de *T. koningiopsis* (T14) sobre las semillas y como riego en el suelo, logró el valor más alto de germinación de plántulas de cebolla (61%) y la mayor colonización de las raíces de cebolla. Este mismo tratamiento aplicado en las raíces sobre plantines de 120 días, produjo una menor reducción de raíces afectadas de cebolla que con el aislamiento comercial (27).

El antagonismo se evaluó mediante el método del cultivo dual, enfrentando a los agentes etiológicos aislados *Pyrenochaeta terrestris*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani* con el antagonista *Trichoderma harzianum*, obteniendo como resultado un porcentaje de inhibición de crecimiento de 74,83% sobre *Pyrenochaeta terrestris*, 52,38% sobre *Fusarium oxysporum* y de 49,33% en el caso de *Fusarium solani* (28). El *T. asperellum* resultó ser efectivo para controlar el hongo *S. cepivora* en el cultivo de la cebolla tanto en pruebas in vitro como en el campo, en las parcelas evaluadas (29).

La efectividad de los microorganismos autóctonos (EMA) se comprobó al encontrar diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos en relación a los testigos tanto en porcentaje de plantas infectadas como en el rendimiento de las parcelas, identificando a S1D1 y S2D2 con los mejores resultados mientras que TS1 y TS2 son los que registran los menores rendimientos con alta incidencia de fitopatógenos (30).

La mejor dosis y frecuencia es el tratamiento D3F1 (dosis de 6g/L a los 7 días), ya que su nivel de severidad (4%) es aceptable dentro de los parámetros agronómicos, y el rendimiento (6,67 kg/m²) es importante en comparación a los demás tratamientos (31).

El tratamiento óptimo fue el D3F1, que consistió en aplicar una dosis de 6g/L cada 7 días. Este tratamiento logró un nivel de severidad aceptable (4%) según los criterios agronómicos, y un rendimiento superior (6,67 kg/m²) al resto de los tratamientos (31).

Cuando las plantas de cebolla se inocularon con *T. asperellum* antes de la exposición a Cu (50 µM CuSO₄), se redujo la acumulación y translocación de Cu en los tejidos y se mejoró la toxicidad del Cu debido al aumento del crecimiento y el contenido de clorofila, y la reducción en el contenido de malondialdehído (MDA) en comparación con plantas sin inocular y plantas que reciben la misma concentración de Cu. Los resultados indican que *T. asperellum* media la tolerancia al estrés por Cu en las plantas de cebolla (32).

Las muestras de cebolla enviadas al laboratorio para evaluar los tratamientos con mejor resultados para realizar análisis bromatológicos, corroboraron la presencia de residuos de plaguicidas (Clorpirifos en 137,75 ppb) en uno de los sistemas convencionales, límites que están entre los rangos permisibles para que el producto sea apto para el consumo humano bajo regulaciones actuales (33).

Las cepas TSS-1 y TST-1 mostraron una alta capacidad antagónica (grado 4) frente a los hongos fitopatógenos, mientras que las cepas TES-1 y TET-1 tuvieron una capacidad antagónica menor (grado 1). El porcentaje de inhibición de crecimiento radial (PICR) fue mayor para la cepa TSS-1 (97,4%), seguido de las cepas TST-1 (90,8%), TES-1 (86,5%) y TET-1 (76,3%) (34).

Además, el género *Trichoderma* tuvo un efecto positivo sobre la producción y la germinación de la cebolla variedad Carta Blanca (34). Se observó que la cepa 2 de *Trichoderma spp.* en combinación con una fertilización al 100% o al 75% obtuvo los valores más altos de peso fresco de bulbo, aunque sin diferencias estadísticas significativas. Esto sugiere que el efecto de las diferentes cepas de *Trichoderma spp.* sobre la producción de cebolla puede variar según las condiciones. El uso de *Trichoderma spp.* es favorable para el aprovechamiento de los nutrientes y el control biológico de plagas y enfermedades, lo que contribuye a aumentar los rendimientos, la calidad de los cultivos y a reducir el impacto ambiental de los agroquímicos. El género *Trichoderma* es considerado como uno de los antagonistas de hongos fitopatógenos más empleados en la agricultura moderna (35, 36).

Las cepas del género *Trichoderma* antagonistas de FOC (*Fusarium oxysporum f. sp. ciceris*) tienen potencial para el desarrollo como productos de control biológico para su uso en Nueva Escocia y otras regiones productoras de cebolla (37).

La inoculación con *T. asperellum* no contrarresta los efectos en los procesos metabólicos que causa la inoculación con el patógeno *S. vesicarium* en plantas de cebollas de las dos variables (38).

La inoculación de plantas de cebolla por hongos AM (hongos micorrízicos) y *T. viride* solos o en combinación aumentó significativamente los diámetros de los bulbos de las plantas de cebolla en un 20, 12,5 y 17,5% de aumento; respectivamente, en comparación con los controles (39). También el porcentaje de colonización por hongos AM aumentó mucho con la inoculación de *T. viride*. Por lo tanto, los hongos AM y *T. viride* podrían ser una buena alternativa de fertilizante químico para mejorar el crecimiento de la cebolla (39).

Los niveles de compuestos fenólicos en los tejidos vegetales cambiaron dependiendo del tratamiento experimental; la inoculación con *T. asperellum* incrementó la cantidad de compuestos fenólicos en un 97,6% con respecto al control, pero solo en bulbos de cebolla (40). En cambio, la inoculación con *S. vesicarium* incrementó la cantidad de compuestos fenólicos en hojas y raíces en un 50 y 88,9%, respectivamente, en comparación con el control. Estos datos sugieren que el aislamiento de *T. asperellum* tiene potencial para el control biológico de *S. vesicarium* en cultivos de cebolla (40).

La utilización del hongo del género *Trichoderma* para el manejo de hongos fitopatógenos es una alternativa para lograr aumentos en los rendimientos, la calidad de los cultivos y reducir el impacto negativo que los agroquímicos tienen sobre el medio ambiente (41).

Los resultados evidencian que *Trichoderma sp.* y las bacterias gram negativas presentan una actividad antagónica significativa contra los tres fitopatógenos evaluados. Asimismo, se observa que la aplicación de biochar al suelo inoculado con *Trichoderma sp.* o el consorcio bacteriano (*Pseudomonas sp.*, *Kosakonia sp.*, y *Serratia sp.*) constituye una alternativa viable para el manejo de enfermedades, y para promover el desarrollo de *Allium cepa* L (42).

La aplicación de *T. asperellum* BCC1 a plántulas de cebolla antes de trasplantarlas a suelos infestados con *S. cepivorum* en Costa Rica bajo clima tropical, reduce la incidencia de pudrición blanca y aumenta el rendimiento de bulbos de cebolla. Nuestros resultados podrían considerarse un gran avance en este campo, ya que no solo se confirma el biocontrol en ensayos de campo e invernadero, sino que también se presentan evidencias de la activación de la defensa sistémica por parte de *T. asperellum* contra *S. cepivorum* en plantas

de cebolla basadas en el análisis de genes marcadores de defensa. Estos resultados indican el potencial de los productos comerciales de control biológico de *T. asperellum* BCC1 para reducir drásticamente el uso excesivo de fungicidas en la agricultura de Costa Rica (43).

Un estudio comparativo reveló que el aislado *T. harzianum* de *T. asperellum* presentó una mayor capacidad antagonica frente a *A. porri* que otros aislados de la misma especie y del mismo cultivo de cebolla, así como de los aislados de *T. harzianum* y *T. atroviridae* (44). Además, se observaron distintos mecanismos de defensa en las plantas de cebolla, según la interacción con el aislado de *T. asperellum* y *A. porri* o con ambos microorganismos simultáneamente. La presencia del aislado T₀ de *T. asperellum* estimuló la actividad de glucanasas y quitinasas, mientras que la presencia de *A. porri* inhibió la actividad de estas enzimas. Por otro lado, la presencia de *A. porri* activó la actividad de catalasas, pero la presencia conjunta de *T. asperellum* y *A. porri* incrementó la actividad de peroxidasas. Estos resultados sugieren que algunos factores relevantes para el uso del aislado T₀ de *T. asperellum* como agente de control biológico de patógenos de cebolla son la variedad de cebolla, la nutrición y el tipo de patógeno (biotrófico o necrotrófico) (44).

Se sugiere realizar evaluaciones de control biológico con la cepa T-H4 en invernadero y a campo abierto, así como su identificación a nivel especie con técnicas moleculares complementarias (45).

Es el momento de utilizar los residuos orgánicos como reemplazo de los agroquímicos mediante el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y el género *Trichoderma* (46). Los desechos de pescado como representante del desperdicio de alimentos actúan como una de las principales causas de contaminación del medio ambiente. La interacción de micorrízicos arbuscular (AMF) *Glomus intraradices* y *T. viride*. La aplicación de *T. viride* aumentó significativamente los niveles de colonización de micorrizas, pero estos se redujeron significativamente con la adición de desechos (46).

El tratamiento 1, que consistió en la aplicación de *Trichoderma spp.* en una dosis de 800 gramos por hectárea, demostró ser el más efectivo para controlar la incidencia y severidad de *Sclerotium cepivorum*, así como para aumentar el rendimiento y la calidad del cultivo de cebolla (47). Este resultado se sustenta en el análisis estadístico y en la revisión de la literatura científica sobre el uso de este antagonista biológico contra el patógeno causante de la pudrición blanca. Se discuten las implicaciones y las ventajas de este método de control biológico frente a otros alternativos o complementarios.

Un agente de control biológico muy empleado en la agricultura es el hongo del género *Trichoderma*, especialmente la especie *Trichoderma harzianum*, aunque también se usan *Trichoderma koningii* y *Trichoderma viride*. Estos hongos tienen la capacidad de antagonizar a otros microorganismos patógenos de las plantas y de estimular el crecimiento vegetal. En Argentina, existen alrededor de 14 bioproductos comerciales que contienen cepas de *Trichoderma* como ingrediente activo (47). Estos bioproductos representan una alternativa ecológica y eficaz para el manejo integrado de plagas y enfermedades. Por ello, es importante impulsar la investigación nacional sobre estos hongos, con el fin de desarrollar tecnologías innovadoras que contribuyan a una agricultura más productiva y sostenible en el país (48).

El *Trichoderma spp.* ha sido visto tradicionalmente como micoparásitos necrotróficos y la mayoría de los estudios se han centrado en la degradación de la pared celular del huésped. En este artículo, proponemos el concepto de un modo de acción similar al "hemibiotrófico", y parece que la pared celular del hongo huésped no se daña mucho durante las interacciones con el género *Trichoderma* (49). El análisis multivariante permitió diferenciar las plántulas tratadas solo con extracto de las obtenidas en los demás tratamientos y evidenció la posibilidad de combinar la utilización de las alternativas agroecológicas evaluadas (50).

El género *Trichoderma* contribuyen eficazmente a la fijación biológica del nitrógeno, siendo uno de los tres microorganismos más importantes en la formulación de inoculantes para leguminosas (51).

3.1. Elementos de la Revisión Teórica

3.1.1. *Trichoderma spp.*

El género *Trichoderma* comprende hongos saprófitos que se adaptan a suelos con distintos niveles de materia orgánica, la cual pueden descomponer mediante un metabolismo versátil que les permite alternar entre condiciones aerobias y anaerobias, otorgándoles una gran flexibilidad ecológica (40). Estos hongos se distribuyen en diversas regiones del planeta, desde las áreas polares hasta las tropicales (52). Su amplia presencia y su capacidad de degradar diversos sustratos se deben a su elevada actividad enzimática y a su resistencia a factores antimicrobianos. Sin embargo, son escasas las investigaciones sobre la

supervivencia, el establecimiento y la proliferación de este antagonista en la rizosfera de las plantas (53).

Considerado lo antes planteado, el género *Trichoderma* es un excelente modelo para ser estudiado debido a su fácil aislamiento y cultivo, rápido desarrollo en diversos sustratos y así como por su condición de controlador biológico de una amplia gama de fitopatógenos (32). Visto de esta manera, el *Trichoderma spp.* es un hongo de gran valor para ser usado con eficacia en la agricultura sostenible, a través de la interacción planta-suelo. *Trichoderma spp.* se encuentra entre los hongos antagonistas más utilizados en agricultura por su alta capacidad de producción de enzimas hidrolíticas y mecanismos de micoparasitismo y antibiosis que puede inhibir o controlar hongos y nematodos fitopatógenos y su desarrollo es favorecido por la presencia de alta densidad de raíces (40,54).

Las especies del género *Trichoderma* son hongos oportunistas que residen principalmente en el suelo, la corteza de los árboles y los hongos silvestres. *Trichoderma spp.*, se usa comúnmente como biofungicida, biofertilizante, rectificación del suelo y generador de la defensa de la planta contra los patógenos (21). Estos hongos también ejercen otros efectos provechosos sobre las plantas, incluida la promoción del crecimiento y la tolerancia al estrés abiótico, principalmente mediado por sus interacciones íntimas con las raíces, inducen resistencia sistémica, aumentan la disponibilidad y absorción de nutrientes, mejoran el rendimiento de los cultivos y degradan los pesticidas xenobióticos, complementando su papel como componentes principales en formulaciones comerciales (36–38).

El género *Trichoderma* comprende hongos que tienen la capacidad de antagonizar a diversos patógenos vegetales, mediante mecanismos sinérgicos de control biológico. Estos hongos se distribuyen ampliamente en diferentes tipos de sustratos, materia orgánica y suelos, y presentan una gran adaptabilidad y colonización, lo que facilita su aislamiento tanto en ambientes naturales como sintéticos (55).

