

*Trichoderma y micorrizas como promotores de crecimiento en *solanum lycopersicum l.* (tomate)*

Marín Salazar Carolina, Lemus Vivas Harold Felipe¹, Bueno López Liliana², Álvarez Aldana Adalucy²

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas más importantes y de mayor consumo en el mundo. Las múltiples funciones biológicas de *Trichoderma*, incluido el control de enfermedades de las plantas, la estimulación del crecimiento de las plantas y la biorremediación, son importantes porque tiene la capacidad de afectar ciertos fitopatógenos además de promover el crecimiento y la floración de las plantas. En cuanto a las micorrizas, estas tienen la capacidad de solubilizar los nutrientes del suelo relativamente inmóviles, tales como el zinc (Zn) y el fósforo (P), e igualmente poner los elementos minerales a disposición de la planta para obtener un aumento en su crecimiento. El objetivo principal de esta revisión es identificar los beneficios de *Trichoderma* y Micorrizas como promotores de crecimiento en la producción de tomate. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica utilizando las palabras clave en diferentes bases de datos como Scopus, Science Direct y Scielo, obteniendo en total 5.549 artículos de los cuales se seleccionaron 50 para el desarrollo del tema. En conclusión, podríamos decir que la combinación de *Trichoderma* y de las micorrizas, son altamente beneficiosas para el cultivo de tomate porque contribuye tanto en el crecimiento de la planta, y ejercen como biocontrolador.

Palabras Clave: *Trichoderma*, Tomate, Microorganismos beneficiosos del suelo, Biocontrol, Micorrizas.

1. Semillero Microorganismos de Importancia en Salud Humana y Animal “Obvio Microbio”. Programa de Microbiología. Universidad Libre Pereira. carolina-marins@unilibre.edu.co, haroldf-lemusv@unilibre.edu.co
2. Profesores. Programa de Microbiología Universidad Libre Pereira. adalucy.alvareza@unilibre.edu.co. *Líder Semillero Obvio Microbio. liliana.buenol@unilibre.edu.co

Trichoderma and mycorrhizae as growth promoters in *solanum lycopersicum l.* (tomato)

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum L.*) is one of the most important and consumed vegetable crops in the world. The multiple biological functions of *Trichoderma*, including the suppression of plant diseases, the stimulation of plant growth and bioremediation, due to the fact that it has the capacity to intervene on some phytopathogens of great importance and in addition to this, it promotes the growth and flowering plants. As for mycorrhizae, they have the ability to solubilize relatively immobile soil nutrients, such as zinc (Zn) and phosphorus (P), and also make mineral elements available to the plant to obtain an increase in its growth. The main objective of this review is to identify the benefits of *Trichoderma* and Mycorrhizae as growth promoters in tomato production. For this, a bibliographic search was carried out using the keywords in different databases such as Scopus, Science Direct and Scielo, obtaining a total of 5,549 articles, of which 50 were selected for the development of the topic. In conclusion, we could say that the combination of *Trichoderma* and mycorrhizae are highly beneficial for tomato cultivation because they contribute both to plant growth and act as a biocontroller.

Keywords: *Trichoderma*, Tomato, Beneficial soil microorganisms, Biocontrol, Mycorrhizae.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos de hortalizas más importante y consumidos en el mundo (1). Los estudios nutricionales proponen que el consumo regular de frutas y verduras, incluidos los tomates, puede ejercer un factor importante en la prevención de enfermedades (2).

El uso generalizado de fertilizantes químicos afecta la pérdida de calidad del suelo, la eutrofización y la contaminación por metales pesados, lo que genera graves consecuencias ambientales negativas. Por tanto, el uso de biofertilizantes constituye una herramienta vital para mejorar la calidad del suelo (3).

Entre las ventajas de utilizar microorganismos en la agricultura están su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, la descomposición de residuos orgánicos, la desintoxicación con plaguicidas, el mitigar enfermedades en las plantas, el aporte de nutrientes al suelo y la producción de compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas (4).

Entre los aspectos fitosanitarios, el cultivo de tomate es altamente propenso a enfermedades y plagas. El uso de hongos antagonistas es una alternativa empleada para el control biológico ya que son conocidos por tener las facultades de disminuir la incidencia de enfermedades de muchos patógenos fúngicos, bacterianos

y virales y de estimular la defensa en las plantas (5), cuyo estudio de su efectividad y de su mecanismo de acción es indispensable para el desarrollo de una estrategia en la implementación de una agricultura sostenible y limpia (6).

