

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON *Trichoderma* SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

Daniela Rodríguez-García^{1/*}, Jorge Vargas-Rojas²

Palabras clave: Promoción del crecimiento vegetal; *Trichoderma* spp; tallo; biomasa; nutrientes.

Keywords: Plant growth promotion; *Trichoderma* spp; stem; biomass; nutrient.

Recibido: 24/08/2021

Aceptado: 17/11/2021

RESUMEN


Introducción. *Trichoderma* spp. posee varios mecanismos para ayudar con la promoción del crecimiento de las plantas: síntesis de fitohormonas, producción de vitaminas, solubilización de nutrientes, aumento de la captación y translocación de nutrientes, mayor desarrollo de la raíz y aumentos en la tasa metabólica. **Objetivo.** Evaluar la promoción del crecimiento de las plantas de tomate inoculadas con cepas nativas e importadas de *Trichoderma* spp. tanto a nivel de invernadero como en campo. **Materiales y métodos.** El ensayo se realizó en invernadero y campo en setiembre del 2018, el suelo estaba infestado con *Fusarium oxysporum*. Se utilizaron cepas de *Trichoderma* spp., aisladas de productos comerciales (THU-01 y THC-02) y 2 cepas nativas (THM-03 y THM-04), se aplicaron los tratamientos con una concentración de 12×10^9 esporas.mL⁻¹ tanto a nivel de invernadero en maceteras y en campo, con un tratamiento testigo que era sin *Trichoderma*. En ambos experimentos se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 5 repeticiones por tratamientos.

ABSTRACT


Effect of inoculation with *Trichoderma* on vegetative growth of tomato (*Solanum lycopersicum*). **Introduction.** *Trichoderma* has several mechanisms to help with the promotion of plant growth, these include: synthesis of phytohormones, production of vitamins, improved solubilization of nutrients, increased uptake and translocation of nutrients, better root development and increases in metabolism rate. **Objective.** To evaluate the growth promotion of tomato plants inoculated with native and imported strains of *Trichoderma* spp., at greenhouse level and in the field. **Materials and methods.** The trial was carried out at the greenhouse and field level in September 2018. Strains of *Trichoderma* spp. isolated from commercial products (THU-01 and THC-02) and 2 native strains (THM-03 and THM-04), treatments with 12×10^9 spores.mL⁻¹ both at the greenhouse level in pots and in the field, with a control treatment that was without *Trichoderma* spp. The following variables were evaluated: a) height (cm), b) root length (cm), c) dry biomass

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: daniela.rodriguez@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Laboratorio de Microbiología Agrícola, Área de Control Biológico, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.

 0000-0003-0541-2488.

2 Universidad de Costa Rica, Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-1139-2148.

Se evaluaron las siguientes variables: a) altura (cm), b) longitud de raíz (cm), c) biomasa seca (g) y d) número de hojas. **Resultados.** Las plantas de tomate inoculadas con las diferentes cepas de *Trichoderma* spp., presentaron mayor cantidad de hojas, longitud de raíz, altura y biomasa. Las cepas *T. asperellum* y *T. asperelloides* fueron las que presentaron valores significativamente mayores en la mayoría de las variables evaluadas. **Conclusión.** Existen cepas nativas de la especie de *Trichoderma* que promueven el crecimiento vegetal de las plantas de tomate como llevar a mayor acumulación de biomasa, incremento de la altura, más longitud de raíz y número de hojas tanto a nivel de invernadero como en campo; donde la mejor fue la especie de *T. asperellum* (nativa); no obstante, se obtuvieron resultados similares con la especie importada *T. asperelloides*.

(g) and d) number of leaves. **Results.** Tomato plants inoculated with the different strains of *Trichoderma* spp., showed a better development, by presenting a greater number of leaves, root length, height and biomass. The *T. asperellum* and *T. asperelloides* strains were the ones that presented significantly higher values in most of the variables evaluated. **Conclusion.** There are native strains of the *Trichoderma* species that promote plant growth in tomato plants such as leading to greater accumulation of biomass, increased height, longer root length and number of leaves both in the greenhouse and in the field; being the best the species of *T. asperellum* (native); however, similar results were obtained with the imported species *T. asperelloides*.

INTRODUCCIÓN

El uso de microorganismos multifuncionales en simbiosis con el cultivo es esencial para la intensificación sostenible de los sistemas agrícolas, estos microorganismos habitualmente habitan en la rizosfera de las plantas y mejoran la resiliencia de los sistemas de cultivos, ya que promueven el crecimiento de las plantas a través de mecanismos directos e indirectos y además incrementa la protección de las plantas contra patógenos e insectos (Rouphael *et al.* 2017, Lanna *et al.* 2021).

Muchas especies de *Trichoderma* han sido estudiadas como un potente agente de control biológico (Manandhar *et al.* 2019, Keswani *et al.* 2016, Das *et al.* 2019) o bioestimulante (Fernando *et al.* 2018); además, son importantes para aumentar crecimiento de las plantas (Sing *et al.* 2014), ya que tienen mecanismos de acción que son muy similares a las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), tal como

Trichoderma que puede influir positivamente en la germinación de las semillas, desarrollo y rendimiento de grano debido a su producción de sustancias que promueven el crecimiento y pueden mejorar la nutrición vegetal, debido principalmente a la solubilización de fósforo que sintetiza el ácido indol-acético (Chagas *et al.* 2016, Prasad *et al.* 2020).

Se ha observado que la fertilidad de los suelos tratados con algunas cepas de *Trichoderma* spp. se utilizan para el tratamiento de semillas y suprimen significativamente el crecimiento de microorganismos patógenos de las plantas, que mejora de esta manera, la tasa de crecimiento de las plantas (Sidiquee *et al.* 2017). El efecto podría ser particularmente fuerte en términos de promoción del crecimiento de raíces y de los tallos mediante el aumento en longitud, grosor, área foliar, contenido de clorofila, y rendimiento (tamaño o número de flores o frutas) (Ayyandurai *et al.* 2021). Estudios realizados con diferentes especies con *Trichoderma* tanto

a nivel de invernadero como de campo, en diferentes cultivos como pepino, frijol, berenjena, lechuga, pimiento y tomate (Gupta *et al.* 2014, Sani *et al.* 2020), maní (Ayyandurai *et al.* 2021) y el roble plateado (Umaschankar *et al.* 2012), entre otros.