Las especies del género *Trichoderma* son hongos saprófitos que pueden desarrollarse en un rango de pH de 5,5 a 8,5, siendo óptimo un pH ligeramente ácido (entre 5,5 y 6,5). Además, requieren una humedad relativa del suelo del 60% para su activación, pero pueden verse afectados por la falta de oxígeno si el suelo está demasiado saturado de agua (56).

Debido a su potencial antagónico contra una gran variedad de patógenos, el género *Trichoderma* representa cerca del 50% de los productos comerciales de biocontrol

disponibles en el mercado. Entre las especies más utilizadas se encuentran *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. atroviride* y *T. asperellum*, que se caracterizan por su rápido crecimiento, su competencia en la rizosfera de las plantas, sus altos niveles de esporulación y su capacidad para degradar la materia orgánica (57).

3.1.2. Taxonomía del género *Trichoderma*

Según (58) el género *Trichoderma* se clasifica taxonómicamente como se indica en la figura 1:

Figura 1. Taxonomía del Género *Trichoderma* (58).



Súper reino: Eucariota
Reino: Fungi
Filum: Ascomycota
Subfilum: Pezizomycotina
Clase: Sordariomycetes
Subclase: Hypocreomycetidae
Orden: Hypocreales
Familia: Hypocreaceae
Género: *Trichoderma*

Además, el género *Trichoderma*, contiene más de 400 especies reportadas hasta el momento según la base de datos cabi, entre las que se encuentran *T. harzianum*, *T. viride* y *Trichoderma spp* (59).

3.1.3. Morfología

Trichoderma spp. es un género de hongos anaerobios, que se reproducen de forma asexual mediante la formación de conidios en estructuras ramificadas llamadas conidióforos.

Su reproducción sexual es del tipo hypocrena, aunque no se observa con frecuencia. Estos hongos se cultivan fácilmente en medios artificiales, donde producen una gran cantidad de conidios de color blanco o verde, que se disponen en el extremo de los conidióforos. A simple vista, se pueden reconocer por sus colores blanco-verde y amarillo-verdoso, por su escaso desarrollo micelial y por su rápido crecimiento. Además, muchas especies de este género generan clamidosporas de gran tamaño en diferentes medios de cultivo (61). *Trichoderma spp.* se caracteriza por su diversidad morfológica y genética, así como por su capacidad para colonizar diversos sustratos y antagonizar a otros microorganismos (60).

3.1.4. Características microscópicas

Trichoderma spp. es un hongo que se caracteriza por tener una estructura celular compleja, compuesta por diferentes orgánulos que se encuentran en el citosol, un núcleo bien definido y una pared celular rígida que protege a las células. Además, presenta distintas formas de reproducción y supervivencia, como los conidióforos, las hifas, las fiálides, los conidios y las clamidosporas. A continuación, se describen las características de cada uno de estos elementos:

- Conidióforos: Son estructuras hialinas, es decir, transparentes o translúcidas, que se elevan de forma vertical y pueden estar aisladas o agrupadas. Tienen forma de anillo concéntrico y color verde. Su función es producir conidios, que son las esporas asexuales del hongo. Su tamaño promedio es de 66 por 3,7 μm (40).

- Hifas: Son filamentos que se ramifican y se extienden por el sustrato donde crece el hongo. También son hialinas y presentan septos o divisiones internas. Su forma puede ser recta, curva o flexible. Su función es absorber nutrientes y transportarlos por el micelio (62).

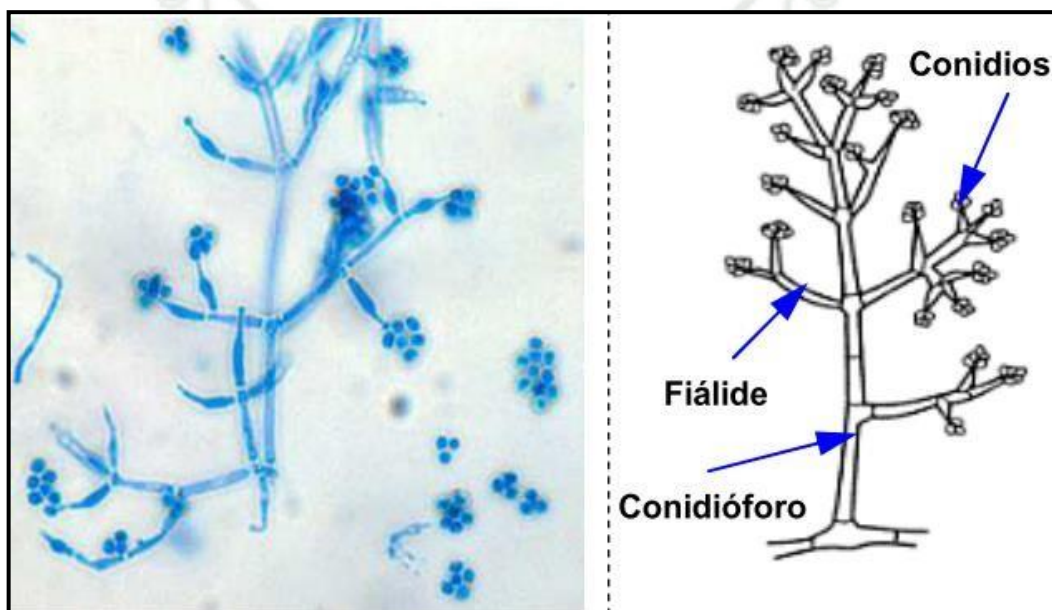
- Fiálides: Son células alargadas y estrechas, con forma de botella, que se originan en los extremos de los conidióforos. Son asimétricas y se unen en ángulo recto con los conidióforos. Su función es liberar los conidios al medio externo. Su tamaño promedio es de 10 por 3,1 μm (63).

- Conidios: Son las esporas asexuales del hongo, que se forman en los ápices de las fiálides. Son unicelulares, es decir, están formados por una sola célula, y tienen forma subglobosa y superficie lisa. Son de color verde y su función es dispersarse y germinar en nuevos sustratos. Su tamaño promedio es de 2,8 por 2,7 μm (63).

- Clamidosporas: Son estructuras de resistencia que le permiten al hongo sobrevivir en condiciones adversas. Son células gruesas y redondas que se forman dentro de las hifas o en sus extremos. Son de color blanco o amarillo y su función es permanecer latentes hasta que encuentren condiciones favorables para germinar. Su tamaño promedio es de 12,5 a 10 μm (63).

En la figura 2, se muestra la estructura del *Trichoderma spp.*

Figura 2. Estructura del *Trichoderma spp.* (59).



En la figura 1, se presenta la estructura del *Trichoderma spp.* consta de un micelio vegetativo formado por hifas ramificadas y septadas, que se extienden por el sustrato y absorben los nutrientes. El micelio reproductivo produce conidios, que son esporas asexuales que se forman en estructuras llamadas fialidas. Las fialidas son células alargadas que se disponen en forma de cepillo o verticilo en el extremo de las hifas. Los conidios son de color verde y tienen una forma elipsoidal o cilíndrica.

3.1.5. Ciclo del *Trichoderma spp.*

Trichoderma spp. coloniza a los hongos patógenos mediante el crecimiento y la ramificación de sus hifas fúngicas, que tienen un diámetro de 5 a 10 μm . Estas hifas degradan las estructuras celulares y reproductivas del hongo que ha infectado a la planta, provocando

su muerte. La reproducción asexual de *Trichoderma spp.* se produce por la formación de esporas con un diámetro de 3 a 5 μm , que se dispersan en grandes cantidades por el medio. Además, este género genera clamidosporas individuales o intercaladas, que pueden fusionarse entre sí y formar una sola estructura (63).

3.1.6. Condiciones de crecimiento

El *Trichoderma spp.* es un hongo que presenta una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Su crecimiento se da en un rango de humedad relativa entre 20 y 80%, aunque se reduce la oxidación a niveles más altos. Su temperatura óptima es de 25 °C, pero puede tolerar desde 15 hasta 35 °C. Su pH óptimo es de 6 a 6.5, pero puede sobrevivir en medios más ácidos o alcalinos, ya que tiene la capacidad de modificar el pH mediante la secreción de ácidos orgánicos. Su principal fuente de carbono es la glucosa, que asimila como monosacárido. La esporulación se favorece con la alternancia de oscuridad y luz, y se produce en diversos sustratos, como medios fermentados, restos vegetales o suelos modificados y estériles. Este género forma clamidosporas, que son estructuras de resistencia. La germinación de los conidios depende de los nutrientes y el pH del medio, y se genera durante el día. Sin embargo, hay algunos compuestos químicos, como la cicloheximida, la actinomicina o el fluorouracilo, que pueden inhibir la formación de conidios (57,62).

3.1.7. Mecanismos de regulación biológica

El *Trichoderma spp.* comprende diversas especies que actúan como agentes de biocontrol de patógenos vegetales, mediante mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos implican una interacción física entre el biocontrolador y el hospedante, mientras que los indirectos modifican las poblaciones del patógeno a través de alteraciones en el ambiente (64).

La eficacia del control biológico depende de la especie del género *Trichoderma* y de las condiciones ambientales, pero en general involucra la producción de enzimas hidrolíticas, antibióticos y metabolitos (64).

A. Mecanismos directos

-Competencia: las especies del género *Trichoderma* tienen una alta capacidad de

superar los efectos fungistáticos de otras especies y plantas, mediante la producción de metabolitos secundarios (62). Además, la competencia por nutrientes y espacio es un mecanismo clave de este género, ya que se trata de un hongo heterótrofo con un rápido crecimiento, que utiliza el hierro como nutriente esencial y lo secuestra del medio mediante moléculas sideróforas, impidiendo el desarrollo y crecimiento del patógeno (57). Las cepas de *Trichoderma spp.* inoculadas en el suelo presentan una buena adaptación, siendo resistentes a compuestos químicos empleados en el sector agrícola como herbicidas, pesticidas y fungicidas.

-Antibiosis: se basa en la producción de antibióticos por parte de *Trichoderma spp.* que inhiben el crecimiento de otros microorganismos, así como en la secreción de metabolitos tóxicos que interfieren en la colonización del patógeno; entre estos metabolitos se encuentran los ácidos peptaibólicos, las tricholinas, el ácido harzianico y las alameticinas (62).

-Micoparasitismo: se refiere a la interacción entre dos hongos (*Trichoderma spp.* y un patógeno), que implica el reconocimiento, la penetración, el ataque y la muerte del huésped, siendo *Trichoderma spp.* un hongo capaz de realizar un control directo por su alto nivel de parasitismo, creciendo y detectando la presencia de otro hongo (61).

-El micoparasitismo consiste en la interacción entre dos hongos, uno de los cuales se alimenta del otro. Según el tipo de relación que establecen, se pueden clasificar en necrotróficos y biotróficos. Los primeros son aquellos que matan a sus huéspedes y luego los consumen, mientras que los segundos son capaces de extraer nutrientes de organismos vivos sin causarles la muerte, mediante estructuras especializadas. Sin embargo, estos últimos son muy escasos entre los micoparásitos. Los necrotróficos se caracterizan por su rápido crecimiento, su capacidad de vivir como saprófitos y su agresividad, ya que producen sustancias tóxicas que destruyen las células del patógeno antes y después de invadirlo (65).

De acuerdo con (66), el proceso de micoparasitismo se desarrolla en cuatro fases: Crecimiento quimiotrófico: El micoparásito, como *Trichoderma spp.* es atraído por los exudados del patógeno, los cuales puede detectar a largas distancias. Reconocimiento: Algunas especies del género *Trichoderma* muestran una mayor efectividad contra patógenos específicos, lo que implica que existe un mecanismo de reconocimiento entre ambos. Adhesión y enrollamiento: El micoparásito se fija al patógeno mediante sus hifas, las cuales lo rodean por completo. Activación lítica: El micoparásito libera enzimas líticas, como

proteasas, glucanasas y quitinasas, que degradan la pared celular del patógeno y facilitan el ingreso del agente de biocontrol.

B. Mecanismos indirectos

-Estimulación del desarrollo vegetal: *Trichoderma spp.* favorece el crecimiento de las plantas al colonizar sus raíces y al descomponer metabolitos orgánicos en el suelo, lo que genera ácidos orgánicos que acidifican el medio, fitohormonas que regulan el desarrollo y fósforo soluble que mejora la nutrición. Estos procesos incrementan la germinación de semillas, la biomasa foliar y radicular, la floración y el rendimiento en un 30% (67).

-Fortalecimiento de la defensa vegetal: *Trichoderma spp.* induce la resistencia de las plantas hospederas al activar rutas enzimáticas y reprogramar la expresión de otros genes. Así, produce tres tipos de compuestos que estimulan la defensa vegetal: oligosacáridos y moléculas de bajo peso molecular, proteínas con actividad enzimática y proteínas homólogas a los genes de avirulencia (Avr) de los patógenos. En estudios sobre la inducción de resistencia por *Trichoderma spp.* en tomate, se ha observado que el hongo activa genes relacionados con la producción de elicitores e inactiva otros genes (61,68).

-Biodegradación de contaminantes: *Trichoderma spp.* presenta resistencia a agroquímicos y secreta enzimas (hemicelulasa, lignilasa, celulasa) que pueden degradar moléculas complejas (clorofenoles, hidrocarburos, polisacáridos, xenobióticos, plaguicidas) (68).