Trichoderma es un género de hongos que ha sido ampliamente estudiado como agente biocontrolador por factores como su versatilidad, adaptabilidad a diferentes ambientes, fácil manipulación y propagación, actuando como estimulante de crecimiento captando mejor los nutrientes y brindando resistencia a las plantas ((7)(8)). Hasta el momento se han caracterizado morfológica y molecularmente 10 cepas las cuales son: TL2, TL4, TL5, TL6, TX7, TX8, TT6, TF8, TF10 y TJ6 (7). Generalmente las especies de *Trichoderma* se puede encontrar en diferentes hábitats como las tierras agrícolas, marismas o desiertos, su aislamiento puede darse en suelo natural, material vegetal orgánico o incluso de la madera. Este hongo presenta un crecimiento rápido en varias fuentes de nutrientes, como pueden ser el agar papa dextrosa (PDA), el agar Czapek Dox (CDA) y el agar de malta (MA) (9).

Estas especies de hongos son considerados como colonizadores de la rizósfera, es decir que colonizan las raíces de la planta huésped beneficiándola como biocontrol de enfermedades ((10) (11)) ya que puede controlarlas por diversos mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo, la inducción de

resistencia y la producción de metabolitos como el ácido heptelídico, la tricolina, entre otros, que inhiben algunos patógenos en la planta ((12) (13)). Además de esto, algunas especies han sido identificadas como plaguicidas contra diferentes insectos entomopatógenos como lo son el pulgón o el salta hojas del algodón (9).

Las micorrizas son el resultado de la asociación simbiótica entre las raíces de las plantas y el micelio de los hongos. Esta simbiosis favorece la solubilidad y movilidad de los nutrientes en el suelo para la planta, otorgando a la planta una mayor resistencia al estrés hídrico y enfermedades ((14) (15)). Gracias a esto, el uso de esta simbiosis ha sido utilizado desde finales de los años 80 en la agricultura, implementándose como alternativa al uso de fertilizantes sintéticos (16). Las micorrizas son miembros del filo Mucoromycota y pertenecen al subfilo Glomeromycotina (17). Los estudios más recientes del genoma de este subfilo han determinado que presentan genomas extensos y muy repetitivos, además de esto se ha comprobado que no tienen genes que les ayuden con la producción de azúcares ni de ácidos grasos (18).

Estos hongos representan un papel trascendental en los ecosistemas terrestres debido a varios factores en los que intervienen como, regular los ciclos de nutrientes, influir en la estructura y la multifuncionalidad de los suelos, agregar el suelo y descomponer la hojarasca. Además,

confieren a las plantas tolerancia a la sequía, los metales pesados, las enfermedades, y los patógenos, entre otros factores (19). Por tal motivo, las micorrizas tienen la capacidad de contribuir a la restauración de suelos afectados por la minería, gracias a la tolerancia al estrés biótico o hídrico y la obtención de minerales ayudando con el mantenimiento, la estabilidad de la estructura y la calidad del suelo y promoviendo el buen funcionamiento del ecosistema. Además, son capaces de establecer simbiosis con al menos el 80 % de las especies vegetales ((20) (21) (22)).

Como objetivo general del presente trabajo de revisión es identificar los beneficios de Trichoderma y Micorrizas como promotores de crecimiento en la producción de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos como Scopus, Science Direct y Scielo utilizando los siguientes términos, tanto en español, como en inglés: “Trichoderma”, “Tomato”, “Microorganismos beneficiosos del suelo”, “Biocontrol”, “Micorrizas” y Myorrhizae”. Se empleó el conector Booleano AND. También se filtró la información teniendo en cuenta si eran de acceso directo, que tuviera un rango de 12 años, que fueran artículos originales, aunque se seleccionó algunos artículos clásicos del año 2000 como complemento para información sobre el tomate.