Se han propuesto varios mecanismos para explicar la promoción del crecimiento de las plantas asociada a especies de *Trichoderma*, estas incluyen biosíntesis de metabolitos secundarios, lo cual incrementa su actividad antagonista contra hongos fitopatógenos y la capacidad de promover el crecimiento de las plantas (Ramírez *et al.* 2018), como por ejemplo, producción de enzimas como xylanasa, celulasa y glucanasa (Halifu *et al.* 2019); mayor solubilización de nutrientes del suelo, aumento de la absorción y translocación de nutrientes así como mejora en el desarrollo de la raíz, aumentos en la tasa del metabolismo de los carbohidratos, fotosíntesis y mecanismos de defensa de las plantas (Nascente *et al.* 2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de cepas nativas e importadas de *Trichoderma* spp. sobre la promoción del crecimiento de las plantas de tomate tanto a nivel de invernadero como en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Invernadero. El ensayo se realizó en el invernadero del Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica se inició en setiembre del 2018, de acuerdo con la producción del agricultor. Dentro del invernadero se mantuvieron temperaturas de 28-30°C con una humedad relativa constante entre 75-80%. En esta parte se inóculo el patógeno *Fusarium oxysporum*, para comparar los resultados con el ensayo de campo.

Campo. El ensayo se llevó a cabo en setiembre del 2018, en la Finca Guadalupe ubicada en Birrisito de Cartago (9.850294370330877,

-83.84484518660145), la cual tiene aproximadamente 2,80 hectáreas cultivadas con tomate del cultivar Mountain Fresh Plus (Estados Unidos) y según el historial de la finca ha presentado durante muchos años problemas con *Fusarium oxysporum*.

Aislamientos fúngicos. Se utilizaron cepas de *Trichoderma* spp., aisladas de productos comerciales una un producto importado de Estados Unidos (THU-01) y otra de Colombia (THC-02) y las nativas (THM-03 y THM-04), mediante el método de diluciones seriadas en caja Petri, para lo cual se tomó una muestra de 1 g del producto y se diluyó en 10 mL de agua destilada estéril hasta obtener diluciones de 10⁻² y 10⁻³. De la última dilución, se extrajo una alícuota de 0,1 mL y se distribuyó homogéneamente sobre una caja Petri que contenía medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA). Estas se incubaron a 25±1°C por 5-6 días en oscuridad y luego 4 días con luz día en una incubadora Digisystem DK-500. Se utilizaron 10 cajas Petri por cada producto comercial. Para la identificación se utilizó el método descrito por Gilchrist *et al.* (2005), y las claves de identificación propuestas por Samuels *et al.* (2013) (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos de *Trichoderma* spp. evaluados en suelo con *Fusarium oxysporum* y sembrados con plantas de tomate variedad Mountain Fresh Plus (US). San José, Costa Rica. 2015.

Tratamiento	Origen	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Trichoderma</i> spp.
THU-01	Estados Unidos	F-01	<i>T. guizhouense</i>
THC-02	Colombia	F-01	<i>T. asperellum</i>
THM-03	Nativa	F-01	<i>T. asperelloides</i>
THM-04	Nativa	F-01	<i>T. guizhouense</i>
Testigo	-----	F-01	-

Además, se realizó la identificación de un patógeno que estaba presente en las plantas de tomate en campo, de la siguiente manera las

plantas se lavaron con agua corriente para eliminar el exceso de suelo presente en el tallo y raíz, de estos tejidos se hicieron disecciones de 0,5 cm de la zona de avance de la enfermedad, cada trozo se desinfectó con hipoclorito de sodio al 2,5% por 2 min y posteriormente, se realizó 4 enjuagues con agua destilada estéril. Luego, cada trozo se fraccionó en secciones de aproximadamente 0,25 cm y se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo papa dextrosa agra (PDA). Los aislamientos obtenidos se purificaron mediante la técnica de punta de hifa descrita por Chairman *et al.* (1978), la cual consiste en seleccionar la punta de una hifa solitaria, cortarla, y transferirla a una caja Petri. Se usó medio de cultivo Komoda (Komoda 1975), y se incubó por 2 o 3 días.

Las diferentes cepas obtenidas, se identificaron morfológicamente con base en el protocolo del Fusarium Research Center de la Universidad de Pennsylvania, desarrollado por Gilchrist *et al.* (2005) y las claves taxonómicas de Arikan *et al.* (2001), se identificó el patógeno como *Fusarium oxysporum* (F-01), no se identificaron las razas.

Ensayo a nivel de invernadero. El ensayo a nivel de invernadero, se realizó con plantas de tomate del cultivar Mountain Fresh Plus (US) (López 2017). Las semillas fueron sembradas en sustrato Peat Moss (70% retención de humedad) previamente esterilizado en bandejas de plástico negro con capacidad para 100 plántulas. La bandeja permaneció durante 3 días en un cuarto oscuro (sin luz) a temperatura ambiente para inducir la germinación y posteriormente, se trasladó al invernadero durante 21 días.

Luego, las plántulas fueron trasplantadas (25 DDS) a macetas de 375 cm³ de volumen, llenas con suelo de la Finca Guadalupe, ubicada en Birrisito de Cartago. El suelo con características de un Typic Hapludands identificado en el laboratorio del suelo y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la UCR, fue esterilizado a una temperatura de 121°C durante 60 min en una autoclave de uso industrial, por 2 días consecutivos, para eliminar la mayoría de organismos vivos.

Cada unidad experimental consistió en 8 macetas dispuesta en un arreglo fila-columna de 4 × 2. La separación entre filas fue de 30 cm y la separación de columnas fue de 30 cm.

Inoculación del microorganismo benéfico. Al día siguiente del trasplante de las plántulas de tomate a las macetas, se aplicaron los tratamientos con *Trichoderma* spp., para lo cual se distribuyó 20 mL de una suspensión de 12 × 10⁹ esporas.mL⁻¹ por maceta.

Ensayo a nivel de campo. Se realizó un almacigo igual que en el ensayo en invernadero. La unidad experimental consistió en 4 hileras de 10 m de largo. Las hileras tenían una separación de 1,2 con una distancia entre plantas de 0,5 m para un total de 40 plantas por unidad experimental.