3.1.8. Ventajas del uso del género *Trichoderma* en la Agricultura

Las ventajas reportadas para este tipo de microorganismos se pueden resumir así: Amplia distribución y flexibilidad ecológica relacionada con su capacidad de producir un amplio rango de enzimas líticas a fin de degradar sustratos (38). Metabolismo versátil y una alta resistencia a los inhibidores microbianos (39). Alta capacidad para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como para contrarrestar una amplia gama de fitopatógenos (34,38). Inducen la resistencia sistémica de la planta contra patógenos de raíz y foliares, incluidas bacterias, hongos y Oomycetes (38). Gran habilidad de repoblación y agrupación con micorrizas, aumentando de manera significativa la rizosfera del suelo, permitiéndole a las plantas una mayor capacidad de extracción de nutrientes con un alto grado de asimilación (41).

Las cepas de *Trichoderma spp.* son generalmente aplicadas como biopesticidas, bioprotectantes, bioestimulantes y biofertilizantes sobre una amplia variedad de plantas, gracias a que los propágulos de estos hongos pueden ser producidos en grandes cantidades y de bajo costo, con altas concentraciones y en estado líquido (agua o aceite) y en seco (granularmente o con poder disolvente) y además pueden ser recolectadas durante meses sin perder sus efectos benéficos sobre los cultivos (42,43).

Se ha demostrado que la aplicación de *Trichoderma spp.* actúa contra un amplio rango de hongos fitopatógenos transmitidos por suelo y aire los cuales se muestran en la figura 3. Asimismo, ha sido usado contra pudriciones en un amplio rango de especies, causadas por *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium* y patógenos formadores de esclerocios como *Sclerotinia* y *Sclerotium*. En la figura 2, se exhiben los patógenos sobre los que *Trichoderma spp.* actúa.

Figura 3. Patógenos sobre los que *Trichoderma spp.* actúa (68).

HONGOS CONTROLADOS POR <i>Trichoderma spp.</i>	ENFERMEDAD	CULTIVO
<i>Armillaria spp</i>	Pudrición de raíces	Frutales
<i>Botrytis cinerea</i>	Moho gris	Amplio rango de cultivos como: papa, tomate, frijol, mora, flores, tomate de árbol y pudriciones en poscosecha.
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnosis	Amplio rango de cultivos como: arveja, papa, tomate, frijol, mora, flores, tomate de árbol y pudriciones en poscosecha.
<i>Cylindrocladium scoparium</i>	Volcamiento	Pino
<i>Fusarium moniliforme</i>	Pudrición	Maíz
<i>Fusarium oxysporum</i>	Pudrición	Papa, tomate, frijol, tomate de árbol, banana, arveja, maíz, clavel, entre otros.
<i>Macrophomina phaseolina</i>	Carón de las raíces	Maíz, frijol, melón, ajonjolí.
<i>Phytophthora infestans</i>	Gota	Para, pepino de agua.
<i>Phytophthora spp</i>	Pudrición	Tabaco, flores, frutales, etc.
<i>Pythium spp</i>	Pudrición Algodonosa, volcamiento.	Amplio rango de cultivos.
<i>Rhizoctonia solani</i>	Pudrición algodonosa, volcamiento.	Zanahoria, tomate, lechiga, repollo, café, papa, arveja, cebolla, ajo, pimentón, etc.
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Pudrición algodonosa, volcamiento.	Habichuela, tomato, lechuga, repollo, café, papa, arveja, cebolla, ajo, pimentón, etc.
<i>Rosellinia bunodes</i>	Llaga estrellada	
<i>Rosellinia necatrix</i>	Pudrición blanca de raíces	Aguacate, manzano.
<i>Verticillium spp</i>	Marchitez por Verticillium	Papa

Como se puede apreciar en la figura 2, el *Trichoderma spp.* posee la capacidad de controlar enfermedades causadas por hongos de diferentes cultivos que afectan la papa, el maíz, arroz, ajo, cebolla entre otros.

3.1.9. Cómo favorece el género *Trichoderma* a los cultivos

El género *Trichoderma* tiene un efecto protector sobre las plantas, ya que puede controlar biológicamente a otros hongos que les causan enfermedades. Esto lo logra mediante diferentes mecanismos, como la micoparasitación, la producción de enzimas y antibióticos que degradan la pared celular de los hongos patógenos, y la competencia por el espacio y los recursos (40,54,67).

Además, el género *Trichoderma* puede inducir a la resistencia de las plantas, lo que les permite activar sus defensas ante el estrés biótico o abiótico. También puede favorecer la formación de suelos supresivos, donde se reduce la incidencia y la severidad de las enfermedades causadas por hongos del suelo. Por otro lado, el género *Trichoderma* puede estimular el crecimiento y el desarrollo de las plantas, al mejorar la solubilización y la absorción de nutrientes, y al aumentar la profundidad y la ramificación del sistema radicular (69). Estos beneficios se traducen en una mayor productividad y calidad de los cultivos.

¿Cómo las especies del género *Trichoderma* atacan a los patógenos fúngicos?

Las especies del género *Trichoderma* poseen diversas estrategias de control biológico contra los patógenos fúngicos. Una de ellas es la competencia por los recursos y el espacio, que limita el crecimiento y la dispersión de los hongos fitopatógenos. Otra es el micoparasitismo, que consiste en la detección quimiotrópica, el alojamiento y el crecimiento sobre las hifas de los patógenos vegetales, seguido de la penetración y la degradación de sus paredes celulares mediante estructuras especializadas y enzimas líticas. Una tercera estrategia es la producción de metabolitos secundarios con actividad antifúngica, que pueden inhibir o alterar las funciones enzimáticas de los fitopatógenos. Por último, las especies del género *Trichoderma* pueden inducir respuestas de defensa en las plantas hospedadoras, lo que aumenta su resistencia frente a una variedad de patógenos en las fases de preinfección y postinfección (67).

3.1.10. Género *Trichoderma* y la promoción del crecimiento de la planta

El género *Trichoderma* favorece a la planta mediante la solubilización de fosfatos y nutrientes. Esto se logra por la producción de ácidos orgánicos como el glucónico, el fumárico y el cítrico, que reducen el pH del suelo y facilitan la disponibilidad de fosfatos, micro y macronutrientes como el hierro, el manganeso y el magnesio, que son esenciales para el metabolismo vegetal. Estos nutrientes son asimilados por la planta y estimulan su crecimiento (70).

Se ha documentado que el género *Trichoderma* puede incrementar el crecimiento vegetal hasta en un 300%. Además, las cepas de este género inducen un mayor desarrollo radicular y una mayor salud vegetal, lo que proporciona más nichos para su colonización (8).

Así, la actividad antagonista de las especies del género *Trichoderma* implica mecanismos como el micoparasitismo, la antibiosis, la competencia por nutrientes, entre otros (44,45). También, estas especies actúan como biorreguladores indirectos, al activar mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos en las plantas para inducir resistencia sistémica a enfermedades, mejorar su crecimiento y desarrollo, aumentar su tolerancia al estrés por sequía o salinidad y solubilizar nutrientes que originalmente no son accesibles para las plantas (47,48).

La diversidad de estos mecanismos confiere a las especies del género *Trichoderma* una alta capacidad de colonización de sus hábitats, que se manifiesta en el uso eficiente de los sustratos, y en la liberación de metabolitos secundarios y enzimas (49). Además, se ha reportado que el género *Trichoderma* posee otros mecanismos, cuyos efectos biorreguladores son indirectos.

Estos incluyen aquellos que desencadenan o inducen mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos, como la activación de compuestos asociados con la resistencia de las plantas (Inducción de Resistencia) (38), con la detoxificación de toxinas excretadas por patógenos y la desactivación de enzimas de estos durante el proceso de infección; la solubilización de elementos nutritivos, que no tienen acceso a su forma original en las plantas. Tienen la capacidad, además, de crear un ambiente favorable al desarrollo radical, lo que aumenta la tolerancia de la planta al estrés (71).

3.1.11. Características del *Trichoderma* spp.

El género *Trichoderma* se identifica y verifica principalmente mediante caracteres morfológicos. Estos pueden ser específicos de cada especie y reflejar su singularidad. No obstante, la descripción precisa de la apariencia de una colonia resulta compleja y limita su utilidad para la identificación (43). Las colonias presentan un crecimiento rápido en medio de agar y producen conidios con prontitud. Inicialmente, tienen una superficie lisa y casi transparente, que luego se transforma en aireada o compacta. El color varía de verde a amarillo verdoso; la pigmentación y el número de conidios están influenciados por el pH. El reverso del cultivo puede ser incoloro o mostrar tonalidades como amarillo, ámbar, rojizo o amarillo verdoso (43).

3.2. Antagonismo

El género *Trichoderma* posee mecanismos de acción que le confieren plasticidad ecológica y capacidad antagónica, lo que lo hace un candidato potencial para su uso en la industria biotecnológica como agente de control biológico en diversos cultivos (51). Se ha demostrado el efecto biocontrolador del género *Trichoderma* contra varios hongos fitopatógenos en el manejo integrado en campo, para prevenir o reducir las enfermedades que provocan la pudrición radicular y la marchitez en la raíz, como *Rhizoctonia solani*, *Sarocladium* sp. y *Sclerotinia* sp. en arroz, flores, papa, hortalizas, frutales y frijol, *Fusarium oxysporum* en clavel, *Botrytis cinerea* en flores, *Colletotrichum gloesporioides* en fresa, frijol y flores, y “pata prieta” causada por *Phytophthora nicotianae* var. *Nicotianae*; evidenciando así su actividad antagónica (72,73). En su estudio, realizaron el biocontrol con *Trichoderma* spp. de *Fusarium oxysporum*, agente causal del “mal de almácigos” en cebolla, tanto antes como después de la emergencia (74).

Para evaluar la capacidad antagónica del género *Trichoderma* en laboratorio se emplean los cultivos duales como (75), que determinó el biocontrol de *Fusarium* sp. Asimismo, (76) evaluó en cultivos duales sólidos y líquidos el antagonismo frente a *Rhizoctonia solani* (77), señala que, en el control biológico, se aplican las esporas o los filtrados de cultivos de hongos que actúan mediante productos metabólicos que afectan las paredes celulares, las membranas y los ácidos nucleicos de su hospedero o las estructuras invadidas directamente son degradadas por el parasitismo, lo que disminuye la concentración de esporas o la densidad poblacional; atacando así a muchos hongos fitopatógenos de

importancia económica.

Por otro lado, (78) evaluaron el antagonismo de *T. harzianum* contra *F. oxysporum*, obteniendo en cultivos duales un radio de *T. harzianum* no menor a 7.42, evaluando el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) a los 10 días con valores de hasta 65,91%.

En este estudio se evaluó el efecto antifúngico de diferentes aislados de hongos obtenidos a partir de cultivos de ajo sobre el agente causal de la podredumbre blanca del ajo (*Sclerotium cepivorum*). Se seleccionaron los aislados que mostraron mayor actividad inhibitoria, siendo los más eficaces los correspondientes a las cepas 31, 1 y 3, que redujeron el crecimiento radial del patógeno en un 62.2%, 63.1% y 79.1% respectivamente a los 7 días de incubación. Mediante análisis molecular se identificaron las especies fúngicas como *Trichoderma viridescens* (cepa 1), *Trichoderma harzianum* (cepa 31) y *Trichoderma sp.* (cepa 3) (79). Estos resultados sugieren que estos aislados de *Trichoderma* podrían ser utilizados como agentes de control biológico contra la podredumbre blanca del ajo.