RESULTADOS

Tabla 1: Resultados de la búsqueda bibliográfica

Base de datos	Palabra clave	Filtros	Resultado
Scopus	Tomate	De acceso abierto y artículos de investigación.	441 artículos
Scopus	Trichoderma and tomato	De 2009 en adelante de acceso abierto y artículos de investigación.	234 artículos
Scopus	Soil beneficial microorganism	De 2000 en adelante de acceso abierto y artículos de investigación.	1155 artículos
Scopus	Microorganism benefits for tomato	De 2015 en adelante de acceso abierto y artículos de investigación.	37 artículos
ScienceDirect	Trichoderma	De 2019 en adelante de acceso abierto y artículos de investigación.	649 artículos
Scopus	Trichoderma	De 2019 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	1.749 artículos
Scopus	Micorrizas	De 2019 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	18 artículos
Scopus	Mycorrhizae	De 2019 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	763 artículos
Scopus	Trichoderma and mycorrhizae	De 2019 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	10 artículos
Scopus	Control biologico	De 2018 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación	62 artículos
Scopus	Trichoderma atroviride	De 2018 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	162 artículos
ScienceDirect	Trichoderma harzianum	De 2018 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	207 artículos
Scopus	Trichoderma harzianum	De 2018 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	55 artículos
Scopus	Fusarium oxysporum and tomate	De 2018 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	6 artículos
Scopus	Phytophthora capsici and tomate	De 2017 en adelante, de acceso abierto y artículos de investigación.	1 artículo

Tabla 2: Artículos más relevantes.

Artículo	Año	Ref
Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2005	(4)
Biological functions of <i>Trichoderma</i> spp. for agriculture applications.	2020	(27)
Mecanismos de acción de <i>Trichoderma</i> frente a hongos fitopatógenos.	2009	(28)
<i>Trichoderma atroviride</i> LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing <i>Fusarium</i> wilt disease in tomato seedlings.	2022	(29)
Effects of different vegetable rotations on fungal community structure in continuous tomato cropping matrix in greenhouse	2020	(32)
Inducción de resistencia en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Y antagonismo de <i>Trichoderma viride</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i> .	2021	(33)
Antagonistic activity of <i>Trichoderma harzianum</i> and <i>Trichoderma viride</i> strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro.	2021	(34)
Biopreparados de <i>Trichoderma</i> spp. Para el control biológico de <i>Phytophthora capsici</i> en el cultivo de tomate de Puebla, México.	2017	(40)
Mycelium chemistry differs markedly between ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal fungi	2022	(46)
Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate.	2015	(47)

DISCUSIÓN

Importancia de la aplicación de biofertilizantes en el desarrollo de las plantas y su impacto en la producción agrícola en cultivos como el tomate.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo popular que se siembra durante todo el año; pertenece a la familia Solanaceae y es originario de la región andina en Suramérica. El tomate es una fuente importante de vitaminas A y C; minerales como Ca, P y Fe, y antioxidantes como el licopeno (23).

La fertilidad del suelo es la capacidad de proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. La comunidad microbiana juega un papel muy importante ya que es la responsable del consumo de nutrientes y de la mineralización de la materia orgánica. Las interacciones entre las plantas y los microorganismos aplicados a las semillas, el suelo o las plantas colonizan las raíces, la rizosfera o ambos, y promueven el crecimiento de las plantas y aumentan la absorción y disponibilidad de nutrientes del suelo. (24).

La aplicación de microorganismos como biofertilizantes es un enfoque prometedor

para ayudar en la producción agrícola; estas aplicaciones han contribuido al crecimiento de varias especies de cultivos, aumentan la biomasa vegetal y los contenidos de P total y participan en el ciclo del P sin afectar el medio ambiente (25). Se ha informado que los hongos poseen una mayor capacidad para solubilizar roca fosfórica que las bacterias. Los hongos, y probablemente todos los organismos vivos, sintetizan una serie de fosfatasa que son necesarias para eliminar los fosfatos (P_i) del medio que contiene fósforo unido (26). La capacidad de los hongos para ocupar espacios y rangos más grandes dentro del suelo que las bacterias y para producir una variedad de ácidos orgánicos que desempeñan un papel trivial en la solubilización del fosfato inorgánico. (25)

Características morfológicas de *trichoderma*:

El género *Trichoderma* se encuentra en gran variedad de ecosistemas. Por lo general, se encuentran en bosques o suelos agrícolas. Las cepas de *Trichoderma* se pueden identificar por características morfológicas comunes que son un pigmento conidial de color verde brillante, tienen un crecimiento rápido y se ramifican repetidamente (Figura 1) (27).

El micelio visto al microscopio es fino, los conidióforos son ramificados (Figura 1). Los mismos se presentan como penachos compactados que forman anillos con un sistema de ramas irregular de manera

piramidal. Estos terminan en fiálides donde se forman las esporas asexuales o conidios, de gran importancia para la identificación taxonómica a nivel de especies. Los conidios aseguran las generaciones del hongo durante gran parte del período vegetativo de las plantas. Son haploides y su pared está compuesta por quitina y glucanos (28).