Inoculación del microorganismo benéfico. La primera aplicación de *Trichoderma* spp. se realizó inmediatamente después de la siembra. Para esto, se diluyó 500 mL de una suspensión de 12 × 10⁹ esporas.mL⁻¹, en 17,5 L de agua y se aplicó a cada lote de cada tratamiento (4 L.lote⁻¹ aproximadamente), se utilizó el método convencional de aplicación con bomba de espalda de 18 L, dirigido al sistema radical, mediante un cubrimiento del suelo alrededor de las plantas de tomate. Las aplicaciones se repitieron cada 15 días durante el primer mes y luego una vez al mes por los 2 meses siguientes del cultivo según cada tratamiento.

Diseño del experimento. Tanto a nivel de invernadero, como a nivel de campo las unidades experimentales fueron dispuestas según un diseño completamente aleatorizado con 5 repeticiones por tratamiento.

Variables evaluadas. En ambos ensayos se evaluaron las siguientes variables: a) altura de planta (cm), b) longitud de raíz (cm), c) biomasa seca (g) y d) número de hojas (todos los folíolos de la hoja pinnada compuesta que tiene la plata de tomate). Las variables fueron analizadas a los 68 días después de sembradas las plantas (dds) de tomate para evaluar su etapa fisiológica vegetativa.

En el caso del ensayo de invernadero se analizaron todas las plantas de tomate de cada tratamiento. Mientras que, en el caso de las plantas de campo se tomó una muestra con el patrón de muestreo en zig-zag de 8 plantas de tomate por cada unidad experimental por cada tratamiento.

Análisis de datos

Análisis de varianza. Para contrastar la hipótesis de igualdad de medias poblacionales entre los distintos tratamientos, tanto en el experimento a nivel de invernadero, como en el campo, para cada variable se ajustó un análisis de varianza, con un nivel de significación (α) igual a 0,05, según el modelo que se especifica en la Ecuación 1. Para cada modelo ajustado se comprobó los supuestos mediante gráficos diagnósticos (cuantiles de términos del error, gráfico de residuos y gráfico de residuos vs predichos). En las variables donde existió diferencias significativas entre tratamientos se realizó una prueba de separación de medias con el procedimiento de la diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher con un nivel de significación (α) igual a 0,05.

Ecuación 1

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde

y_{ij} = respuesta de la variable observada en la j -ésima unidad experimental del i -ésimo tratamiento

μ = media general de los tratamientos

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = término de error aleatorio

Todos los procedimientos se realizaron con el programa estadístico Infostat versión 2020 (Di Rienzo *et al.* 2020).

Contrastes lineales. Como los tratamientos tuvieron una estructura que permitió agrupar los según el lugar de procedencia se realizaron

contrastes para contrastar la igualdad de medias de la variable respuesta según la procedencia de las cepas. Se realizaron 3 contrastes. El primero comparó la media de la cepa de Estados Unidos contra la media de las cepas nativas. El segundo comparó la media de la cepa de Colombia contra las medias de las cepas nativas. El tercero comparó la media de la cepa de Estados Unidos contra la media de la cepa de Colombia.

RESULTADOS

Todas las variables presentaron diferencia significativa ($p < 0,05$) en el ANDEVA, tanto a nivel de invernadero como a nivel de campo. Las medias y su separación, para ambos experimentos, se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Medias y separación de medias para los tratamientos de *Trichoderma* spp. evaluados en condiciones de invernadero. San José, Costa Rica. 2018.

Tratamiento	Variable			
	NH	LR	A	BST
THM-03	27,9 ^A	40,0 ^A	105,3 ^A	70,0 ^A
THC-02	23,0 ^B	29,0 ^B	94,4 ^B	67,2 ^A
THM-04	18,7 ^C	12,9 ^D	74,5 ^C	52,7 ^B
THU-01	18,0 ^C	16,1 ^C	80,8 ^C	44,6 ^C
Testigo	11,7 ^D	10,9 ^E	40,0 ^D	19,7 ^D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. NH= número de hojas, LR= longitud de raíz (cm), A= altura (cm), y BST= biomasa seca total (g).

THU-01= *T. guizhouense*-USA, THC-02= *T. asperellum*-Colombia, THM-03= *T. asperelloides*-CR y THM-04= *T. guizhouense*-CR./ Means with a common letter are not significantly different ($p > 0,05$) according to Fisher's least significant difference. NH= number of leaves, LR= root length (cm), A= height (cm), and BST= total dry biomass (g). THU-01= *T. guizhouense*-USA, THC-02= *T. asperellum*-Colombia, THM-03= *T. asperelloides*-CR and THM-04= *T. guizhouense*-CR.

Tabla 3. Medias y separación de medias para los tratamientos de *Trichoderma* spp. evaluados en condiciones de campo. Cartago, Costa Rica. 2018.

Tratamiento	Variable			
	NH	LR	A	BST
THM-03	116,0 ^A	90,1 ^A	175,9 ^A	204,5 ^A
THM-04	61,6 ^B	36,5 ^B	144,6 ^B	182,4 ^B
THC-02	59,9 ^C	48,8 ^B	141,5 ^C	231,5 ^C
THU-01	33,0 ^D	47,5 ^C	147,9 ^D	166,4 ^D
Testigo	31,1 ^E	17,2 ^D	78,0 ^E	133,6 ^E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. NH= número de hojas, LR= longitud de raíz (cm), A= altura (cm), y BST= biomasa seca total (g).

THU-01= *T. guizhouense*-USA, THC-02= *T. asperellum*-Colombia, THM-03= *T. asperelloides*-CR y THM-04= *T. guizhouense*-CR. / Means with a common letter are not significantly different ($p > 0,05$) according to Fisher's least significant difference. NH= number of leaves, LR= root length (cm), A= height (cm), and BST= total dry biomass (g). THU-01= *T. guizhouense*-USA, THC-02= *T. asperellum*-Colombia, THM-03= *T. asperelloides*-CR and THM-04= *T. guizhouense*-CR.