Figura 4. Cultivos duales de *Trichoderma asperellum* (Ta6, Ta9, Ta10 y Ta11) y *T. inhamatum* (Ti14) contra *Fusarium oxysporum* (F. o) (57)

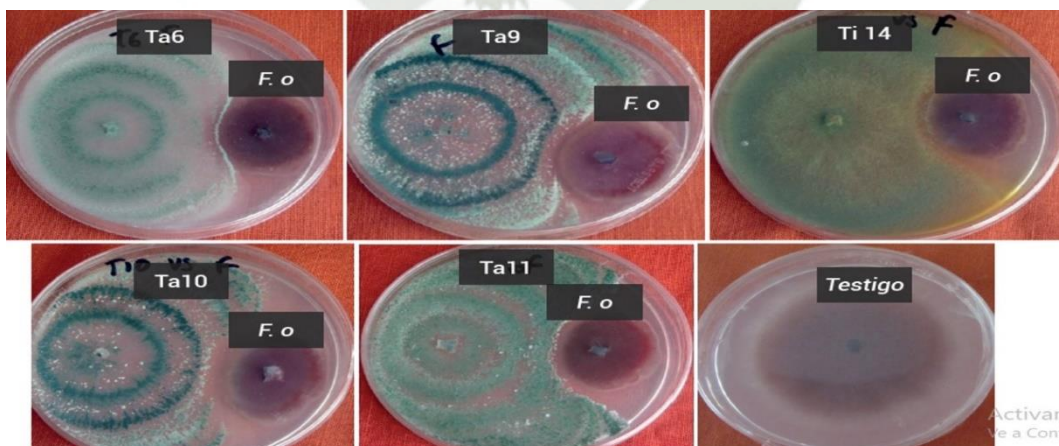
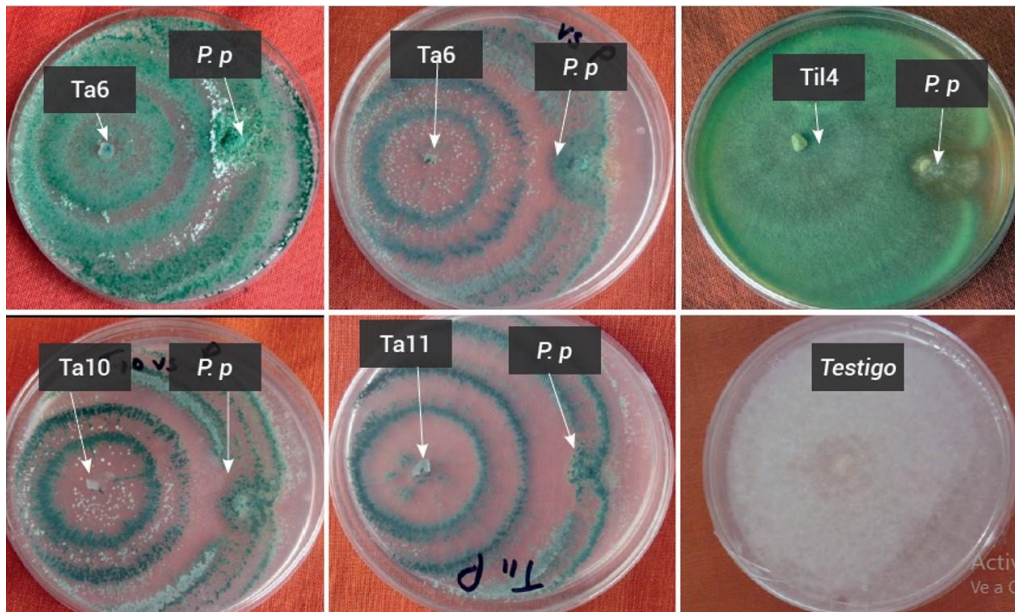


Figura 5. Cultivos duales de *Trichoderma asperellum* (Ta6, Ta9, Ta10 y Ta11) y *T. inhamatum* (Ti14) contra *Phytophthora parasitica* (P. p) (57).



En las Figuras 4 y 5 se observa que las cepas de *Trichoderma spp.* formaron zonas de intersección con los patógenos, donde se midió la distancia entre los bordes de los dos hongos. Los resultados mostraron que hubo diferencias significativas entre las cepas de *Trichoderma spp.* en cuanto a la distancia de intersección, tanto con *F. oxysporum* como con *P. parasitica*. La cepa que presentó el mayor crecimiento sobre los dos patógenos fue *T. inhamatum* cepa 14 (Ti14), con una distancia de intersección de 4.82 cm con *P. parasitica* (Ti14P) y de 4.11 cm con *F. oxysporum* (Ti14F). Le siguió *T. asperellum* cepa 10 (Ta10), con una distancia de intersección de 4.77 cm con *P. parasitica* (Ta10P) y de 3.46 cm con *F. oxysporum* (Ta10F). Estos resultados sugieren que estas dos cepas de *Trichoderma spp.* tienen un alto potencial para controlar biológicamente a estos dos hongos fitopatógenos.

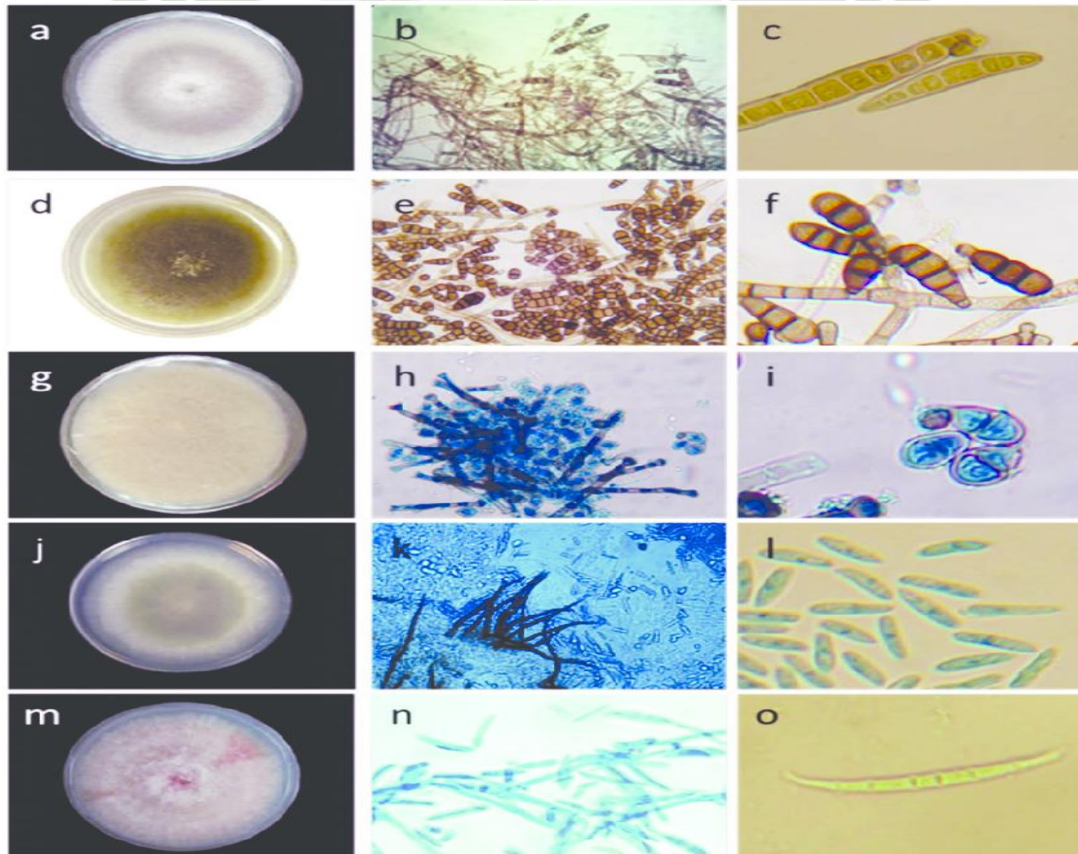
3.2.1. Hongos Fitopatógenos

En los hongos fitopatógenos se ha manifestado la relevancia de los efectores, concediéndoles la capacidad de alterar la estructura y función de su huésped, a fin de facilitar la infección (80). La estrategia molecular que involucra efectores también es mostrada por hongos micorrícicos (81). Entre los habitantes ubicuos de la rizósfera se encuentran hongos del género *Trichoderma*, que tienen un estilo de vida diverso, creciendo como saprofitos y

actuando como parásitos de otros hongos, incluidos muchos fitopatógenos y como simbiontes benéficos de plantas, promoviendo el crecimiento y mejorando la respuesta de defensa vegetal (8).

En relación con los hongos fitopatógenos más investigados, según nuestra recopilación de información se encuentra *Fusarium sp.* un extenso género de hongos filamentosos, ampliamente distribuido en el suelo y en asociación con muchas enfermedades de las plantas (82). Son productores de micotoxinas capaces de causar mutaciones y condiciones patológicas en diversos cultivos. Los distintos grupos de trabajo aplican diversas cepas de *Trichoderma sp.* siendo la más favorable para el control biológico de este hongo, predominantemente en cultivos de cebolla, cebollín y ajo (83).

Figura 6. Manifestaciones macroscópicas y microscópicas de los principales agentes causales de enfermedades fúngicas en heliconias, obtenidos a partir de diez variedades cultivadas en los departamentos de Valle del Cauca y Risaralda (60).



La figura 6, muestra los resultados de la identificación de los hongos. Se observaron las siguientes características morfológicas: a. *Helminthosporium spp.* presentó un crecimiento micelial abundante, de color gris oscuro a negro, con reverso negro. b. Bajo el microscopio, se observaron hifas septadas, ramificadas y pigmentadas, así como conidios alargados, curvados, con septos transversales y longitudinales, típicos de *Helminthosporium spp.* (40x). c. A mayor aumento (100x), se apreciaron mejor los detalles de los conidios, como el hilo basal y el poro apical. d. *Alternaria spp.* mostró un crecimiento micelial moderado, de color gris a oliva, con reverso negro. e. Al microscopiar, se observaron hifas septadas, ramificadas y pigmentadas, y conidios ovoides a oblongos, con septos transversales y longitudinales, formando cadenas cortas, característicos de *Alternaria spp.* (40x). f. A mayor aumento (100x), se observaron los poros apicales y basales de los conidios. g. *Cordana spp.* exhibió un crecimiento micelial escaso, de color blanco a crema, con reverso incoloro. h. Bajo el microscopio, se observaron hifas septadas, ramificadas e hialinas, y conidios cilíndricos a elipsoides, hialinos, unicelulares o con un septo transversal, formando cadenas largas, propios de *Cordana spp.* (40x). i. A mayor aumento (100x), se observaron los apéndices basales y apicales de los conidios. j. *Colletotrichum spp.* tuvo un crecimiento micelial escaso a moderado, de color blanco a rosado, con reverso incoloro a rosado. k. Al microscopiar, se observaron hifas septadas, ramificadas e hialinas, y conidios fusiformes a cilíndricos, hialinos a verdosos, unicelulares o con un septo transversal, formando acérvulos rodeados de setas oscuras y rígidas, distintivos de *Colletotrichum spp.* (40x). l. A mayor aumento (100x), se observaron los apresorios circulares a irregulares de los conidios. m. *Fusarium spp.* presentó un crecimiento micelial abundante, de color blanco a rosado o violeta, con reverso del mismo color o más oscuro. n. Bajo el microscopio, se observaron hifas septadas, ramificadas e hialinas o pigmentadas, y macroconidios falcados o en forma de canoa, hialinos o pigmentados, con septos transversales y uno o dos septos longitudinales en cada célula terminal, formando esporodocia sobre filamentos cortos o largos, propios de *Fusarium spp.* (40x). o. A mayor aumento (100x), se observaron los pies pedicelados y las protuberancias apicales de los macroconidios.

3.2.2 *Enfermedades de las plantas causadas por hongos*

El control de plagas y enfermedades es un desafío constante en la agricultura, que ha

recurrido a diferentes estrategias a lo largo de la historia. Una de las más extendidas ha sido el control químico, que consiste en aplicar productos sintéticos con actividad biológica sobre los organismos nocivos o los agentes infecciosos (50). Sin embargo, esta práctica tiene consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana.

Entre los principales enemigos de los cultivos se encuentran los hongos patógenos, que provocan pérdidas significativas de producción cada año. Se estima que alrededor de un tercio de los alimentos cultivados se ven afectados por enfermedades fúngicas (84). Estas enfermedades tienen un gran impacto social y económico, y se propagan principalmente por heridas, estomas y poros de agua en las plantas. Además, las esporas de los hongos pueden ser dispersadas por el viento a largas distancias (84).

3.2.3. Síntomas Enfermedades Fúngicas

Las infecciones fúngicas provocan la muerte de los tejidos vegetales, ya sea de forma localizada o generalizada. Asimismo, los hongos pueden alterar el desarrollo normal de las plantas, causando un crecimiento deficiente o excesivo, conocido como hipertrofia. Otros síntomas frecuentes de las enfermedades fúngicas en las plantas son: lesiones foliares, desprendimiento de la corteza, pudrición, antracnosis, úlceras, enrollamiento foliar y verrugas o agallas. Estos síntomas se basan en la referencia (85).

3.2.4. Enfermedades de las plantas por hongo más comunes

Las plantas pueden sufrir diversas enfermedades causadas por hongos que afectan su crecimiento y desarrollo. Estas enfermedades se caracterizan por la presencia de síntomas visibles en las hojas, tallos, flores o frutos de las plantas infectadas. Algunas de las enfermedades fúngicas más frecuentes y dañinas son: El tizón tardío de la patata, provocado por el hongo *Phytophthora infestans*, que produce manchas oscuras, violáceas o negras en las hojas, con un borde blanquecino donde se forma el micelio del hongo. Esta enfermedad puede causar la pérdida total de la cosecha de tubérculos si no se controla adecuadamente. La roya negra del trigo, causada por el hongo *Puccinia graminis f. sp. tritici*, que es una de las enfermedades más destructivas de los cereales, especialmente del trigo. Se manifiesta por la aparición de pústulas de color óxido en los tallos y hojas de las plantas, que liberan esporas que se dispersan por el viento e infectan a otras plantas.

La roya del café, originada por el hongo *Hemileia vastratrix*, que es una enfermedad muy grave que afecta al cultivo del café en todo el mundo. Se reconoce por la presencia de manchas amarillo-anaranjadas con un centro marrón en el envés de las hojas, que reducen la capacidad fotosintética de la planta y disminuyen la calidad y cantidad del grano. (87,88).

3.2.4. Medidas de Control

Para evitar la propagación de enfermedades fúngicas en las plantas de cultivo, existen diversas estrategias preventivas. Entre las más importantes se encuentran la eliminación de los restos vegetales que alberguen hongos patógenos, la selección de semillas libres de infecciones, la alternancia de cultivos para romper el ciclo de vida de los hongos y la aplicación de fungicidas de origen químico o biológico (84).

3.2. Enfermedades de los principales cultivos del Perú

El cultivo de papa es afectado por numerosas especies de hongos que causan enfermedades en las plantas o en los tubérculos, afectando de esta manera, la producción y la calidad de las cosechas (89). La rancha, mancha negra, roña y verruga son las enfermedades causadas por hongos.