La mayoría de las especies de *Trichoderma* presentan clamidosporas, las cuales toleran condiciones ambientales adversas que permiten que el hongo pueda perdurar a través del tiempo. No obstante, las clamidosporas recién formadas presentan más de 75 % de germinación, bajo condiciones óptimas de humedad ($> 75 \%$) y temperatura ($28 - 30^\circ\text{C}$). Debido a esto se dice, que las especies de *Trichoderma* producen tres tipos de propágulos: hifas, clamidosporas y conidios (28).

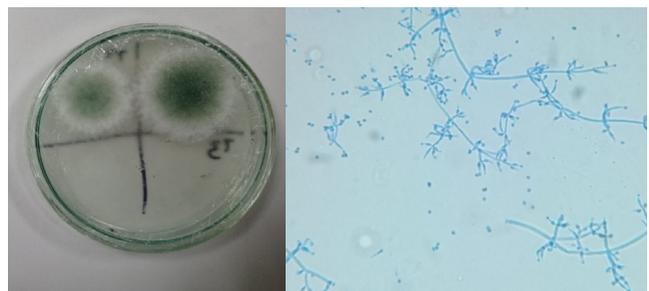


Figura 1. Macrografía y microscopia de *Trichoderma*. Fuente: propia.

Importancia como biocontrolador

Las múltiples funciones biológicas de *Trichoderma*, incluida la supresión de enfermedades de las plantas, la estimulación del crecimiento de las plantas y la biorremediación, han sido bien documentadas (29). El control biológico en los cultivos de hortalizas representa una alternativa prometedora para la reducción del daño ocasionado por fitopatógenos en semillas.

Trichoderma spp, destaca como controlador biológico de semillas, debido a que tiene la capacidad de intervenir sobre algunos fitopatógenos de gran importancia y además de esto, promueve el crecimiento y floración de las plantas (30).

El mecanismo que ejerce *Trichoderma* implica una comunicación con los sistemas de raíces y brotes, incluida la liberación de muchos metabolitos activos en la rizosfera, lo que aumenta el crecimiento y el rendimiento de las plantas (29). Algunas de las especies de *Trichoderma* son los agentes de control biológico más versátiles, gracias a esto, en la actualidad, dichas especies son utilizadas como ingredientes activos en biofertilizantes, bioplaguicidas, estimulantes de crecimiento y de resistencia natural. Se calcula que más del 60 % de los biopesticidas utilizados en China contienen una o más especies de *Trichoderma*. Las principales especies que se han comercializado son: *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma atroviride*,

Trichoderma virens, *Trichoderma viride* y *Trichoderma asperellum* (29).

Las especies de *Trichoderma* son productoras de muchos metabolitos con importancia médica y agrícola. Los metabolitos secundarios, como los peptaiboles y los policétidos, exhiben propiedades antifúngicas, antibacterianas y anticancerígenas. Los metabolitos volátiles, también conocidos como compuestos orgánicos volátiles (COV), tienen una masa molecular baja, una presión de vapor alta, un punto de ebullición bajo y una polaridad baja. Son químicamente diversos e incluyen hidrocarburos, aromáticos, aminas, tioles y terpenos. (31).

Las enfermedades de las plantas transmitidas por el suelo son una epidemia perenne, que a menudo causan enfermedades de las raíces y, a veces, ponen en peligro a toda la planta, y estas enfermedades están sujetas a la influencia del entorno del suelo y las prácticas agrícolas. Las enfermedades transmitidas por el suelo en los cultivos incluyen hongos, bacterias, actinomicetos y nematodos. Con respecto a enfermedades por hongos, están, por ejemplo, *Fusarium oxysporum* que causa el marchitamiento en la familia Solanaceae. También *Verticillium* es un agente causal de la enfermedad de marchitez vascular y *Pyrenochaeta lycopersis* de la enfermedad de pudrición de la raíz (32).

Enfermedades en tomate y Biocontroladores

Entre las enfermedades más problemáticas para la producción de tomate se encuentra la marchitez vascular. Esta enfermedad es causada por un hongo llamado *Fusarium oxysporum*, el cual puede ocasionar pérdidas en el rendimiento de hasta un 60 % (33).

Esta clase de hongos ingresan bien sea, directamente por la raíz o por heridas provocadas por insectos o por otros patógenos, gracias a esto, el hongo coloniza el sistema vascular. Los síntomas en las plantas infectadas por este hongo comienzan con epinastia en hojas viejas, luego se puede evidenciar marchitamiento en algunas hojas, debido a que se reduce el transporte de nutrientes y de agua. Posterior a esto, el interior del tallo vira a un color marrón y finalmente el tallo también se marchita lo que ocasiona la muerte de la planta (33).