Número de hojas. Con base en los resultados obtenidos en el ensayo de invernadero para la variable número de hojas por planta, se puede observar que no hubo diferencias significativas entre tratamientos que contenían la misma especie de *Trichoderma*, ya sea *T. guizhouense*, *T. asperelloides* o *T. asperellum*, pero sí entre especies, donde *T. asperelloides* y *T. asperellum* tienen, en promedio de medias, el mayor número de hojas por planta (THM-03 con 27,9 y 23,0 para THC-02) (Tabla 2).

Por el contrario, en el ensayo a nivel de campo al evaluar las diferentes variables en cada uno de los tratamientos a los 68 dds se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), en el número de hojas, destacándose el tratamiento THM-03 como el mejor, con un promedio de medias de 116 hojas, mientras que los demás obtuvieron 61,6 THM-04; 59,9 THC-02; 33,0 THU-01 y el

testigo con la menor cantidad de hojas por planta (promedio de medias 31,1) (Tabla 3).

Longitud de raíz. En el caso de la longitud de raíz (Tabla 2) a nivel de invernadero, las plantas tratadas con la cepa nativa *T. asperelloides* (THM-03) mostraron una longitud de raíz significativamente mayor (promedio de medias 40,0 cm) en comparación con la cepa de Colombia que obtuvo un 29,0 cm de longitud. Además, las 2 cepas de *T. guizhouense* (THU-01 y THM-04) obtuvieron en promedio de medias 16,1 cm y 12,9 cm respectivamente de longitud de raíz. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo.

No obstante, en cuanto al ensayo a nivel de campo la variable longitud de raíz, se mantuvo una mayor longitud radical con el tratamiento THM-03 con un promedio de medias de 90,1 cm; mientras que los demás tratamientos obtuvieron 47,5 cm THU-01 (*T. guizhouense*-USA), 36,5 cm THM-04 (*T. guizhouense*-CR) y 48,8 cm THC-02 (*T. asperellum*) y el testigo 17,2 cm de longitud de raíz en promedio de medias (Tabla 3).

Altura. En la variable altura de planta del ensayo a nivel de invernadero (Tabla 2), el tratamiento THM-03 de *T. asperelloides* (cepa nativa) presentó la mayor altura de las plantas con un promedio de medias de 105,3 cm, seguida por la cepa de Colombia (THC-2) con un 94,4 cm. Los 2 tratamientos con *T. guizhouense* (THU-1 y THM-4) mantuvieron en promedio de medias de altura muy similares: 80,8 cm y 74,5 cm, mientras que el tratamiento testigo fue el que mostró una menor altura con un promedio de medias de 40,0 cm, lo que evidencia que sí existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las plantas de tomate que son tratadas con las diferentes especies de *Trichoderma*.

A nivel de campo en comparación al ensayo de invernadero se mantiene en la variable altura (Tabla 3), ya que el tratamiento THM-03 obtuvo la mayor altura de las plantas en comparación con los demás tratamientos y el testigo, aspecto que evidencia que sí existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las plantas de tomate que son tratadas con las diferentes especies de

Trichoderma. Las plantas de tomate de los diferentes tratamientos mostraron, en su mayoría, una mejor apariencia en el desarrollo y vigor en comparación con las plantas testigos.

Biomasa seca. Para la biomasa seca total por planta (Tabla 2), hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos y el testigo. Los pesos secos elevados se obtuvieron con los tratamientos que contenían *T. asperellum* (THC-02) y *T. asperelloides* (THM-03) con 70,50 g y 64,80 g en promedio, mientras que los tratamientos THU-01 y THM-04 (*T. guizhouense*) presentaron en promedio 43,50 g y 51,80 g y el testigo con el menor promedio de biomasa seca (20,30 g).

Sin embargo, a nivel de campo se evaluó la biomasa seca total por planta (Tabla 3), donde se observan diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los tratamientos y el testigo. Los mayores pesos secos se obtuvieron con los tratamientos que contenían *T. asperellum* (THC-02) y *T. asperelloides* (THM-03) con 231,5 g y 204,5 en promedio de medias, mientras que, los tratamientos THU-01 y THM-04 (*T. guizhouense*) presentaron en promedio de medias 166,4 g y 182,4 g y el testigo con el menor promedio de medias de biomasa seca (133,6 g), diferenciándose así, los

ensayos de campo e invernadero en cuanto al comportamiento de algunas de las cepas de *Trichoderma* con referencia al testigo.

En cuanto a los análisis realizados de contrastes de las medias de las variables según la procedencia de las cepas a nivel de invernadero (Tabla 4), se observó que existe diferencia significativa entre la cepa de *Trichoderma* importada de Estados Unidos (THU-01) y las nativas (THM-03 y THM-04), con los promedios de las cepas nativas siempre mayores para todas las variables analizadas como número de hojas, largo de raíz, altura y biomasa seca. Por ejemplo, en el número de hojas en promedio las cepas nativas tuvieron 5,26 hojas más que la cepa de Estados Unidos, al comparar las nativas con la colombiana se observó que en promedio tuvo 0,06 hojas más y por último, la cepa de Colombia en promedio tuvo 5,2 hojas más que la cepa de estados Unidos. Sin embargo, se observó que la cepa colombiana (THC-02) mostró en el resto de variables mejores resultados que las cepas nativas. En cuanto al largo de raíz THC-02 tiene en promedio 2,29 centímetros (cm) más que las cepas nativas. En el caso de la altura en promedio fue 4,52 cm con respecto a las nativas y el promedio de la biomasa fue 6,13 gramos más.

Tabla 4. Contrastes y estadísticos asociados para las variables evaluadas en condiciones de invernadero. San José, Costa Rica. 2018.