Se ha reportado que el cultivo de espárrago es susceptible al ataque de microorganismos del género *Fusarium* (que causa importantes pérdidas económicas por las afectaciones en el rendimiento y producción) (79).

Los resultados de muestreos de plantas de vid con infecciones por hongos de madera en diferentes zonas productoras del país, han permitido establecer la presencia de patógenos asociados a la enfermedad de Petri, pie negro, y brazo muerto de la vid (89).

En arándanos La necrosis de tallos o muerte regresiva es una de las enfermedades más comunes que se observan en Perú y, en especial, en el norte del país. Esta enfermedad es causada por miembros de la familia *Botryosphaericeae*, especialmente *Lasiodiplodia theobromae*, *Botryosphaeria dothidea* y *Neofusicoccum parvum*. En la familia *Botryosphaeriaceae* se encuentran agrupados 24 géneros de hongos que afectan diversos cultivos fundamentales para el mundo (90).

En el caso de la palta, las pudriciones de frutos causadas por los hongos fitopatógenos: *Lasiodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloesporioides*, *Dothiorella sp.*, *Phoma sp.*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria sp.* y *Fusarium sp.* son uno de los principales problemas en pre y postcosecha (91).

En el Perú se cultivan las variedades de cebolla cabeza roja y cebolla blanca o amarilla, según las estadísticas oficiales el cultivo de la cebolla ocupa el puesto dieciséis en el orden de importancia a nivel nacional en el valor bruto de producción (VBP) produciéndose en el Perú 705,633 toneladas en una superficie de 18,093 hectáreas (92). En la región de Arequipa se origina el 62,4% del total de producción del país, esto representa un rendimiento de 402 059 t/Hectárea (4). Asimismo, el 31,4% de la oferta del total de cebolla producido en el país se destina a las exportaciones, ya sea en fresco, procesados y conservados (93).

El ajo (*Allium sativum*) de acuerdo estadísticas oficiales del (92), ocupa el puesto treinta y dos en el valor bruto de producción (VBP), produciéndose en el Perú 78,205 toneladas en una superficie de 7,699 hectáreas. La región de Arequipa alcanza el (71%) de su producción total, produciéndose en la región cerca de 78,513 t/Hectárea. Del total de la producción, el 9,6% de la oferta se destina a las exportaciones, ya sea en fresco y/o procesados conservados (92).

Es así que en la última década ha habido una disminución del 5% de la producción y exportación de ajo, cebolla y cebollín; a juzgar por (92–94), debido a las altas barreras que presenta el producto como la calidad, sabor y condiciones sanitarias de ese producto para colocarlo en el mercado. Cabe destacar que estos son rubros de larga tradición en regiones como Arequipa.

Esta disminución de los índices de producción y exportación de estas hortalizas se debe a los diferentes factores técnicos en su producción, como la producción ineficiente de semillas certificadas y a los diferentes problemas patológicos que afectan a estos cultivos (95).

Las hortalizas del género *Allium* son especies diploides que son difíciles de florecer, por ello se produce mediante propagación vegetativa debido a que esta se desarrolla a partir de los bulbillos (comúnmente llamados dientes o gajos) a causa de la ausencia de órganos reproductores viables que impiden la producción de semillas verdaderas (96).

Desde hace un largo tiempo estas hortalizas han sido afectadas principalmente por una serie de hongos fitopatógenos responsables de grandes pérdidas económicas en los pequeños agricultores de Arequipa (97). Algunos de los diferentes agentes patógenos como hongos del género: *Stemphylium sp.*, *Fusarium sp.*, *Pyrenochaeta terrestris*, *Alternaria porri*, *Sclerotium cepivorum*, *Pyrenochaeta terrestris* y algunos nematodos como el *Dytilenchus dipsaci* (7,12).

Una de las enfermedades fúngicas comunes en la producción de ajo y cebolla es la pudrición blanca causada por el hongo *Sclerotium cepivorum* causante de la pudrición de la raíz, marchitamiento vascular y pudrición del fruto infecta a más de 400 especies de plantas entre ellas las del género *Allium* produciendo estructuras de supervivencia por aglomeración de hifas de melanina alta llamada esclerocios (8,16).

La *Pyrenocheta terrestris*, causante de la pudrición de la raíz rosada y el *Fusarium oxysporum*, *F. graminearum*, responsable de las pérdidas y reducción del producto debido a las micotoxinas que esta genera, pero actualmente no hay un tratamiento químico perdurable para combatirlo, por esta razón se busca que los controladores biológicos podrían ser una buena estrategia para combatirlos (98).

Rhizoctonia solani es un hongo que extrae los nutrientes de los tejidos muertos de las plantas después de matar las células vegetales, lo que provoca la descomposición de las semillas y la pudrición del tallo o raíz (14).

De la misma manera, los cultivos también son afectados por *Alternaria*, *Aspergillus* y *Penicillium*, los cuales aparecen principalmente en la etapa de dormancia de las semillas, debido a un inadecuado proceso de almacenamiento, generando dificultades en el proceso de germinación de las semillas. Actualmente, existen diferentes estudios comprobados que demuestran la efectividad del hongo antagonista del género *Trichoderma* (16).

3.3. Importancia agrícola del género *Trichoderma* como agente de biocontrol

Los hongos del género *Trichoderma* son abundantes en ecosistemas terrestres, como bosques o suelos agrícolas, donde pueden prosperar con pocos nutrientes y en un rango de temperatura relativamente amplio (25-30 °C). Estos hongos tienen una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ecológicas y pueden vivir como saprófitos, interactuar con animales y plantas, o colonizar diversos sustratos. Estas características los hacen ideales

para su producción masiva y su aplicación en la agricultura (99). Por esta razón, el estudio de la diversidad de especies del género *Trichoderma* en distintos hábitats naturales permite conocer mejor su potencial biotecnológico, así como su importancia ecológica y agrícola (100).

Muchas especies de este género se asocian con la rizósfera de las plantas o se establecen como endófitos, favoreciendo el crecimiento y desarrollo vegetal. Esto se debe a que pueden producir hormonas vegetales, como auxinas y giberelinas, y ácidos orgánicos, como glucónico, fumárico y cítrico, que pueden reducir el pH del suelo y facilitar la solubilización de fosfatos, magnesio, hierro y manganeso, que son esenciales para el metabolismo vegetal (6). Además, este género fúngico es importante para las plantas, al contribuir en el control de hongos fitopatógenos, ya que poseen propiedades micoparasitarias y antibióticas, por lo que algunas especies han sido catalogadas como excelentes agentes de control biológico de hongos causantes de enfermedades en diferentes plantas (100). Este hongo toma nutrientes de los hongos que parasita y de materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostas favorecen su proliferación (40).

El biocontrol de enfermedades mediante el uso de hongos del género *Trichoderma* ha sido objeto de numerosas investigaciones en diferentes cultivos de interés agrícola, tales como tomate, arroz, maíz y trigo, entre otros (54). En particular, se evaluaron los efectos de distintas concentraciones de inóculo de *T. harzianum* y *T. viride* sobre la población de *Meloidogyne javanica*, un nematodo fitopatógeno que afecta al tomate. Los resultados mostraron que las concentraciones ensayadas redujeron significativamente la reproducción del nematodo y favorecieron el crecimiento vegetal. Asimismo, se constató que la forma de aplicación del biofungicida influye en su eficacia. Por ejemplo, se observó un mayor antagonismo de *Trichoderma spp.* frente a *Sclerotinia sclerotiorum*, otro patógeno del tomate, cuando se aplicó el biofungicida mediante riego por goteo, lo que se tradujo en un mayor rendimiento frutal (101). Por otro lado, se comprobó la efectividad de *T. asperellum* 01-52 y CB-Pin-01, tanto en forma fresca como en pellets, para controlar la decoloración de semillas de arroz causada por un hongo en Tailandia (102). Ambas formulaciones mejoraron el desarrollo y la productividad del cultivo, así como disminuyeron la incidencia de la enfermedad (40).



CAPITULO III

4. DISCUSIÓN

Se evaluó el impacto de tales contribuciones en la capacidad antagónica del hongo del género *Trichoderma* frente a los fitopatógenos que afectan a los cultivos de importancia económica para el Perú, en una revisión bibliográfica de artículos científicos y tesis sobre la temática planteada. En virtud de lo anterior se efectuó una lectura previa utilizando procedimientos lógicos, mentales, análisis, síntesis que ayudaron a sustentar la investigación que se procedió en el marco teórico, entre otros.

La literatura demuestra que los agentes de biocontrol basados en hongos del género *Trichoderma* son los más exitosos del mundo, ya que más del 60% de los biofungicidas registrados y usados provienen de formulaciones con estos microorganismos, la capacidad de estos hongos para detectar, invadir y destruir otros hongos ha sido la principal fuerza detrás de su éxito comercial como bioplaguicidas (39,103).

Sobre este particular, alrededor del 90% de los micoplaguicidas que se comercializan en el mercado para el biocontrol de agentes patógenos de plantas contienen como principio activo las esporas (conidios y clamidiosporas) de *Trichoderma spp.* (48,104–107). La mayoría de los productos disponibles en el mercado consistían en una sola especie de *Trichoderma* (67 %). Sin embargo, la generación de productos biológicos con diferentes combinaciones del género *Trichoderma* han demostrado mejores resultados (108).

En este mismo contexto, se puede señalar que existen algunos hongos del género *Trichoderma* que tiene la capacidad de conceder a la planta cierta resistencia a organismos patógenos, puesto que están asociados a distintas partes de la planta, tales como hoja, flor, semilla y raíz; así mismo, disminuyen los daños producidos por los patógenos (21,109).

Por otra parte, las mayores limitaciones del uso y comercialización de una formulación adecuada son asegurar su fácil aplicación, bajar los costos de producción, obtener una concentración suficiente de inóculo, la alta viabilidad de las esporas después de la aplicación al suelo o sustrato mantiene la densidad del inóculo a mediano y largo plazo (110).

Las especies del género *Trichoderma* muestran acción biorreguladora de forma indirecta, promueven mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos en la planta para inducir resistencia sistémica a enfermedades, mejoran el crecimiento y desarrollo de plantas (46).

Los mecanismos empleados por especies del género *Trichoderma* en control biológico de enfermedades de plantas pueden corresponder: A. Competencia física por espacio y nutrientes en el ambiente; B. Formación de metabolitos secundarios con actividad antibiótica o antifúngica; C. parasitismo directo o D. inducción de resistencia (111).

En los cultivos, al aplicarle el género *Trichoderma* estos, presentan un mayor crecimiento del tallo, favoreciendo en este sentido el incremento foliar, así como la extensión radicular (112). En el cultivo de cebolla, ajo, puerro, cebollín, los hongos del género *Trichoderma* tiene la capacidad de aumentar el crecimiento y la productividad de los mismos. A tal efecto, se tiende a activar las auxinas y el ácido indolacético (113).

En este mismo contexto, el caldo de microorganismos eficientes autóctonos (EMA), utilizado como una alternativa de control biológico de los fitopatógenos, presentó cepas de *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, hongos considerados como antagonistas de patógenos y que han sido empleados con mucho éxito en el combate de plagas y enfermedades agrícolas. En referencia a esto (114) ponderó que la capacidad antagónica que posee el género *Trichoderma* es debido a la competencia por espacios y colonización en diferentes áreas, resguardando el sistema radical de potenciales infecciones, aumentando de esa manera la resistencia.

Por otra parte, (115) menciona que el hongo del género *Trichoderma* es una alternativa para el control de *Sclerotium cepivorum* en ajo, cebolla, cebollín debido a que este hongo tiene la capacidad de parasitar las hifas del patógeno y producir enzimas que degradan su pared celular.

La producción de enzimas y otros metabolitos por cepas del género *Trichoderma* es muy variable y no está relacionada con la habilidad para controlar enfermedades (34,65), a mayores cantidades del antagónico añadido al suelo, reduciendo el daño de la *R. solani* bajo condiciones de invernadero (116). Asimismo, (117) indican que a mayor concentración enzimática se reduce la germinación de esporas de *B. cinerea*, este es especialmente el caso cuando las actividades quitinolítica y glucanolítica tienen un efecto sinérgico positivo. También con otros controles como *Talaromyces flavus*.

La variabilidad genética entre aislamientos de *Trichoderma sp.* concomitante con plantas de ajo afectadas por *S. cepivorum* se desconoce; sin embargo, se pueden utilizar herramientas moleculares adecuadas, como marcadores moleculares RAPD (Random amplified polymorphic DNA) y secuencias espaciadoras transcritas internas 1 y 2 (ITS1 e

ITS2), del ADN ribosomal que pueden ser usados para tal fin (118).

Por lo tanto, el *Trichoderma spp.* ha demostrado que tiene la capacidad de inducir resistencia a varias enfermedades a los *Allium*, cambiando su metabolismo, logrando aumentar así su crecimiento al aumentar la absorción de agua y minerales, especialmente la de fosfatos (119). La colonización de raíces por *Trichoderma spp.* causa cambios sustanciales en el proteoma y metaboloma de la planta, lo que resulta en mejoras del cultivo, productividad y tolerabilidad al estrés abiótico y biótico (120). Por otro lado, *Trichoderma spp.* ha sido estudiada como agente de control biológico contra hongos patógenos transmitidos por el suelo.

Tabla 1. Principales ventajas y desventajas tecnológicas y tecno-económicas de los Biocontroladores como el *Trichoderma spp.* (121).