Entre las cepas de *Trichoderma* que intervienen en el biocontrol de esta enfermedad se encuentran, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en un 75,7 % y 67,7 %, respectivamente (34). En el caso de *Trichoderma harzianum*, puede aumentar la disponibilidad de elementos nutricionales específicos en el suelo, como el nitrógeno y el fósforo, generando un aumento en el sistema de las raíces, así como la parte aérea de la planta. Además,

se ha informado un aumento de producción de biomasa en los tomates (35), también cuenta con la capacidad de micoparasitar las cepas de *Fusarium oxysporum* a través del enrollamiento, la formación de aspersorio y la lisis del micelio fúngico (34).

Además de esto, los metabolitos secundarios que son producidos por *Trichoderma harzianum* como lo son la, pirona, furanona, estigmasterol, ácido palmítico, harzianopiridona y la antraquinona, tienen efectos que inhiben el crecimiento microbiano (36). *Trichoderma atroviride* tiene la capacidad de intervenir en la supresión del marchitamiento causado por diferentes especies de *Fusarium* en cultivos de tomate, esta especie presenta una eficiencia de un 82,68 % en el control de dicha enfermedad. Adicionalmente, los compuestos orgánicos volátiles que son producidos por esta cepa poseen la capacidad de afectar la dirección en el crecimiento de la raíz primaria y de promover el crecimiento de la misma (29).

Por otro lado, las micorrizas arbusculares (AM) son una de las estrategias biológicas más efectivas para controlar la marchitez por *Fusarium* en cultivos de tomate (37). Los hongos micorrízicos pueden aumentar la resistencia de las plantas a las enfermedades a través de los siguientes mecanismos: 1; mejorar la nutrición de las plantas, 2; competencia, 3; cambios en la morfología y estructura de la raíz, 4; mejora de la microflora de la rizosfera, 5; resistencia inducida o sistémica en las plantas (38).

El marchitamiento en las plantas inoculadas con AM podría atribuirse a la producción de ácido fusárico, que redujo directamente el marchitamiento en los tejidos vasculares. AM también aumenta la actividad de las enzimas metabolizadoras de fosfato, como la fosfatasa alcalina y ácida, y también aumenta el contenido de clorofila de la planta, reduciendo así el daño causado por el marchitamiento por *Fusarium marchitez* (39).

Otra enfermedad que representa una gran problemática en la producción de tomate es la pudrición basal del tallo, es causada por el oomycete *Phytophthora capsici*. Esta enfermedad se presenta en las raíces, en el tallo, las hojas y los frutos. *Phytophthora capsici* pudre las raíces de la planta, produce lesiones negras en el tallo, produce lesiones circulares, acuosas y de color café grisáceo en las hojas y, por último, produce una película de esporangio blanca en los frutos (40).

Sin embargo, las hifas que contienen *Trichoderma Asperellum* y *Trichoderma Virens* tienen la capacidad de penetrar las hifas de *Phytophthora Capsici* por medio del micoparasitismo, esto ocasiona la degradación de las células hifales debido a que intervienen enzimas que degradan la pared celular, lo que permite que extraigan nutrientes para su desarrollo (41).

Las micorrizas y su papel como promotoras de crecimiento vegetal

En cuanto a las micorrizas, estas tienen la capacidad de relacionarse con la mayoría de las plantas terrestres, ya que las plantas le proporcionan compuestos de carbono a los hongos a través de la absorción de azúcares que producen durante la fotosíntesis, les brinda el espacio y las condiciones para desarrollar su estructura. Mientras que los hongos micorrízicos le otorgan a su huésped la capacidad de absorber más agua y nutrientes (42).

La función más importante de las micorrizas es desbloquear y solubilizar los nutrientes del suelo relativamente inmóviles, tales como el zinc y el fósforo, e igualmente poner los elementos minerales a disposición de la planta para obtener un aumento en su crecimiento (43). Según Higo “el fósforo es altamente inmóvil en las plantas. Debido a la naturaleza inmóvil del P en el suelo, la aplicación de AM tiene el potencial de aumentar la producción agrícola. El micelio micorrizal secreta enzimas que son capaces de solubilizar el P presente en el suelo en forma fija, poniendo así este nutriente a disposición de las plantas” (44).