Variable	Contraste	EST	EE	F	gln	gld	p-valor
NH	USA vs Nativas	-5,26	0,79	44,53	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	-0,06	0,79	0,01	1	20	0,9402
	USA vs Colombia	-5,2	0,86	36,27	1	20	0,0001*
LR	USA vs Nativas	-10,43	1,16	80,14	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	2,29	1,11	4,29	1	20	0,0531
	USA vs Colombia	-12,72	1,48	74,17	1	20	0,0001*
A	USA vs Nativas	-9,09	4,55	3,99	1	20	0,0612
	Colombia vs Nativas	4,52	2,3	3,86	1	20	0,0652
	USA vs Colombia	-13,61	4,27	10,16	1	20	0,0051*
BST	USA vs Nativas	-16,73	2,48	45,63	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	6,13	2,48	6,12	1	20	0,0235*
	USA vs Colombia	-22,85	2,71	70,99	1	20	0,0001*

*Diferencia significativa entre medias ($p < 0,05$), EST = diferencia promedio estimada, EE = error estándar de la diferencia de medias, F = valor del estadístico F calculado, gln = grados de libertad del numerador, gld = grados de libertad del denominador/ * significant difference between means ($p < 0,05$), EST = estimated mean difference, SE = standard error of the difference of means, F = calculated F value, gln = numerator degrees of freedom, gld = denominator degrees of freedom.

Por su parte, los análisis realizados de contrastes de las medias de las variables según la procedencia de las cepas a nivel de campo (Tabla 5), demostraron que en promedio las cepas nativas presentaron más cantidad de hojas,

así como centímetros de largo de raíz y altura con respecto a las otras 2 cepas importadas, a excepción de la biomasa seca total pues en promedio la cepa colombiana tuvo 38,03 gramos más que las cepas nativas.

Tabla 5. Contrastes y estadísticos asociados para las variables evaluadas en condiciones de campo. Cartago, Costa Rica. 2018.

Variable	Contraste	EST	EE	F	gln	gld	p-valor
NH	USA vs Nativas	-55,8	0,49	13099,9	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	-28,9	0,52	3045,84	1	20	0,0001*
	USA vs Colombia	-26,9	0,24	12447,8	1	20	0,0001*
LR	USA vs Nativas	-15,83	1,22	169,62	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	-14,56	0,75	381,17	1	20	0,0001*
	USA vs Colombia	-1,27	1,17	1,17	1	20	0,2925
A	USA vs Nativas	-12,87	0,86	222,47	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	-18,71	0,62	908,19	1	20	0,0001*
	USA vs Colombia	5,84	0,84	47,81	1	20	0,0001*
BST	USA vs Nativas	-27,09	1,4	374,92	1	20	0,0001*
	Colombia vs Nativas	38,03	1,82	437,3	1	20	0,0001*
	USA vs Colombia	-65,12	1,55	1754,91	1	20	0,0001*

*Diferencia significativa entre medias ($p < 0,05$), EST = diferencia promedio estimada, EE = error estándar de la diferencia de medias, F = valor del estadístico F calculado, gln = grados de libertad del numerador, gld = grados de libertad del denominador/ * significant difference between means ($p < 0,05$), EST = estimated mean difference, SE = standard error of the difference of means, F = calculated F value, gln = numerator degrees of freedom, gld = denominator degrees of freedom.

Además, los resultados de invernadero y campo mantuvieron los mismos resultados de contraste entre las cepas, y se reportan como las mejores las cepas nativas en la mayoría de variables y solo en el caso de la biomasa seca total la cepa colombiana en promedio fue mejor.

DISCUSIÓN

En los ensayos tanto a nivel de campo como en invernadero en los resultados de biomasa seca total y altura de las plantas de tomate, se obtuvo como mejores tratamientos los de *T. asperellum* (THC-02) y *T. asperelloides* (THM-03), aunque en la variable altura la mayoría de los tratamientos estuvieron muy similares en tamaño. Se ha demostrado que las aplicaciones de *Trichoderma* spp. llevan a incrementos de peso seco, el almidón, el azúcar total y soluble y a reducir el contenido de azúcares solubles en las hojas de diferentes plantas (Adams *et al.* 2007, Lamba *et al.* 2008, Shores y Harman 2008 a y b, Shores *et al.* 2010). El nivel de promoción del

crecimiento inducido por las cepas de *Trichoderma* puede ser bastante sustantivo; por ejemplo, con la cepa THM-03 se logró un mayor promedio de biomasa total en comparación con las demás cepas (USA-nativas). Es por ello, que un método para aumentar la eficiencia de fertilizantes químicos y disminuir la cantidad de fertilizantes aplicados en la producción agrícola es el uso de microorganismos que promueven el crecimiento de las plantas (Spolaor *et al.* 2016).

Al comparar los resultados de biomasa tanto a nivel de invernadero como campo con los obtenidos por Silva *et al.* (2020) en su estudio realizado con soya donde las plantas tratadas con un conjunto de *T. asperellum*, mostraron una biomasa de raíces significativamente mayor que las plantas control. Adicionalmente, en el estudio realizado por Zhang *et al.* (2018) en el cultivo de pastos determinó que el biofertilizante de *Trichoderma* (9000 kg.ha⁻¹) efectivamente regula la química del suelo y las comunidades microbianas, ya que impulsa sustancialmente la biomasa vegetal aérea en comparación con

otros fertilizantes orgánicos que no contienen *Trichoderma*.

Varios estudios han demostrado que diversas cepas de *T. harzianum* presentan la habilidad de promover el crecimiento de las plantas, a través del incremento en la absorción de nutrientes, que estimulan los factores de crecimiento tales como IAA y GA3 y disminuyen los niveles de etileno debido a la colonización de la raíz (Prasad *et al.* 2017, Harman 2011). El incrementar los niveles de IAA y GA3 es un mecanismo directo por el cual, los agentes biocontroladores promueven el crecimiento de las raíces, el tallo y el área foliar en plantas de tomate (Olowe *et al.* 2022).

En ambos ensayos con las plantas de tomate inoculadas con diferentes cepas de *Trichoderma* en el caso de la longitud de raíz, las plantas tratadas con la cepa nativa *T. asperelloides* (THM-03) mostraron una longitud de raíz significativamente mayor en comparación con los demás tratamientos. La inoculación de las raíces de plantas con *Trichoderma* resulta en cambios en el desarrollo de las mismas, tales como raíces profundas, más robustas y una mayor cantidad de raíces secundarias, lo cual proporciona un mayor volumen de suelo para la absorción de nutrientes (Shoresh *et al.* 2010), lo cual puede deberse a que ciertas especies de *Trichoderma* poseen una estrecha asociación con las raíces de las plantas o son endófitos comunes de estas (Olowe *et al.* 2022).