	Tecnológicas	Técno / económicas
Ventajas	Ambientalmente sustentables. No dejan residuos químicos. Acción plaga/enfermedad específica. Múltiples efectos. Bajo riesgo de liberación (organismos autóctonos). Complementariedad con agroquímicos. Potencialidad de sustitución de agroquímicos.	Modalidad de aplicación adaptada a prácticas productivas (excepto macroorganismos para cultivos extensivos).
Desventajas	Variabilidad y falta de consistencia de resultados. Mayores tiempos de acción. Baja efectividad ante y la alta incidencia de plagas/enfermedades. Ecosistema específicos: limitación de globalización	Momento de aplicación (antes de la aparición de plagas / enfermedades): más riesgo económico. Dosificación (mayor cantidad de aplicaciones). Requerimiento de condiciones controladas de transporte y almacenamiento.

Con relación a los principales mercados y tendencias de bioinsumos, se puede señalar que dentro del demandante de preparaciones de control biológico se ubican en primer lugar los productores de frutas y verduras (cerca del 80%), seguidos por los de leguminosas y cereales (121). Estos insumos son aplicados no solo para la vigilancia de plagas y enfermedades directamente, sino que de la misma forma para el tratamiento de semillas y el cuidado de productos durante la fase poscosecha (121).

Los productos más extendidos son los bioinsecticidas y los biofungicidas sobre la base de microorganismos, que simbolizan el 70% del mercado de biocontrol (108).

Entre los primeros se ubican una variedad de elaboraciones desarrolladas con bacterias del género *Bacillus thuringiensis*. En el caso de los biofungicidas, las propuestas tecnológicas se fundamentan en hongos como el género *Trichoderma* y *Micorriza*.

5. PERSPECTIVAS FUTURAS + Agentes de Biocontrol

Los agentes de biocontrol son organismos vivos que se utilizan para controlar las poblaciones de plagas o enfermedades que afectan a los cultivos agrícolas. Estos agentes pueden ser depredadores, parasitoides, patógenos o antagonistas de los organismos dañinos. El uso de agentes de biocontrol tiene varias ventajas, como la reducción del uso de pesticidas químicos, la preservación de la biodiversidad, la mejora de la calidad de los productos y la sostenibilidad ambiental.

Las perspectivas futuras de los agentes de biocontrol son alentadoras, ya que existe una creciente demanda de métodos alternativos al control químico, debido a las preocupaciones por la salud humana, el medio ambiente y la resistencia de las plagas. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías, como la biología molecular, la genómica, la bioinformática y la nanotecnología, ofrece nuevas oportunidades para el descubrimiento, la identificación, la producción y la formulación de agentes de biocontrol más eficaces y específicos. Algunos ejemplos de líneas de investigación prometedoras son el uso de microorganismos endófitos, el diseño de sistemas de liberación controlada, la manipulación genética de los agentes o sus hospederos y la integración de los agentes de biocontrol con otras estrategias de manejo integrado de plagas.

En los últimos años, el uso de agentes de biocontrol han estado ganando importancia en todo el mundo para minimizar los efectos peligrosos de los productos

químicos en el medio ambiente debido a que los controladores biológicos proporcionando una alternativa segura para el control de hongos y bacterias que causan enfermedades en los cultivos (122), siendo uno de los más importantes el hongo antagonista *Trichoderma sp.* el cual se encuentra naturalmente en el ecosistema debido a su capacidad endofítica para ayudar al crecimiento de las plantas, aumentando su crecimiento, favoreciendo a la resistencia de las enfermedades y a su tolerancia al estrés abiótico (123).

La aplicación de la biotecnología en la agricultura, puede ayudar a la disminución de las enfermedades producidas por el uso excesivo de agroquímicos, que según el último reporte de la Organización Mundial de la Salud se estima que cerca de 750 mil personas sufren de diferentes afecciones por el empleo y contacto directa o indirectamente con estos (124,125).

El hongo *Trichoderma sp.* se caracteriza por encontrarse naturalmente en los suelos donde no haya habido intervención humana (suelos puros) y es capaz de suprimir, controlar o repeler patógenos, insectos y otras plagas, además de generar un incremento en el porcentaje de germinación ayudando así a la estimulación del crecimiento de las plantas convirtiéndolo en un biofungicida económico para el uso de los agricultores (24).

La elevada y reiterada aplicación de antifúngicos químicos utilizados para la protección de las semillas contra los de diferentes agentes patógenos, ha generado la aparición de cepas resistente y un desequilibrio en la microbiota del suelo, haciendo que los microorganismos benéficos naturales presentes en el suelo disminuyan según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (126).

Los productos a base de *P.lilacinum* son una alternativa ecológica en comparación con los productos químicos usados comúnmente en la agricultura , ya que estos ayudan a la reducción de los efectos ambientales negativos, mejorando el ecosistema y la calidad de los cultivos (111). Presentando muchas cualidades óptimas para el control de enfermedades en las plantas o en las semillas ocasionadas por diferentes patógenos fúngicos *Fusarium*, *Penicillium*, *Sclerotium* y otros , debido a que actúa por medio de una combinación de competencia por nutrientes, produce metabolitos antifúngicos , enzimas hidrolíticas y micoparasitismo además de producir sustancias promotoras para el crecimiento y de actuar como biofertilizante (26).

En los últimos años, las enfermedades fúngicas han afectado considerablemente los cultivos de ajo, como por ejemplo los hongos del género *Fusarium*, *Penicillium*, *Sclerotium*

están causando daños que producen una disminución del 40% en los rendimientos de producción, se ha comprobado que la aplicación del género *Trichoderma* controla el crecimiento de patógenos en el suelo (127–129).

La rentabilidad de la producción de productos como el ajo ha disminuido últimamente para los agricultores por el uso constante de diferentes agroquímicos que son utilizados para combatir con las enfermedades patogénicas que se encuentran, presenta este tipo de cultivos (94). El cultivo del género *Allium* tiene gran importancia social por la forma intensiva de siembra y la posibilidad de producir todo el año, constituyendo una fuente estable de mano de obra, pero actualmente esto, está siendo afectado por la baja productividad de este cultivo (92).

El género *Trichoderma* es un grupo de hongos que se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo y en la materia orgánica en descomposición. Estos hongos tienen una gran importancia ecológica y biotecnológica, ya que son capaces de degradar una variedad de sustratos, producir enzimas industriales, antagonizar a otros microorganismos patógenos y estimular el crecimiento vegetal. Además, algunos miembros del género *Trichoderma* poseen propiedades medicinales, como la producción de metabolitos secundarios con actividad antibiótica, antitumoral y antiinflamatoria.

Las perspectivas futuras para el estudio y la aplicación del género *Trichoderma* son muy prometedoras, ya que se trata de un grupo diverso y versátil, con un alto potencial para el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos. Algunas de las líneas de investigación que se podrían explorar en el futuro son:

- El análisis filogenético y taxonómico del género *Trichoderma*, utilizando herramientas moleculares y genómicas, para resolver las relaciones evolutivas entre las especies y los complejos de especies, así como para identificar nuevas taxas y caracterizar su diversidad funcional.
- El estudio de los mecanismos moleculares y bioquímicos involucrados en la interacción de *Trichoderma* con otros organismos, tanto benéficos como perjudiciales, para comprender los procesos de comunicación, reconocimiento, competencia y cooperación que ocurren en el ambiente natural y en los sistemas agrícolas.
- El desarrollo de nuevas cepas y formulaciones de *Trichoderma* con propiedades mejoradas para el control biológico de enfermedades vegetales, la biorremediación de suelos contaminados, la producción de biofertilizantes y bioestimulantes, la generación de

biocombustibles y la obtención de compuestos bioactivos con aplicaciones farmacéuticas y nutracéuticas.

- La evaluación de la seguridad y la eficacia de los productos basados en *Trichoderma sp.*, tanto para el ambiente como para la salud humana y animal, mediante ensayos ecológicos, toxicológicos e inmunológicos, así como el establecimiento de normas y regulaciones para su uso apropiado y sostenible.



CONCLUSIONES

Se puede concluir que la investigación realizada es una revisión sistemática en la cual se utilizó la metodología PRISMA, mediante la recopilación de información de diferentes fuentes como revistas científicas, tesis de maestría y pregrado utilizándose cien documentos, de los cuales sesenta fueron excluidos por no presentar una asociación suficiente con el tema de estudio utilizando veintisiete documentos con la información más reciente y relevante sobre los beneficios de la utilización y los mecanismos de acción de la especie del género *Trichoderma*, sobre los diferentes agentes patógenos como bacterias, hongos y parásitos que afectan a los diferentes cultivos de hortalizas, frutales y cereales.

En definitiva después de examinar la información recopilada se puede determinar que las especies del género *Trichoderma* emplean diferentes mecanismos de acción tales como: la competencia, micoparasitismo y antibiosis, que según la literatura demuestra su alta capacidad antagonica por su competencia por el espacio y/o nutrientes, su rapidez en la colonización de la rizosfera, su capacidad para tomar los nutrientes del suelo y la capacidad para producir metabolitos secundarios como el ácido fumárico, el ácido glicólico y ácido cítrico.

En resumen el mecanismo de la antibiosis del género *Trichoderma* se caracteriza principalmente por su capacidad para actuar como antagonista sobre los diferentes fitopatógenos, como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Phyitium* y *Sclerotinia*, debido a su producción de compuestos orgánicos volátiles y no volátiles, que inhiben el crecimiento y desarrollo de los microorganismos patógenos.

Finalmente se puede concluir que las diferentes especies del género *Trichoderma* se presenta naturalmente en diferentes hábitats, se caracterizan por ser saprófitos, sobreviviendo en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica debido a su gran capacidad para descomponerla y en determinadas condiciones puede ser anaerobio, facultativo y su alta capacidad de adaptación a las diversas condiciones medio ambientales y sustratos le confiriéndole a este género la posibilidad de ser utilizado en la industria de la biotecnología vegetal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios. [Internet]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2022. 200 p. Available from: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB9479ES>
2. Fuglie K. The growing role of the private sector in agricultural research and development world-wide. *Glob Food Sec* [Internet]. 2016;10:29–38. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211912416300190>
3. Chirinos DT, Castro R, Cun J, Castro J, Peñarrieta Bravo S, Solis L, et al. Los insecticidas y el control de plagas agrícolas: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador: la magnitud de su uso en cultivos de algunas provincias de Ecuador. *Cienc Tecnol Agropecu*. 2020;21(1):1–16.
4. Barragán-Ocaña A. Endogenous Technologies and Capabilities as Development Elements for the Mexican Countryside: the Role of Biofertilizers in Localized Agri-food Systems (lafs). *Econ teoría y práctica*. 2021 Apr;29(55):59–86.
5. Cotrina V, Alejos I, Cotrina G, Córdova P, Córdova I. Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. *Cent Investig Agropecu*. 2020;47(2):31–40.
6. Rodríguez-Gonzales A, Zárate-Villarroe SG, Bastida-Codina A. Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Rev Ciencias Ambient*. 2022;56(1):178–208.
7. Carreras-Villaseñor N, Hernández-Domínguez E, Sánchez-Rangel D. Conociendo a los hongos fitopatógenos [Internet]. *Inecol*. 2013 [cited 2022 Dec 2]. Available from: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1042-conociendo-a-los-hongos-fitopatogenos>
8. Ruiz-Cisneros MF, Ornelas-Paz JDJ, Olivas-Orozco GI, Acosta-Muñiz CH, Sepúlveda-Ahumada DR, Pérez-Corral DA, et al. Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Rev Mex Fitopatol Mex J Phytopathol* [Internet]. 2018;36(3). Available from:

- <http://rmf.smf.org.mx/ojs/index.php/RMF/article/view/121>
9. MASA Equipos Industriales. Los principales cultivos para el desarrollo agrario en el Perú. [Internet]. newhollandmitsui.com. 2020 [cited 2023 Jan 25]. Available from: <https://newhollandmitsui.com/agricultura/los-principales-cultivos-para-el-desarrollo-agrario-en-el-peru/>
 10. Agrochileperú. Producción de principales frutas y verduras en 2020 sumó más de s/ 8 mil millones, generando más ingresos a la agricultura familiar [Internet]. agrochileperu.com. 2021 [cited 2022 Nov 10]. Available from: <https://agrochileperu.com/2021/04/26/produccion-de-principales-frutas-y-verduras-en-2020-sumo-mas-de-s-8-mil-millones-generando-mas-ingresos-a-la-agricultura-familiar/>
 11. Tian Y, Yu D, Liu N, Tang Y, Yan Z, Wu A. Confrontation assays and mycotoxin treatment reveal antagonistic activities of *Trichoderma* and the fate of *Fusarium* mycotoxins in microbial interaction. *Environ Pollut*. 2020 Dec;267:115559.
 12. Bader AN, Salerno GL, Covacevich F, Consolo VF. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J King Saud Univ - Sci*. 2020 Jan;32(1):867–73.
 13. Maranhão EHDA, Maranhão EADA. Factores que determinan el desarrollo de la “raíz rosada” de la cebolla causada por *Pyrenochaeta terrestris*. *An da Acad Pernambucana Ciência Agronómica*. 2009;5–6:264–98.
 14. Wang C, Zhuang W. Evaluating effective *Trichoderma* isolates for biocontrol of *Rhizoctonia solani* causing root rot of *Vigna unguiculata*. *J Integr Agric*. 2019 Sep;18(9):2072–9.
 15. Rivera MC. Apuntes de patología vegetal: fundamentos y prácticas para la salud de las plantas. [Internet]. Rivera MC, Wright ER, editors. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, 2020.; 2020. 98 p. Available from: https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/apuntes_de_patologia_vegetal_0.pdf
 16. Ganuza MR, Pastor NA, Erazo, Jessica Gabriela Icon Andrés, J.; Reynoso, Maria Marta Icon; Rovera, M.; Torres AM. Efficacy of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* ITEM 3636 against peanut smut, an emergent disease caused by

- Thecaphora frezii. Eur J Plant Pathol. 2018;
17. Jiménez-Quintero CA, Pantoja-Estrada AH, Leonel HF. Riesgos en la salud de agricultores por uso y manejo de plaguicidas, microcuenca “La Pila.” Univ y Salud. 2016;18(3):417.
 18. Allsop M, Huxdorff C, Johnston P, Santillo D, Thompson K. Pesticides and our Health. Vol. 2, Greenpeace.org. 2015.
 19. Prasad RD, Chandrika KSV., Godbole V. A novel chitosan biopolymer based Trichoderma delivery system: Storage stability, persistence and bio efficacy against seed and soil borne diseases of oilseed crops. Microbiol Res. 2020 Aug;237(126487):126487.
 20. Joos L, Herren GL, Couvreur M, Binnemans I, Oni FE, Höfte M, et al. Compost is a carrier medium for Trichoderma harzianum. BioControl. 2020 Dec;65(6):737–49.
 21. Martínez B, Infante D, Reyes Y. Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. Rev Protección Veg. 2013;28(1):1–11.
 22. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. Rev Española Cardiol [Internet]. 2021 Sep;74(9):790–9. Available from: <https://www.revespcardiol.org/es-declaracion-prisma-2020-una-guia-articulo-S0300893221002748>
 23. Sanabria AJ, Rigau D, Rotaecche R, Selva A, Marzo-Castillejo M, Alonso-Coello P. Sistema GRADE: metodología para la realización de recomendaciones para la práctica clínica. Rev Atención Primaria [Internet]. 2015;47(1):48–55. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0212656714000493>
 24. Pehlivan N, Gedik K, Eltem R, Terzi E. Dynamic interactions of Trichoderma harzianum TS 143 from an old mining site in Turkey for potent metal(oid)s phytoextraction and bioenergy crop farming. J Hazard Mater. 2021 Feb;403:123609.
 25. Valdés-Ríos E. Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de Trichoderma como control biológico. Rev Agroecosistemas. 2014;2(1):254–64.
 26. Mohamed A-E, Mohamed E-S, Mohamed A-E. Biological control of some garlic diseases usin antagonistic fungi and bacteria. J Phytopathol Pest Manag.

- 2021;8(1):46–63.
27. Salej-Vargas P. Evaluación de trichoderma sp. y tres bacterias Gram negativas como posibles biocontroladores in vitro de hongos asociados con la pudrición de bulbo en allium cepa l. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2019.
 28. Jara-Almonte A. Etiología y control, in vitro con Trichoderma harzianum de la pudrición radicular de cebolla (allium cepa L.) en el valle de Locumba, provincia Jorge Basadre. [Tacna]: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; 2015.
 29. Rivera-Méndez W, Meneses-Montero K, Zúniga-Vega C, Brenes-Madriz JA. Antagonismo de Trichoderma sp. ante el patógeno Stromatinia cepivora en el cultivo de cebolla. Rev Tecnol en Marcha. 2016 Sep;29(7):22.
 30. Jácome-Espinosa R. Calidad sanitaria del material vegetal utilizado como semilla y su relación con la productividad del cultivo de ajo (Allium sativum L.). [Internet]. [Ambato]: Universidad Técnica de Ambato; 2016. Available from: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24955>
 31. Muñoz-Tahua J. Evaluación de Trichoderma harzianum para el control de la pudrición blanca en el cultivo de Allium cepa l. (cebolla de bulbo)". [Ambato]: Universidad Técnica de Ambato; 2017.
 32. Roca A, Guerrero A. Efecto citotóxico por cobre en Allium cepa (Amaryllidaceae). Arnaldoa. 2021;28(3):727–46.
 33. Cáceres-Ortuño J. Evaluación del efecto de Thrichoderma harzianum y bocashi en la producción de cebolla Allium cepa utilizando el método de investigación participativa en el cantón Santa Isabel, Azuay como un sistema alternativo de producción. [Azuay]: Universidad de Cuenca; 2017.
 34. Llicahua-Cusi D. Aislamiento y efecto antagonista “in vitro” de trichoderma spp. frente a fusarium sp. del cultivo de cebolla de los distritos de Santa Rita de Siguas y de Tiabaya– Arequipa-2018. [Arequipa]: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; 2018.
 35. Corona-García C. Inoculación de Trichoderma spp. para la producción del cultivo de cebolla. [Michoacán]: Instituto Politécnico Nacional; 2019.
 36. Kredics L, Hatvani L, Naeimi S, Körmöczy P, Manczinger L, Vágvölgyi C, et al. Biodiversity of the Genus Hypocrea/Trichoderma in Different Habitats. In:

- Biotechnology and Biology of Trichoderma. Elsevier; 2014. p. 3–24.
37. Mendoza-Mendoza A, Zaid R, Lawry R, Hermosa R, Monte E, Horwitz BA, et al. Molecular dialogues between Trichoderma and roots: Role of the fungal secretome. *Fungal Biol Rev*. 2018 Mar;32(2):62–85.
 38. Harman GE. Overview of Mechanisms and Uses of Trichoderma spp. *Phytopathology*®. 2006 Feb;96(2):190–4.
 39. Singh A, Shukla N, Kabadwal BC, Tewari AK, Kumar J. Review on Plant-Trichoderma-Pathogen Interaction. *Int J Curr Microbiol Appl Sci* [Internet]. 2018;7(2):2382–97. Available from: <https://www.ijcmas.com/abstractview.php?ID=6669&vol=7-2-2018&SNo=291>
 40. Hernández-Melchor DJ, Ferrera-Cerrato R, Alarcón A. Trichoderma: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chil J Agric & Anim Sci* [Internet]. 2019;35(1):98–112. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902019005000205&lng=en&nrm=iso&tlng=en
 41. Rajesh RW, Rahul MS, Ambalal NS. Trichoderma: A significant fungus for agriculture and environment. *African J Agric Res*. 2016 Jun;11(22):1952–65.
 42. Ghorbanpour A, Salimi A, Ghanbary MAT, Pirdashti H, Dehestani A. The effect of Trichoderma harzianum in mitigating low temperature stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Sci Hortic (Amsterdam)*. 2018 Jan;230:134–41.
 43. Woo SL, Scala F, Ruocco M, Lorito M. The Molecular Biology of the Interactions Between Trichoderma spp., Phytopathogenic Fungi, and Plants. *Phytopathology*®. 2006 Feb;96(2):181–5.
 44. Kubicek C, Harman G. Trichoderma and Gliocladium. Volume 1. Kubicek C, Harman G, editors. London: Taylor and Francis; 2002.
 45. Usman Ghazanfar M, Raza M, Raza W, Qamar MI. Trichoderma as Potential Biocontrol Agent, its Exploitation in Agriculture: A Review. *Plant Prot*. 2018;02(03):109.
 46. Mungole A, Chaturvedi A. Hibiscus sabdariffa L a rich source of secondary metabolites. *Int J Pharm Sci Rev Res*. 2011;6(1):83–7.

47. Guzmán-Guzmán P, Porras-Troncoso MD, Olmedo-Monfil V, Herrera-Estrella A. Trichoderma Species: Versatile Plant Symbionts. *Phytopathology*®. 2019 Jan;109(1):6–16.
48. Kashyap PL, Rai P, Srivastava AK, Kumar S. Trichoderma for climate resilient agriculture. *World J Microbiol Biotechnol* [Internet]. 2017;33(8):155. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11274-017-2319-1>
49. López-Bucio J, Pelagio-Flores R, Herrera-Estrella A. Trichoderma as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2015;196:109–23. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030442381530162X>
50. Schuster A, Schmoll M. Biology and biotechnology of {Trichoderma}. *Appl Microbiol Biotechnol* [Internet]. 2010;87(3):787–99. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00253-010-2632-1>
51. Bettiol W. Productos Alternativos Para El Manejo De Enfermedades En Cultivos Comerciales. *Fitosanidad*. 2006;10(2):85–98.
52. Infante D, Martínez B, González N, Reyes Y. Mecanismos de acción de {Trichoderma} frente a hongos fitopatógenos. *Rev Protección Veg*. 2009;24(1):14–21.
53. Muñoz-Tahua J. Evaluación de Trichoderma harzianum para el control de la pudrición blanca en el cultivo de Allium cepa L. (cebolla de bulbo). [Cevallos]: Universidad Técnica de Ambato; 2016.
54. Infante D, Martínez B, González N, Reyes Y. Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos. *Rev Protección Veg*. 2009;24(1):14–21.
55. Andrade-Hoyos P, Luna-Cruz A, Osorio-Hernández E, Molina-Gayosso E, Landero-Valenzuela N, Barrales-Cureño HJ. Antagonismo de Trichoderma spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Rev Mex Ciencias Agrícolas*. 2019;10(6).
56. Infante C, Ortega C, Morales F, Ehrmann U, Hernández-Valencia I, Pérez R. Efecto del potasio en la biorremediación de un suelo contaminado con un crudo liviano. *Bioagro*. 2010;22(2):145–52.
57. Michel-Aceves A, Hernández-Morales J, Toledo-Aguilar R, Sabino-López J, Romero-Rosales T. Capacidad antagónica de Trichoderma spp. nativa contra

- Phytophthora parasitica y Fusarium oxysporum aislados de cultivos de Jamaica. Rev fitotec mex. 2019;42(3):235–41.
58. Constantine J. Alexopoulos, Charles W. Mims MMB. Introductory Mycology. 4th ed. Nueva York: Wiley; 1996. 880 p.
59. CABI. Bases de datos CABI [Internet]. www.speciesfungorum.org. 2020 [cited 2022 Dec 20]. Available from: <https://www.speciesfungorum.org/Names/genusrecord.asp?RecordID=22475>
60. Romero G, Olivera-Costa V, Rodríguez D. Trichoderma harzianum como agente de control biológico. Engormix [Internet]. 2016; Available from: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/trichoderma-harzianum-como-agente-t32904.htm>
61. Martínez B, Infante D, Peteira B. Taxonomía polifásica y variabilidad en el género Trichoderma. Rev Protección Veg. 2015;30(5):11–22.
62. Jiménez J. Evaluación in vitro de aislados de Trichoderma spp. Alternaria spp., en Selenicereus sp. (Pitahaya), en la Joya de los Sachas. [El Coca]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2021.
63. Acurio-Vásconez RD, España-Imbaquingo CK. Aislamiento, caracterización y evaluación de Trichoderma spp. como promotor de crecimiento vegetal en pasturas de Raygrass (Lolium perenne) y trébol blanco (Trifolium repens). La Granja. 2016 Dec;25(1):53.
64. Mesa-Vanegas AM, Marín-Pavas DA, Calle-Osorno J. Metabolitos secundarios en Trichoderma spp. y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. Actual Biológicas. 2020 Feb;41(111):1–13.
65. Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC. Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains. Int Microbiol. 2004;7(4):249–60.
66. Sánchez M. Caracterización y selección de cepas de Trichoderma spp. antagonistas de Dactylonectria macrodidyma, Macrophomina phaseolina, Neopestalotiopsis clavispora y Rhizoctonia sp. [Montevideo]: Universidad de la República; 2019.
67. Koppert México. ¿Por qué utilizar especies de Trichoderma es una excelente idea para proteger las raíces de tus cultivos? [Internet]. www.koppert.mx. 2018 [cited 2023 Jan 14]. Available from: <https://www.koppert.mx/noticias-item/por-que-utilizar->

- especies-de-trichoderma-es-una-excelente-idea-para-proteger-las-raices-de-tus-cultivos/
68. González-Marquetti I, Infante-Martínez D, Arias-Vargas Y, Gorrita-Ramírez S, Hernández-García T, de la Noval-Pons B, et al. Efecto de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg sobre indicadores de crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar BAT-304. *Rev Prot Veg.* 2019;34(2):1–10.
 69. Interempresas. ¿Cómo aplicar el hongo trichoderma a mi cultivo? [Internet]. www.interempresas.net. 2021 [cited 2023 Jan 15]. Available from: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/325458-Como-aplicar-el-hongo-trichoderma-a-mi-cultivo.html>
 70. Beltrán-Pineda ME. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Cienc & Tecnol Agropecu.* 2015;15(1):101–13.
 71. Chaves-Barrantes NF, Gutiérrez-Soto MV. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agron Mesoam* [Internet]. 2016;28(1):255. Available from: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/21904>
 72. Chávez-García M. Producción de *trichoderma* sp. y evaluación de su efecto en cultivo de crisantemo (*dendranthema grandiflora*) [Internet]. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2006. Available from: <http://hdl.handle.net/10554/8312>
 73. Tovar-Castaño J. Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamientos de *Trichoderma* spp frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2008.
 74. Garrido M, Vilela N. Antagonistic capacity of *Trichoderma harzianum* compared to *Rhizoctonia solani*, *Nakataea sigmoidea*, *Sclerotium rolfsii* and its effect in native strains of *Trichoderma* isolated from rice crops. *Sci Agropecu* [Internet]. 2019 Jun 28;10(2):199–206. Available from: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2419>
 75. Sánchez A, Barrera V, Reybet G, Sosa MC. Biocontrol con *Trichoderma* spp. de *Fusarium oxysporum* causal del “mal de almácigos” en pre y post emergencia en ceboll. *Rev la Fac Agron La Plata.* 2015;114(1):61–70.
 76. Polanco Y. Biocontrol de *Fusarium* sp. por *Trichoderma* spp. en *Theobroma cacao* L

- en condiciones in vitro y vivero. [Naguanagua]: Universidad de Carabobo; 2016.
77. Pavone-Maniscalco D. Biocontrol de *Rhizoctonia solani* Kuhn por *Trichoderma* spp. [Caracas]: Universidad Central de Venezuela; 2012.
 78. Camarena-Lizarzaburu J. Efecto de la actividad metabólica de cepas de hongos antagonistas sobre *alternaria alternata* (fr.) Causante de la mancha parda en cítricos. [Internet]. [Lima]: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2012. Available from:
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/1418/Camarena_lj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 79. Fernández-Barbosa R, Suárez-Meza C. Antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp *passiflorae* en maracuyá (*Passiflora edulis* Sims var. *Flavicarpa*) del municipio zona bananera colombiana. *Rev Fac Nac Agron Medellín*. 2009;62(1):4743–8.
 80. Granados-Montero M. Principales grupos de organismos considerados como “hongos” fitopatógenos y principales estructuras útiles en su identificación. Costa Rica; 2018.
 81. Barrer SE. El Uso De Hongos Micorrizicos Arbusculares Como Una Alternativa Para La Agricultura. *Fac ciencias Agropecu*. 2009;7(1):124–32.
 82. Villa-Martínez A, Pérez-Leal R, Morales-Morales HA, Basurto-Sotelo M, Soto-Parra JM, Martínez-Escudero E. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica* [Internet]. 2014;64(2):194–205. Available from:
http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/43358
 83. Amerio NS, Castrillo ML, Bich GA, Zapata PD, Villalba LL. *Trichoderma* in Argentina: State of art. *Ecol Austral*. 2020;30(1):113–24.
 84. Cherlinka V. Enfermedades De Las Plantas: Tipos Y Prevención. *Eos.com*. España; 2022.
 85. Martínez A. Enfermedades Más Comunes De Plantas Ornamentales En Georgia. Vol. 1, Universidad de Georgia. Georgia; 2020.
 86. Reyes-Guzmán G. Seguridad alimentaria: el hongo Ug99 una amenaza mundial a los cultivos de trigo. *Rev Mex Ciencias Agrícolas* [Internet]. 2019;10(4):947–60.

- Available from:
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1229>
87. Egúsqüiza-Bayona R. Manejo Integrado de Plagas en Papa. Lima; 2012.
 88. Dirección General de Sanidad Vegetal. Roya del cafeto *Hemileia vastatrix*. Sader. 2019;(40):1–23.
 89. Alva JJ. Diagnóstico, epidemiología y control de enfermedades bacterianas y fungosas de la vid en tres zonas agroecológicas de Piura 2016-2017. [Internet]. [Piura]: Universidad Nacional de Piura; 2018. Available from: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1444/DOC-CIE-AGR-JAV-ALV.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 90. Moreira-Morrillo AA, Cedeño-Moreira Á V., Canchignia-Martínez F, Garcés-Fiallos FR. *Lasiodiploditheobromae*(Pat.) Griffon & Maubl [(syn.) *Botryodiplodia theobromae* Pat] in the cocoa crop: symptoms, biological cycle, and strategies management. *Sci Agropecu.* 2021 Dec;12(4):653–62.
 91. Caraguay-Yaguana KA, Eras-Guaman VH, Gonzalez-Zaruma D, Moreno-Serrano J, Minchala-Patiño J, Yaguana-Arevalo M, et al. Potencial reproductivo y análisis de calidad de semillas de *Cinchona officinalis* L., provenientes de relictos boscosos en la provincia de Loja – Ecuador. *Rev Investig Altoandinas - J High Andean Res.* 2016 Sep;18(3).
 92. MINAGRI. El Ajo En El Contexto Mundial y Nacional. Nota técnica N° 02-2020. Lima; 2020.
 93. MINCETUR. Análisis integral de la logística integral del Perú - Cebolla. Lima; 2018.
 94. Ministerio de Agricultura. Situación actual de la producción de ajo. Lima; 2008.
 95. Zeng Y, Li Y, Yang J, Pu X, Du J, Yang X, et al. Therapeutic Role of Functional Components in *Alliums* for Preventive Chronic Disease in Human Being. *Evidence-Based Complement Altern Med.* 2017;2017:1–13.
 96. Quintero-Herrera M. Caracterización genética de especies pertenecientes al género *allium*, de importancia comercial, distribuidas en los departamentos de Risaralda, Antioquia, Quindío, Huila, Boyacá y Cundinamarca. [Pereira]: Universidad Tecnológica de Pereira-Universidad del Quindío-Universidad de Caldas; 2016.

97. Pariona D, Higaonna C, Matos B. Enfermedades de hortalizas. Lima: INIA; 2001. 125 p.
98. Maldonado-Archila GY, Ligarreto-Moreno G, Gómez-Caro S. Fusarium species that cause corn stalk rot in the Ubaté valley of Cundinamarca, Colombia. Agron Colomb. 2022 Aug;40(2).
99. Ramos-Salas R. Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de un campo de cultivo de ajo y análisis de su capacidad antagónica contra {Sclerotium} cepivorum. [Arequipa]: Universidad Católica de Santa María; 2016.
100. Zapata-Sarmiento DH, Palacios-Pala EF, Rodríguez-Hernández AA, Medina Melchor DL, Rodríguez-Monroy M, Sepúlveda-Jiménez G. Trichoderma asperellum, a potential biological control agent of Stemphylium vesicarium, on onion (Allium cepa L.). Biol Control. 2020;140:104105.
101. Echeverry-Prieto LC, Zubieta-Coronado DA, Zafra-Mejía CA. Antagonismo in vitro por consorcios de Trichoderma sp. y Aspergillus sp. contra el fitopatógeno Sclerotinia sp. Biotecnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial. 2020 Dec;19(1):16–31.
102. Sánchez-Miranda MD, Moreno-Mayorga LF, Páramo-Aguilera LA. Identificación morfológica y molecular de especies autóctonas trichoderma spp., aisladas de suelos de importancia agrícola. Rev Cienc y Tecnol El Higo [Internet]. 2021;11(1):26–42. Available from: <https://www.camjol.info/index.php/elhigo/article/view/11715>
103. Blanco-Vargas Y. Desarrollo de un biofertilizante a base de biochar y bacterias fosfato solubilizadoras para el cultivo de Allium cepa L. [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2020.
104. Camacho-Luna V, Flores-Moctezuma H, Rodríguez-Monroy M, Montes-Belmont R, Sepúlveda-Jiménez G. Inducción de la respuesta de defensa de plantas de cebolla en la interacción con Trichoderma asperellum y Alternaria porri. Rev Mex Ciencias Agrícolas [Internet]. 2021;12(4). Available from: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2683/4145>
105. Whipps JM, R.D L. Commercial use of fungi as plant disease biological control agents: status and prospects. In: En BT, C J, N M, editors. Fungal biocontrol agents: progres, problems and potential. Wallingford: CABI Publishing; p. 9–22.
106. Ezziyyani M, Pérez C, Sid A, Requena M, Candela M. Trichoderma harzianum como

- biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L. *An Biol.* 2004;26:35–45.
107. Martínez E, Pérez L. Incidencia de enfermedades fúngicas en plantaciones de cacao de las provincias orientales de Cuba. *Rev Protección Veg.* 2015;30(2):87–96.
 108. Pineda-Insuasti JA, Benavides-Sotelo EN, Duarte-Trujillo AS, Burgos-Rada CA, Soto-Arroyave CP, Pineda-Soto CA, et al. Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: una revisión. *ICIDCA.* 2017;51(1):47–52.
 109. Sharma P, Sharma M, Raja M, Shanmugam V. Status of *Trichoderma* research in India: A review. *Indian Phytopathol.* 2014;67(1):1–19.
 110. Kohler A, Kuo A, Nagy LG, Morin E, Barry KW, Buscot F, et al. Convergent losses of decay mechanisms and rapid turnover of symbiosis genes in mycorrhizal mutualists. *Nat Genet* [Internet]. 2015;47(4):410–5. Available from: <http://www.nature.com/articles/ng.3223>
 111. Viera W, Noboa M, Bermeo J, Báez F, Jackson T. Parámetros de calidad de cuatro tipos de formulaciones a base de *Trichoderma asperellum* y *Purpuricillium lilacinum*. *Enfoque UTE.* 2018 Dec;9(4):145–53.
 112. Howell CR. Mechanisms Employed by *Trichoderma* Species in the Biological Control of Plant Diseases: The History and Evolution of Current Concepts. *Plant Dis.* 2003 Jan;87(1):4–10.
 113. Jacott C, Murray J, Ridout C. Trade-Offs in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Disease Resistance, Growth Responses and Perspectives for Crop Breeding. *Agronomy.* 2017 Nov;7(4):75.
 114. Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Cortés-Penagos C, López-Bucio J. *Trichoderma virens*, a Plant Beneficial Fungus, Enhances Biomass Production and Promotes Lateral Root Growth through an Auxin-Dependent Mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 2009 Mar;149(3):1579–92.
 115. Hoyos-Carvajal L. *Trichoderma*: Identificación y prospectiva. In: Martínez LJ, editor. *Avances de la investigación agronómica II.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2012. p. 53–69.
 116. Sedano GF, Mondragón-Sánchez LD. Manejo agroecológico de plagas y enfermedades. *Guía de formación virtual.* Lima; 2020.

117. Worasatit N, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Rowland C. Variation in pyrone production, lytic enzymes and control of rhizoctonia root rot of wheat among single-spore isolates of *Trichoderma koningii*. *Mycol Res* [Internet]. 1994 Dec;98(12):1357–63. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0953756209810630>
118. Jiménez M, Arcia A, Ulacio D, Hernández A. Evaluación de *Trichoderma* spp. y Acibenzolar-S-Metil (Bion®) como inductores de resistencia a la pudrición blanca *Sclerotium cepivorum* Berk. en ajo (*Allium sativum* L.) bajo Condiciones de campo. *J Selva Andin Biosph*. 2013;1(1):2–15.
119. Lorito M, Hayes CK, Pietro A, Woo SL, Harman GE. Purification, characterization, and synergistic activity of a glucan 1,3-b-glucosidase and N-acetyl-bglucosaminidase from *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology*. 1994;84:398–405.
120. Abdelrahman M, Abdel-Motaal F, El-Sayed M, Jogaiah S, Shigyo M, Ito S, et al. Dissection of *Trichoderma longibrachiatum*-induced defense in onion (*Allium cepa* L.) against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepa* by target metabolite profiling. *Plant Sci*. 2016 May;246:128–38.
121. Starobinsky G, Monzón J, di Marzo E, Braude H. Bioinsumos para la agricultura que demandan esfuerzos de investigación y desarrollo. Capacidades existentes y estrategia de política pública para impulsar su desarrollo en Argentina. [Internet]. Documentos de Trabajo del CCE N° 17. Buenos Aires; 2021. (Serie de Documentos para el Cambio Estructural). Available from: https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/2021/03/dt_17_-_bioinsumos.pdf
122. Vinchira-Villarraga DM, Moreno-Sarmiento N. Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Rev Colomb Biotecnol*. 2019 Jan;21(1):2–5.
123. Pazmiño-Miranda J. Importancia del uso de microorganismos del género *Trichoderma* sp. para el control biológico de los cultivos. [Internet]. [Babahoyo Los Ríos]: Universidad Técnica de Babahoyo; 2020. Available from: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7963/E-UTB-FACIAG-ING-AGROP-000064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
124. Chiummiento J. Biotecnología en cultivos: Qué es, para qué se usa y qué críticas despierta [Internet]. *dialogochino.net*. Argentina; 2022 [cited 2022 Nov 5]. Available from: <https://dialogochino.net/es/agricultura-es/52535-biotecnologia-en-cultivos-que-es-para-que-se-usa-y-que-criticas-despierta/>

125. García G. Biotecnología en la agricultura, aliada para enfrentar los retos futuros [Internet]. thefoodtech.com. 2021 [cited 2022 Dec 2]. Available from: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/biotecnologia-en-la-agricultura-aliada-para-enfrentar-los-retos-futuros/>
126. Canal AM. Desarrollo sostenible en el centro norte de la provincia de Santa Fe. 2. Sistemas productivos. Drago S, Pilatti M, editors. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral; 2021. 1–321 p.
127. Colquehuanca-Nina G, Blanco-Villacorta M. Importancia y Beneficios del Trichoderma en la producción agrícola. Rev Estud Agro-Vet. 2021;5(2):78–82.
128. Sanabria-Velázquez AD. Evaluation of Paraguayan native strains of Trichoderma spp. for the control of Colletotrichum spp. causal agent of strawberry anthracnose. Investig Agrar. 2020 Jun;22(1):53–62.
129. Andrade-Hoyos P, Luna-Cruz A, Osorio-Hernández E, Molina-Gayosso E, Landero-Valenzuela N, Barrales-Cureño HJ, et al. Antagonismo de Trichoderma spp. vs hongos asociados a la marchitez de Chile. Rev Mex Ciencias Agrícolas. 2019 Sep;10(6):1259–72.