Hay cuatro tipos principales de micorrizas según los criterios de diferenciación morfológica de los tejidos de la raíz y los linajes de la planta hospedante: Micorrizas arbusculares (AM), ectomicorrizas (EcM), micorrizas ericoides (ErM) y micorrizas de orquídeas (OrM) (45). Entre los cuatro

tipos principales de micorrizas, los dos más dominantes son AM y (EM). Estos hongos se asocian con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres y predominan en la mayoría de las áreas terrestres con vegetación. Los rasgos ecofisiológicos de estos dos gremios principales de hongos micorrícicos difieren en muchos aspectos, por ejemplo, en la capacidad de degradación enzimática de la materia orgánica o la estructura microscópica de las hifas fúngicas. (46).

Entre las micorrizas arbusculares más estudiadas debido a su influencia positiva en las plantas de los cultivos de tomate se encuentran diferentes cepas de *Glomus* spp. Las características que se han evaluado en las que puede influir son, altura de la planta, diámetro del tallo, cantidad de hojas, flores, frutos, masa vegetal aérea y subterránea (47).

Las cepas de *Glomus* spp. 1 y *Glomus* intraradices destacan sobre el resto de cepas de *Glomus* spp, ya que tienen una mayor influencia en el aumento del índice de cosecha hasta en un 65 y 56,3 % respectivamente (47). Uno de los principales mecanismos que poseen las micorrizas, como algunas cepas de *Glomus* spp, para influir en la agregación del suelo es la producción de una glicoproteína llamada glomalina. Esta proteína tiene gran importancia en el almacenamiento de carbono y nitrógeno en el suelo (48). La glomalina es una biomolécula recalcitrante y presenta características hidrofóbicas que impide que las hifas tengan pérdida de agua

y de nutrientes, lo que la convierte en una biomolécula muy estable que forma parte de la materia orgánica del suelo que puede estar presente en dicho suelo entre 6 y 42 años aproximadamente (49).

Adicionalmente, muchos estudios han demostrado que la función e importancia de las micorrizas no se limita únicamente al desarrollo y crecimiento de la planta, sino que también pueden ejercer un papel importante en el control de diferentes patógenos, motivo por el cual la inoculación de estos hongos a los cultivos resulta ser una técnica prometedora que ha demostrado mejorar el rendimiento en cultivos de diferentes hortalizas (50)

CONCLUSIÓN

Podríamos decir que la combinación de *Trichoderma* y de las micorrizas, son altamente beneficiosas para el cultivo de tomate porque contribuye tanto en el crecimiento de la planta, siendo mediador de nutrientes y como un biocontrolador, protegiéndola de una amplia lista de plagas las cuales se ve enfrentada este tipo de cultivo y así con la utilización de estos microorganismos beneficios se podría disminuir el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos que ponen en riesgo la salud de agricultores y de los consumidores, como también evitando el deterioro del suelo.

Referencias Bibliográficas

1. Quintero R E, Calero H. , Pérez D , Olivera V , Peña C K, Castro L I, et al. Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista de Ciencias Agrícolas. 2019.
2. Nzanza , Marais D, Soundy P. Rendimiento y contenido de nutrientes del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) influenciados por la inoculación de *Trichoderma harzianum* y *Glomus mosseae*. 2012.
3. López Dávila , Calero Hurtado A, Gómez León Y, Gil Unday , Henderson D, Jimenez. EFECTO AGRONÓMICO DEL BIOSÓLIDO EN CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*): CONTROL BIOLÓGICO DE *Rhizoctonia solani*. 2017
4. Terry Alfonso , Leyva Á, Hernández A. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). 2005.
5. Abdelkhalek , Al-Askar AA, Arishi AA, Behiry4 DI. La cepa Th23 de *Trichoderma hamatum* promueve el crecimiento del tomate e induce la resistencia sistémica contra el virus del mosaico del tabaco. 2022
6. Torres e, iannacone j, gomez h. Biocontrol del moho foliar del tomate *cladosporium fulvum* empleando cuatro hongos antagonistas. 2008.
7. Abdelrazik , Sharkawy E, eman. Biocontrol de la pudrición de la raíz por *Fusarium* en calabaza usando hongos micorrízicos y microorganismos antagónicos. gyp J Biol Pest Control. 2022;; p. 1-11.
8. Matas-Baca MÁ, Urías García C, Pérez-Álvarez , Flores-Córdova MA, Escobedo-Bonilla CM, Magallanes-Tapia MA, et al. Caracterización morfológica y molecular de una nueva *Trichoderma* sp autóctona. aislado y su eficacia biocontroladora contra *Alternaria* sp. ScienceDirect. 2021;; p. 1-6
9. Nafady NA, Raof S, El-Zawahry AM, Mostafa YS, Alamri S, Radwa G. Mostafa MH, et al. Estrategia eficaz y prometedor en el manejo de nematodos agalladores de tomate por *Trichoderma harzianum* y micorrizas arbusculares. Agronomy. 2022;; p. 1-20.
10. Islam MS, Subbiah VK, Siddiquee S. Eficacia de aislados de *Trichoderma* entomopatógenos contra el pulgón lanífero de la caña de azúcar, *Ceratovacuna lanigera* Zehntner (Hemiptera: Aphididae). Horticulturae. 2021;; p. 1-21.

11. AL-surhane , A. A. Función protectora de los agentes ecológicos antifusarios (*Trichoderma* y ácido salicílico) para mejorar el rendimiento de resistencia de las plantas de tomate. *Journal of Biological Sciences*. 2022;; p. 1-9
12. Metwally RA, Soliman SA, Latef AAHA, Abdelhameed RE. El papel individual e interactivo de los hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma viride* en el crecimiento, el contenido de proteínas, el fraccionamiento de aminoácidos y las actividades enzimáticas de fosfatasa de plantas de cebolla enmendadas con. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;; p. 1-13
13. Poveda J, Hermosa R, Monte E, Nicolás C. *Trichoderma harzianum* favorece el acceso de hongos micorrízicos arbusculares a raíces de Brassicaceae no hospedadas y aumenta la productividad de la planta. *Scientific Reports*. 2019;; p. 1-11.
14. Salcido-Ruiz S, Prieto-Ruiz JÁ, García-Rodríguez JL, Santana-Aispuro E, Chávez-Simental JA. Mycorrhiza and fertilization: effect on the production of *Pinus engelmannii* Carr. in nursery. *Micorrizas y fertilización: efecto en la producción de Pinus engelmannii Carr. en vivero*. Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 2020;; p. 1-16.
15. Álvarez-Manjarrez J, Rodríguez AUS, Villarruel-Ordaz JL, Ortega-Larrocea MdP, Garibay-Orije R. Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas. *Acta Botanica Mexicana*. 2021;; p. 1-61.
16. Elizabeth Hernández-Acosta DTAARFyRFC. La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Terra Latinoamericana*. 2020;; p. 1-16.
17. Franco-Ramírez A, Pérez-Moreno J, Sánchez-Viveros G, Cerdán-Cabrera CR, Almaraz-Suárez JJ, Cetina-Alcalá VM, et al. Mobilization and transfer of nine macro- and micronutrients to *Pinus greggii* seedlings via arbuscular mycorrhizal fungi. 2021.
18. C MM, Wang Y, Stajich JE, Kokkoris V, Villeneuve-Laroche M, Yildirim G, et al. Early branching arbuscular mycorrhizal fungus *Paraglomus occultum* carries a small and repeat-poor genome compared to relatives in the Glomeromycotina. 2022.
19. Devia-Grimaldo LD, Pérez-Moneada UA, López-D EO, Varón-López M. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia. *acad. colomb. cienc. exact*. 2022.
20. Quiroz-Mojica , Janeth L, Daza-Mendoza , Margarita M, Díaz-Muegue LC, Melo-Rios AE, et al. Efecto de biochar, micorrizas arbusculares y *Guazuma ulmifolia*, en la rehabilitación de suelos mineros. *Terra Latinoamericana*. 2019;; p. 1-16.

21. Ma J, Wang W, Yang J, Qin S, yang y, Sun CY, et al. Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. *BMC Plant Biol.* 2022;; p. 1-13.
22. Ding C, Zhaoa Y, Zhang Q, Lina Y, Xuea R, chen c, et al. Transferencia de cadmio entre plantas de maíz y soja a través de redes de micorrizas comunes. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2022;; p. 1-8
23. Monge-Pérez , Eladio J, Loría-Coto , Michelle. Determinación de criterios de selección para el rendimiento de tomate (*Solanum ycopersicum L.*) cultivado bajo invernadero. 2021.
24. Martínez LL, Martínez Peniche RA, Hernández Iturriaga M, Arvizu Medrano SM, Pacheco Aguilar JR. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. 2013; 36
25. Bononi L, Chiaramonte JB, Pansa CC, Moitinho MA, Melo IS. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. *Scientific Reports.* 2020.
26. KA, T. L. Phosphate Solubilization Potential and Phosphatase Activity Of Rhizospheric *Trichoderma* Spp. *Braz J Microbiol.* 2010.
27. Zin NA, Badaluddin NA. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. 2020; 65
28. Infante D, Martínez B, González N, Reyes Y. MECANISMOS DE ACCIÓN DE *Trichoderma* FRENTE A HONGOS FITOPATÓGENOS. *Revista de Protección Vegetal.* 2009.
29. Rao Y, Zeng L, Jiang H, Mei L, Wang Y. *Trichoderma atroviride* LZ42 releases volatile organic compounds promoting plant growth and suppressing *Fusarium* wilt disease in tomato seedlings. 2022.
30. Moura sNBMD, Silva JNd, Silva ECd, Farias OR, Nascimento LCd. Controle biológico com *Trichoderma*SP. sobre a qualidade de sementes de *Astronium urundeuva* (M. ALLEMÃO) ENGL. 2022.
31. Lee S, Yap M, Behringer G, Hung R, Bennett JW. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. *Fungal Biology and Biotechnology.* 2016

32. Lyu J, Jin L, Jin N, Xie J, Xiao X, Hu L, et al. Effects of Different Vegetable Rotations on Fungal Community Structure in Continuous Tomato Cropping Matrix in Greenhouse. *Front Microbiol.* 2020; 11.
33. Morato LDD, Cardona MBB. Inducción de resistencia en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y antagonismo de *Trichoderma viride* contra *Fusarium oxysporum*. 2021.
34. Yassin MT, Mostafa AAF, Al-Askar AA, Sayed SRM, Rady AM. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro. Mohamed Taha Yassin, Ashraf Abdel-Fattah Mostafa, Abdulaziz A. Al-Askar, Shaban R.M. Sayed, Ahmed Mostafa Rady. 2021.
35. Kakabouki I, Tataridas A, Mavroeidis A, Kousta A, Karydogianni S, Zis C, et al. Effect of Colonization of *Trichoderma harzianum* on Growth Development and CBD Content of Hemp (*Cannabis sativa* L.). 2021.
36. Imran M, Abo-Elyousr KAM, Mousa MA, Saad MM. Screening and biocontrol evaluation of indigenous native *Trichoderma* spp. against early blight disease and their field assessment to alleviate natural infection. 2022.
37. Hashem A, Akhter A, Alqarawi AA, Singh G, Almutairi KF, Abd_Allahc EF. Mycorrhizal fungi induced activation of tomato defense system mitigates *Fusarium* wilt stress. 2021.
38. Yanan W, Xusheng Z, Baozhong Y, Wenchao Z, Jintang G. Biochemical Defenses Induced by Mycorrhizae Fungi *Glomus Mosseae* in Controlling Strawberry *Fusarium* Wilt. 2015.
39. Devi NO, Devi RKT, Debbarma M, Hajong M, Thokchom S. Effect of endophytic *Bacillus* and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) against *Fusarium* wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control.* 2022 32.
40. Romero-Arenas O, Amaro JL, Damián MA, Ita MAVd, Huerta ARyM. Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México. 2017.
41. Tomah AA, Alamer ISA, Li B, Jing-ZeZhang. A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role: A new observation in enhancing biocontrol potential of *T. virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. 2020.

42. Santos EAd, Silva-Filho USd, Barroso GM, Rabelo JS, Melo EId, Santos JBd. Arbuscular mycorrhizal fungi activity in the rhizosphere of tree seedlings subjected to residual herbicides. 2023.
43. Giraldo KJR, Correa MIM, Jaramillo PH, Gutiérrez L, Guzmán LPM. Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. 2019.
44. Majkowska-Gadomska J, Dobrowolski A, Jadwisieńczyk KK, Francke A. The Effect of Mycorrhizal Fungal Strains on the Concentrations of Phosphorus and Selected Micronutrients in Tomato Fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). 2022; 31.
45. Brundrett MC, Tedersoo L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. 2018.
46. Huang W, Bodegom PMv, Declerck S, Heinonsalo J, Cosme M, Viskari T, et al. Mycelium chemistry differs markedly between ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal fungi. *Communications Biology*. 2022; 5.
47. Ley-Rivas JF, Sánchez JA, Ricardo NE, Collazo E. Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. 2015
48. Silva CFd, Pereira MG, Santos VLd, Miguel DL, Silva EMRd. Fungos micorrízicos arbusculares: composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata atlântica, rio de janeiro. 2016; 26(2).
49. Mañana B, Covacevich F, Rozas HRS, Barbieri PA, Commatteo JG. Encalado en suelos agrícolas acidificados de la región pampeana: efecto sobre actividad de hongos micorrízicos. 2021.
50. Mota RMA, Fernández AdJR, Trejo JB, Elizondo YdlC. Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Ciencias Agrícolas*. 2019; 10.