La estimulación de crecimiento y los incrementos en productividad de cultivos asociados a inoculaciones con *Trichoderma* se han observado en un amplio número de especies de plantas como clavel, rábanos, tomate, lechuga, maíz, maní y frijol, entre otros (Gravel *et al.* 2007, Hoyos 2011, Gupta *et al.* 2014, Ayyandurai *et al.* 2021). Se ha encontrado que aislamientos de *Trichoderma* contribuyen al crecimiento longitudinal de las raíces de maíz y algunos pastos, que hacen que estos cultivos sean más resistentes a la sequía y enfermedades, además, se ha observado que, en el caso del maíz, requiere un 40% menos de fertilizantes nitrogenados en relación con las plantas que no están inoculadas

(testigo) (Harman *et al.* 2004). La inoculación de plantas de tomate con *T. harzianum* cepas FCCT 16 y FCCT 199-2, en particular aumentaron significativamente el peso fresco de la raíz y las plantas inoculadas con FCCT 16 mostraron el mayor porcentaje de crecimiento de la raíz, además, se señaló que todas las plantas inoculadas mostraron mayor proliferación de raíces laterales en comparación con las plantas testigo (Bader *et al.* 2020).

Existe evidencia de la capacidad de especies de *Trichoderma* para promover el crecimiento de las plantas, como *T. asperellum* que se ha descrito el modo de acción que es proveer salud y mayor productividad (Calin *et al.* 2019) y en el caso de *T. harzianum* los modos de acción sería mediante inducción del crecimiento temprano de las plantas (Eltlbany *et al.* 2019), incrementar la germinación de semillas de tomate y producir ácido harzianico (Vinale *et al.* 2013), además de promover la producción de hormonas en las plantas para el crecimiento de raíces y tallos (Cai *et al.* 2015). Por ejemplo, en el ensayo con plantas de maíz dulce a nivel de invernadero con la cepa de *Trichoderma* T22 se obtuvo un aumento en el crecimiento de raíces y brotes con un promedio del 66% mayor que el tratamiento testigo (Bjorkman *et al.* 1998). Al igual que en otro estudio de Zachow *et al.* (2010), *Trichoderma velutinum* GI/8 aplicado como suspensión de esporas a plántulas de lechuga, mostró aumentos significativos en la longitud de la raíz, el área de la hoja, longitud y peso en comparación con el control no tratado.

Las plantas de tomate que se inocularon con las diferentes cepas de *Trichoderma* mostraron un mayor desarrollo, ya que presentaron una cantidad de hojas significativamente mayor que el tratamiento testigo. Se observó que en el caso del ensayo en invernadero los tratamientos que contenían la misma especie de *Trichoderma* no se diferenciaron, pero sí entre especies ya sea *T. guizhouense* (THU-01 y THM-04), *T. asperelloides* o *T. asperellum*, donde *T. asperellum* (THC-02) y *T. asperelloides* (THM-03) tienen en promedio, el mayor número de hojas

por planta, sin embargo, un aspecto importante es que las cepas nativas presentaron para todas las variables valores mayores. Por el contrario, en el ensayo de campo el tratamiento THM-03 (*T. asperelloides*) mostró una mayor cantidad de hojas en comparación con todos los demás tratamientos. Si comparamos con los resultados obtenidos por Sani *et al.* (2020) con plantas de tomate donde con el tratamiento T4 (Carbón + *Trichoderma* + 50% dosis de N-P-K) a los 60 días del cultivo obtuvo la mayor cantidad de hojas por planta en promedio de 71,38 con una altura promedio de 112,75 cm, con la reducción del 50% de la aplicación de fertilización química.

Se ha demostrado que las aplicaciones de *Trichoderma* spp. llevan a incrementos en el peso seco, en los contenidos de almidón, azúcar total y soluble y a reducir el contenido de azúcar en las hojas de diferentes plantas (Friedman *et al.* 2019, Lamba *et al.* 2008, Shores y Harman 2008 a y b, Shores *et al.* 2010). Estudios realizados por Li *et al.* (2018), mostraron que la cepa CHF 78 de *T. asperellum* puede reducir la severidad del marchitamiento de plantas de tomate por *Fusarium* sp. y promover el crecimiento de las plantas, lo que se puede atribuir a su capacidad para solubilizar $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y producir celulasas, sideróforos, IAA, proteasas y quitinasas. Del mismo modo, *Trichoderma longipile* y *Trichoderma tomentosum* aumentó el área foliar entre un 58% a un 71%, el peso seco en los brotes (91-102%) y peso seco de la raíz (100-158%) de plántulas de repollo en ensayos de invernadero (Rabeendran *et al.* 2000).

El potencial uso beneficioso de microorganismos para el desarrollo de cultivos, actividades fisiológicas y la acumulación de nutrientes tiene un fuerte atractivo en todo el mundo, especialmente porque es una tecnología de bajo costo, que es fácil de aplicar y utilizar, no contamina, y facilita la intensificación sostenible de la agricultura moderna en un contexto deseable (Silva *et al.* 2020, Nascente *et al.* 2017, Singh *et al.* 2021).

De acuerdo con las cepas de *Trichoderma* spp. aisladas si comparamos las nativas con las importadas, se obtuvo que *T. asperellum* de

Colombia, exponen resultados muy prometedores y semejantes a la cepa nativa de *T. asperelloides*, donde lo que se debería de evaluar es el beneficio con el costo de su importación, factor que es importante para el agricultor. Por el contrario, se logró comprobar que no todas las importaciones de productos biológicos van a presentar excelentes resultados en los cultivos.

Estos resultados se pueden comparar con la investigación realizada por Konappa *et al.* (2018), donde obtuvo un aumento significativo en el crecimiento de las plantas de tomate y los parámetros generativos en las plantas tratadas con *T. asperellum*. En otro estudio donde se aislaron e identificaron especies de *Trichoderma* de la rizosfera de plantas de *Syringa oblata*, con una presencia de 4 especies: *T. pseudoharzianum* (n=46), *T. afroharzianum* (n=41), *T. atroviride* (n=29), and *T. asperelloides* (n=21). Las especies que presentaron excelentes resultados tanto en función del biocontrol como en la promoción del crecimiento fueron *T. afroharzianum* T52 y *T. asperelloides* T57 (Liu *et al.* 2020).

CONCLUSIONES

Existen cepas nativas de *Trichoderma* que promueven el crecimiento vegetal de las plantas de tomate en las variables evaluadas que aportan mayor acumulación de biomasa, incremento de la altura, más longitud de raíz y número de hojas tanto a nivel de invernadero como en campo. Los mejores resultados los presentó la especie de *T. asperellum* (nativa), no obstante, se obtuvieron resultados similares con la especie importada *T. asperelloides*.

LITERATURA CITADA

- Adams, P; De-Lij, FAM; Lynch, JM. 2007. *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22 mediates growth promotion of crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal-contaminated soil. *Microb. Ecol.* 54:306-313. DOI: 10.1007/s00248-006-9203-0
- Arikan, S; Lozano, M; Paetznickv, V; Rex, J. 2001. In vitro susceptibility testing methods for caspofungin

- against *Aspergillus* and *Fusarium* isolates. Antimicrob Agent Chemother 45(1):327-330.
- Ayyandurai, M; Akila, R; Manonmani, K; Theradimani, M; Vellaikumar, S. 2021. Phytostimulation and growth promotion activities of *Trichoderma* spp. on groundnut (*Arachis hypogaea* L.) crop. Journal of Applied and Natural Science 13(4):1172-1179. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v13i4.2936>
- Bader, A; Salerno, G; Covacevich, F; Consolo, V. 2020. 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.). Journal of King Saud University – Science 32:867-873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>
- Bjorkman, T; Blanchard, LM; Harman, GE. 1998. Growth enhancement of shrunken-2 (sh2) sweet corn by *Trichoderma harzianum* 1295-22: effect of environmental stress. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123(1):35-40.
- Cai, F; Chen, W; Wei, Z; Pang, G; Li, R; Ran, W; Shen, Q. 2015. Colonization of *Trichoderma harzianum* strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability and soil microflora. Plant Soil 388:337-350.
- Calin, M; Raut, I; Arsene, M; Capra, I; Gurban, A; Doni, M; Jecu, L. 2019. Applications of Fungal Strains with Keratin-Degrading and Plant Growth Promoting Characteristics. Agronomy 9:543-562.
- Chagas, LFB; Castro, HG; Colonia, BSO; Carvalho, MR; Miller, L; Chagas, AF. 2016. Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. Brazilian Journal of Botany 38:1-11.
- Chairman, E; Bird, G; Fisher, K; Hickey, K; Lewis, F; Line, R; Rickard, S. 1978. Methods for evaluating plant fungicides, nematicides and bactericides. The American Phytopathological Society. Minneapolis, USA. 141 p.
- Das, M; Haridas, M; Sabu, A. 2019. Biological control of black pepper and ginger pathogens, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici*, using *Trichoderma* spp. Biocatal. Agric. Biotechnol. 17:177-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2018.11.021>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2020. InfoStat versión 2020 (en línea). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 17 jul. 2021. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Eltlbany, N; Baklawa, M; Ding, GC; Nassal, D; Weber, N; Kandeler, E; Neumann, G; Ludewig, U; van Overbeek, L; Smalla, K. 2019. Enhanced tomato plant growth in soil under reduced P supply through microbial inoculants and microbiome shifts. FEMS Microbiol Ecol. 95(9): fiz124. DOI: 10.1093/femsec/fiz124
- Fernando, D; Milagrosa, S; Francisco, C; Urbano, DS. 2018. Biostimulant activity of *Trichoderma saturnisporum* in melon (*Cucumis melo*). HortSci. 53(6):810-815.
- Friedman, M; Kozukue, N; Mizuno, M; Sakakibara, H; Choi, SH; Fujitake, M; Land, KM. 2019. The analysis of the content of biologically active phenolic compounds, flavonoids, and glycoalkaloids in harvested red, yellow, and green tomatoes, tomato leaves, and tomato stems (en línea). Curr. Top. Phytochemistry 15:44-53. Consultado: 10 feb. 2022. Disponible en <https://scholarlycommons.pacific.edu/cop-facarticles/780>
- Gilchrist, L; Fuentes, C; Martínez, R; López, E; Duveiller, R; Singh, M; Henry, I; García, A. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. 2 edición. México, D. F., CIMMYT. 260 p.
- Gravel, V; Antoun, H; Tweddell, RJ. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). Soil Biol. Biochem. 39:1968-1977. DOI: doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015
- Gupta, V; Schmoll, M; Herrera, A; Upadhyay, R; Druzhinina, I; Tuohy, M. 2014. Biotechnology and biology of *Trichoderma*. Estados Unidos, Elsevier. 549 p.
- Halifu, S; Deng, X; Song, X; Song, R. 2019. Effects of two *Trichoderma* strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of *Pinus sylvestris* var. mongolica annual seedlings. Forests10(9):758.
- Harman, GE. 2011. Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. New Phytologist 647-649.
- Harman, G; Petzoldt, R; Comis, A; Chen, J. 2004. Interactions between *Trichoderma harzianum* T22 and maize inbred line Mo17 and effects of this interaction on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. Phytopathology 94:147-153.
- Hoyos, L. 2011. Enfermedades de plantas: control biológico. Bogotá, Colombia, Universidad Estatal de Colombia. 217 p.
- Keswani, C; Bisen, K; Singh, V; Sarma, BK; Singh, HB. 2016. Formulation technology of biocontrol agents: present status and future prospects. In Arora, NK; Mehnaz, S; Balestrini, R. (eds.). Bioformulations: for sustainable agriculture. India, Springer. p. 35-52.
- Komoda, H. 1975. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. Rev. Plant. Res. 8:114-125.
- Konappa, N; Krishnamurthy, S; Nayaka, C; Siddapura, N; Chowdappa, S. 2018. Evaluation of biological

- efficacy of *Trichoderma asperellum* against tomato bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 28:63. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0069-5>
- Lamba, P; Sharma, S; Munshi, GD; Munshi, SK. 2008. Biochemical changes in sunflower plants due to seed treatment/spray application with biocontrol agents. Phytoparasitica 36:388-399.
- Lanna, A; da Silva, M; Moreira, A; Nascente, A; de Fillipi, M. 2021. Improved nutrient uptake in three *Crotalaria* species inoculated with multifunctional microorganisms. Rev. Bras. Eng. Agr. e Amb. 25(7):460-465.
- Li, YT; Hwang, SG; Huang, YM; Huang, CH. 2018. Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. Crop Protection 110:275-282.
- Liu, B; Ji, S; Zhang, H; Wang, Y; Liu, Z. 2020. Isolation of *Trichoderma* in the rhizosphere soil of *Syringa oblata* from Harbin and their biocontrol and growth promotion function. Microbiological Research 235:126445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126445>
- López, L. 2017. Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). 126 p.
- Manandhar, S; Pant, B; Manandhar, C; Baidya, S. 2019. In-vitro evaluation of biocontrol agents against soil borne plant pathogens. J. Nep. Agric. Res. Coun. 5:68-72.
- Nascente, AS; de Filippi, MC; Lanna, AC; de Souza, AC; da Silva Lobo VL; da Silva, GB. 2017. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. Environmental Science and Pollution Research 24:2956-2965.
- Olowe, O; Nicola, L; Dare, M; Olalekan, A; Oluranti, O. 2022. *Trichoderma*: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa. Microbiological Research 257:126978. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.126978>
- Prasad, RD; Chnadrika, KSVP; Varsha, G. 2020. A novel chitosan biopolymer-based *Trichoderma* delivery system: Storage stability, persistence and bio efficacy against seed and soil borne diseases of oilseed crops. Microbiological Research 237:126487.
- Prasad, RM; Sagar, V; Devi, U; Triveni, S; Rao, K; Chari, D. 2017. Isolation and Screening of Bacterial and Fungal Isolates for Plant Growth Promoting Properties from Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 6(8):753-761. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.096>
- Rabeendran, N; Moot, DJ; Jones, EE; Stewart, A. 2000. Inconsistent growth promotion of cabbage and lettuce from *Trichoderma* isolates. N. Z. Plant Protect. 53:143-146.
- Ramírez, CA; Porras, MD; Corrales, AR; Wrobel, K; Martínez, NP; Olmedo, V. 2018. Functional characterization of TvCyt2, a member of the p450 monooxygenases from *Trichoderma virens* relevant during the association with plants and mycoparasitism. Mol. Plant Microbe Interact. 31(3):289-298.
- Rouphael, Y; Cardarelli, M; Bonini, P; Colla, G. 2017. Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant derived-protein hydrolysate enhances lettuce tolerance to alkalinity and salinity. Front. Plant Sci. 8(131):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00131>
- Samuels, G; Chaverri, P; Farr, D; McCray, E. 2013. *Trichoderma* online, systematic mycology and microbiology Laboratory, ARS, USDA (en línea). Estados Unidos. Consultado 28 jul. 2018. Disponible en <http://taxadescriptions/keys/TrichodermaIndex.cfm>
- Sani, MNH; Hasan, M; Uddain, J; Subramaniam, S. 2020. Impact of application of *Trichoderma* and biochar on growth, productivity and nutritional quality of Tomato under reduced NPK fertilization. Ann. Agric. Sci. 65:107-115. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2020.06.003>
- Shoresh, M; Harman, G; Mastouri, F. 2010. Induced Systemic Resistance and Plant Responses to Fungal Biocontrol Agents. Annu. Rev. Phytopathol. 48:21-43. DOI: 10.1146/annurev-phyto-073009-114450
- Shoresh, M; Harman, GE. 2008a. The molecular basis of shoot responses of maize seedlings to *Trichoderma harzianum* T22 inoculation of the root: a proteomic approach. Plant Physiol. 147:2147-2163. DOI: 10.1104/pp.108.123810
- Shoresh, M; Harman, GE. 2008b. The relationship between increased grow and resistance induced in plants by root colonizing microbes. Plant Signal Behav. 3:737-739.
- Siddiquee, S. 2017. Fungal volatile organic compounds: emphasis on their plant growth-promoting. In Volatiles and Food Security. p. 313-333. Singapore, Springer.
- Silva, M; Nascente, A; de Filippi, M; Lanna, A; da Silva, G; Arruda E Silva, J. 2020. Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas exchange and nutrient content in soybean plants. Rev. Caatinga, 33(3):619-632.
- Singh, SP; Singh, HB; Singh, D; Rakshit, A. 2014. *Trichoderma* -mediated enhancement of nutrient uptake and reduction in incidence of *Rhizoctonia solani* in tomato. Egyptian J. Bio. 16:29-38. DOI: <https://doi.org/10.4314/ejb.v16i1.4>
- Singh, G; Tiwari, A; Gupta, A; Kumar, A; Hrisprasad, P; Sharma, S. 2021. Bioformulation development via

- valorizing silica-rich spent mushroom substrate with *Trichoderma asperellum* for plant nutrient and disease management. *J. of Envir. Manag.* 297: 113278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113278>
- Spolaor, L; Azeredo, L; Andrade, O; Martinez, A; Scapim, C; Bengosi, F; Kuki, M; 2016. Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization at topdressing in popcorn agronomic performance. *Bragantia* 75(1):33-40. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.330>
- Umaschankar, N; Venkateshamurthy, P; Krishnamurthy, R; Raveendra, HR; Satish, KM. 2012. Effect of microbial inoculants on the growth of silver oak (*Grevillea robusta*) in nursery condition. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 3(1):72-76.
- Vinale, F; Nigro, M; Sivasithamparam, K; Flematti, G; Ghisalberti, E; Ruocco, M; Varlese, R; Marra, R; Lanzuise, S; Eid, A; Woo, SL; Lorito, M. 2013. Harzianic acid: a novel siderophore from *Trichoderma harzianum*. *FEMS Microbiol. Lett.* 347:123-129.
- Zachow, C; Fatehi, J; Cardinale, M; Tilcher, R; Berg, G. 2010. Strain-specific colonization pattern of *Rhizoctonia* antagonists in the root system of sugar beet. *FEMS Microbiol. Ecol.* 74(1):124-135.
- Zhang, F; Huo, Y; Cobb, AB; Luo, G; Zhou, J; Yang, G; Wilson, GWT; Zhang, Y. 2018. *Trichoderma* Biofertilizer Links to Altered Soil Chemistry, Altered Microbial Communities, and Improved Grassland Biomass. *Front. Microbiol.* 9:848. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00848



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr