

Trichoderma asperellum Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg como estimulante del crecimiento de *Solanum lycopersicum* (L.)



CU-ID: 2247/v37n1e09

Trichoderma asperellum Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg as a growth stimulant for *Solanum lycopersicum* (L.)

[✉]Danay Ynfante Martínez, [✉]Ivonne González Marquetti, [✉]Susana Gorrita Ramírez, [✉]Belkis Peteira Delgado-Oramas, [✉]Benedicto Martínez Coca*

Grupo de Fitopatología, Dirección de Sanidad Vegetal, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Censa. Carretera de Jamaica y Autopista Nacional, AP 10, CP 32700, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto endofítico y estimulante de cepas seleccionadas de *T. asperellum* en tomate, en condiciones semicontroladas. *Trichoderma* se aplicó de forma independiente en suspensión en dos concentraciones, directamente al suelo, en dos momentos: 1) en el momento de la siembra y 2) siete días antes de la siembra. En las plantas (tratadas y control) se determinó el número de raíces y de hojas, la altura de la planta, la longitud de la raíz, las masas fresca y seca de las áreas foliar y radicular, y la capacidad endófito en raíces. Las evaluaciones se realizaron a los 15 y 30 días. Las plantas tratadas con las cepas *Ta.* 13 y *Ta.* 90 manifestaron incremento de los indicadores de crecimiento, cuando la siembra se efectuó siete días posinoculación del hongo al suelo. Todas las cepas crecieron endofíticamente en las raíces de tomate, en ambos momentos de aplicación; no obstante, sobresalen *Ta.* 13 y *Ta.* 90 con el mayor porcentaje de endofitismo. Los resultados demostraron, una vez más, la variabilidad de las cepas en estudio y la necesidad de realizar estudios que permitan la selección de candidatos con nuevos atributos para su aplicación en campo.

Palabras clave: bioestimulantes, hongo endófito, indicadores del desarrollo vegetal, tomate.

ABSTRACT: The objective of the present work was to evaluate the endophytic and stimulant effect of selected strains of *T. asperellum* in tomato under semi controlled conditions. Conidial suspensions of the fungal strains at two concentrations were independently applied to the soil at two times (at sowing or seven days prior to sowing). The number of roots and leaves, plant height, root length and fresh and dry weights of the aerial part and root of each plant (treated and control) and the endophytic capacity in roots were determined. Treatment evaluations were performed 15 or 30 days after plant sprouting. The plants treated with the strains *Ta.* 13 and *Ta.* 90 showed increases of the growth indicators when the soil was inoculated with the fungus seven days prior to sowing. All the fungal strains showed endophytic growth in the tomato roots, standing out the strains *Ta.* 13 and *Ta.* 90 with the highest percentage of endophytism. Once again, the results showed the variability of the studied strains and the need for studies that allow the selection of candidates for being applied in the field.

Keywords: biostimulant, endophytic fungus, plant development indicators, tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza que más se consume en el mundo. Su demanda y, por lo tanto, su cultivo, producción y comercio han crecido considerablemente en las últimas décadas (1); ha superado casi los 70 millones de toneladas.

El tomate ocupa el décimo primer lugar de especies más producidas a nivel mundial (2,3), con casi cinco millones de hectáreas cultivadas. En Cuba, el cultivo del tomate ocupa alrededor de 50 % del área total dedicada a la producción de hortalizas, con una superficie anual de más de 20 000 hectáreas y un rendimiento que oscila alrededor de los 750 000 t. ha⁻¹ (4). Es una de las hortalizas de más alto nivel de consumo, fresco o procesado, y de preferencia por la población cubana (5). Por su valor nutritivo particular (licopeno, betaca-

roteno, flavonoides, vitamina C y derivados del ácido hidroxicinámico), se considera un alimento protector (6).

Como en otros cultivos, sus rendimientos se ven afectados por factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (radiación solar, temperaturas y humedad relativa alta) (7,8), los que provocan una disminución considerable en las cosechas (9). Año tras año, mundialmente las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos constituyen una limitante para la producción de tomate, cuando no se utilizan cultivares resistentes a varias de ellas (10). En ataques severos, gran parte de la superficie foliar queda inutilizada, imposibilitándole a la planta realizar la fotosíntesis, lo que se traduce en un descenso en el rendimiento y en la calidad del fruto (11).

*Correspondencia a: Benedicto Martínez Coca. E-mail: bmcocha@censa.edu.cu

Recibido: 12/10/2021

Aceptado: 01/03/2022

En la actualidad, el control de las enfermedades en tomate se basa fundamentalmente en aplicaciones de plaguicidas químicos (dosis y frecuencias elevadas), a pesar de lo costoso y perjudicial que es para el medio ambiente y la salud humana; además de provocar resistencia en los microorganismos. Debido a ello, se necesita la búsqueda e introducción de nuevas alternativas de manejo como el uso de organismos benéficos. En este sentido, las especies del género *Trichoderma* se encuentran dentro de las más estudiadas, debido a su elevada capacidad reproductiva, rápida esporulación, amplia plasticidad ecológica y diferentes mecanismos de acción directa (competencia por sustrato o espacio, antibiosis y el micoparasitismo) e indirecta (proporciona al cultivo mejor crecimiento y adaptabilidad a los estreses) (12,13,14).

El laboratorio de Micología Vegetal del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) dispone de un grupo de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg, identificadas y caracterizadas morfofisiológica, patogénica y molecularmente, que se destacan por su acción biorreguladora sobre una amplia gama de agentes causales de enfermedades en diferentes cultivos de interés económico (15,16,17,18). Sin embargo, se desconoce su acción como endófitas y capacidad estimulante del desarrollo y crecimiento vegetativo en el tomate.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto endófito y estimulante de cepas seleccionadas de *T. asperellum* en tomate, en condiciones semicontroladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en una casa de vegetación del CENSA (22°59'29.1"N 82°09'12.3"W), con temperatura aproximada de 25±2°C, humedad relativa entre el 80-85 % y fotoperiodo natural.

Para el experimento se utilizaron macetas (1 Kg) que contenían 400 g de suelo (ferralítico rojo típico) y abono orgánico en proporción 3:1 (v/v), esterilizados previamente en autoclave a 120°C durante 30 min, dos veces en un intervalo de 24 horas.

Las condiciones de conservación fueron las siguientes: las cepas *Ta.* 13, *Ta.* 78, *Ta.* 85 y *Ta.* 90 de *T. asperellum* (Laboratorio de Micología Vegetal, CENSA) se sembraron previamente en placas Petri (Ø = 90 mm) contentivas de Agar Malta (AM) (BioCen) y se incubaron a temperatura de 28°C±2°C y oscuridad.

Los inóculos (suspensiones conidiales) se prepararon bajo condiciones asépticas, a partir de colonias desarrolladas de las cepas de *T. asperellum*, con cinco días de crecimiento en placas Petri contentivas de medio PDA (BioCen) e incubadas a 28±2°C y oscuridad. A cada colonia, de forma individual, se le adicionaron 10 mL de agua destilada estéril y con una espátula metálica se desprendió el micelio para obte-

ner una suspensión de conidios. Las suspensiones se homogeneizaron en agitador Vortex durante un minuto y se ajustaron a una concentración de 10⁵ y 10⁷ conidios. mL⁻¹. Para la siembra, se utilizaron semillas de *S. lycopersicum* (cv. Amalia), donadas gentilmente por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), sin tratamiento con productos biológicos o químicos, con 100 % de germinación, las cuales se sembraron individualmente en macetas previamente inoculadas con 10 mL de las suspensiones conidiales del agente biológico.

Se evaluaron dos momentos de aplicación: en el primero, las semillas de tomate se sembraron al unísono de la inoculación al suelo con las suspensiones conidiales del hongo; en el segundo, la siembra de las semillas se realizó siete días después de la inoculación de *T. asperellum*. Como controles, se utilizaron macetas no inoculadas con el hongo a las que se les adicionaron 10 mL de agua destilada estéril. Se prepararon tres réplicas y tres repeticiones, para cada momento de evaluación, usando un diseño experimental completamente aleatorizado. Durante el experimento, las plantas se regaron diariamente con 20 mL de agua potable.

Transcurridos 15 y 30 días posteriores a la brotación de cada momento de siembra, las plantas se retiraron de las macetas y se les midieron los siguientes indicadores:

Longitud del tallo (cm): se utilizó una cinta métrica de 0,10 mm de precisión.

Diámetro del tallo (cm): se midió en la base del mismo, utilizando un Pie de Rey mecánico y metálico con precisión 0,10 mm.

Número de hojas y raíces: por observación.

Masa fresca (total, aérea y radical) (g): las plantas enteras, y posteriormente separadas en sus partes aérea y radical, se pesaron en una balanza técnica Sartorius de precisión 0,10 mg.

Masa seca total (g): las plantas se colocaron en una estufa a 50°C de temperatura durante 24 h; posteriormente, se pesaron en balanza técnica analítica Sartorius de precisión 0,10 mg.

Para evaluar la presencia de *Trichoderma* en suelo, se tomaron muestras de 10 g de suelo rizosférico de cada réplica por tratamiento, incluyendo los controles, las cuales se homogeneizaron y tamizaron. Posteriormente, de cada muestra se pesó 1 g de suelo en una balanza técnica (Sartorius), a partir de las cuales se realizaron diluciones seriadas (hasta 10⁻³). Para ello, el gramo se suspendió en un tubo de ensayo con 9 mL de Agua Agarizada estéril al 0,05 % (Agar bacteriológico-Biocen) (A/A) y se agitó en un agitador de tubos (Genie® -1). Luego, se tomó 1 mL de la suspensión (10⁻¹) y se depositó en otro tubo de ensayo con 9 mL de A/A, para obtener una dilución de 10⁻² y, a partir de esta, se preparó la suspensión (10⁻³). De las últimas diluciones, se extrajeron dos alícuotas de 10 µL y se depositaron en dos placas Petri (Ø=9cm) con

medio PDA (BioCen) (con antibiótico cloranfenicol 0,1 g.L⁻¹) y se distribuyeron uniformemente por toda la superficie de la placa con ayuda de una espátula de Drigalsky, previamente flameada. Se prepararon tres réplicas por tratamientos e incubaron en una incubadora (Friocell) a 28°C±2°C, bajo régimen de oscuridad constante, durante tres días. Las evaluaciones se realizaron a las 72 h, momento en el cual se cuantificaron las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de *Trichoderma* en el suelo.

Para evaluar la colonización endofítica de *Trichoderma*, las muestras de raíces de cada tratamiento se lavaron cuidadosamente con abundante agua corriente y se secaron al aire sobre papel de filtro Whatman No. 4. Seguidamente, las raíces se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante 30 s y luego, con alcohol al 70 %, durante 30 s. Entre cada desinfección, y al final del tratamiento de desinfección, las muestras se lavaron con agua destilada estéril tres veces. A continuación, las raíces se cortaron en fragmentos de un cm y se mezclaron para homogenizar. Por último, se seleccionaron 10 segmentos al azar y se sembraron en placas Petri de (Ø = 90 mm) contentivas de PDA (BioCen) con antibiótico cloranfenicol 0,1 g.L⁻¹; e incubaron en una incubadora (Friocell) a temperatura de 28°C±2°C y oscuridad. Las determinaciones se realizaron por triplicado, durante cinco días, con evaluaciones cada 24 horas hasta la aparición de las estructuras fúngicas del hongo.

Los resultados de cada variable (colonización de *Trichoderma* en suelo y raíz) se analizaron mediante un análisis de varianza simple y las medias de los tratamientos se compararon mediante la Prueba LSD Fisher con un nivel de significación de $p \leq 0,05$, usando el programa estadístico InfoStat versión 2017 (19).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de que las especies del género *Trichoderma* generalmente son conocidas y usadas por su acción sobre agentes fitopatógenos, algunas son capaces de producir metabolitos que estimulan el crecimiento de las plantas (20).

En general, en ambos momentos de aplicación, las cepas de *Trichoderma* indujeron incremento significativo en la germinación con respecto al testigo. Todas las semillas sembradas en las macetas inoculadas con las suspensiones conidiales del hongo germinaron al tercer día de la siembra, excepto en los controles, pues germinaron al cuarto día; las plantas de tomate mostraron evidencias de estimulación del crecimiento. Estos resultados son similares a los obtenidos por Santana *et al.* (21), quienes informaron que *Trichoderma harzianum* tiene un alto potencial para promover la velocidad y el porcentaje de germinación de las semillas de tomate respecto al control, y a los de Hernández *et al.* (22), quienes observaron que cuatro aislamientos de *Trichoderma* mejoraron la germinación de las semillas de frijol y maíz, en comparación con el control.

En este sentido, algunos autores plantean que, durante la germinación de las esporas, podría producirse la liberación de fitohormonas y/o metabolitos estimuladores de crecimiento y desarrollo de la planta de forma más rápida, que cuando el hongo se aplica en la fase de micelio (23). Dichas sustancias actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de aquellas, por lo que inducen su reproducción celular y alcanzan un desarrollo más rápido que las que no hayan sido tratadas con dicho microorganismo (20).

En general, las plantas mostraron estimulación del crecimiento, según los indicadores evaluados. El número de hojas se favoreció, al unísono de la aplicación conidial de las cepas *Ta.* 78 (10⁵ y 10⁷) y *Ta.* 90 (10⁷) de *Trichoderma* al suelo, a los 15 y 30 días de evaluación; así como también a los siete días después de la aplicación, pero a los 30 días (Tabla 1 y 2).

Similar respuesta se obtuvo al evaluar la longitud del tallo, respecto al segundo momento donde se aplicó *Trichoderma* siete días antes de la siembra. En este caso, se destacaron a los 15 días las cepas 13 (10⁵) y *Ta.* 90 (10⁵ y 10⁷) y, a los 30 días, las cepas *Ta.* 90 (10⁵) y *Ta.* 13 (10⁵), respecto a las plantas controles.

Asimismo, se evidenció un efecto estimulante en el grosor del tallo con las cepas *Ta.* 13 y *Ta.* 90, a la concentración de 10⁵ conidios. mL⁻¹, a los 15 días del cultivo (siembra a los siete días pos tratamiento del suelo). Estos resultados concuerdan con los informados por Santana *et al.* (21), quienes obtuvieron plantas con mayor diámetro del tallo, masa total y radical al aplicar *T. harzianum*. Este resultado es de gran importancia para la obtención de posturas de tomate, en menor tiempo y más resistentes a las distintas condiciones medioambientales.

Al analizar la longitud de las raíces de las plantas, se observaron diferencias entre los momentos de aplicación del hongo. A los 15 días de evaluación hubo diferencias entre los tratamientos y el respectivo control, con excepción de los tratamientos con las cepas *Ta.* 78 a 10⁷ conidios.mL⁻¹, que no mostraron diferencias estadísticas con el control. A los 30 días de evaluación no se evidenciaron diferencias con respecto al control. Estudios en este sentido han demostrado que la incorporación al suelo de *Trichoderma*, en etapas tempranas del crecimiento del cultivo, permite un mejor desarrollo de su raíz y, con ello, la absorción de nutrientes (24).

De manera general, la masa fresca del follaje se favoreció con la aplicación de *T. asperellum* siete días antes de la siembra. A los 15 días de evaluación, en el segundo momento predomina, con diferencias significativas, el tratamiento con la cepa *Ta.* 13 a la concentración 10⁵ conidios.mL⁻¹. Mientras que, a los 30 días de evaluación, solo hubo diferencias para este parámetro con las cepas *Ta.* 13 y *Ta.* 90 a la concentración de 10⁵ conidios.mL⁻¹. No obstante, en el análisis de la masa fresca de la raíz no se evidenció una esti-

Tabla 1. Efecto de *T. asperellum* sobre indicadores de crecimiento y desarrollo de *S. lycopersicum* (cv. Amalia), en dos momentos de aplicación, a los 15 días de la brotación. / *Effect of T. asperellum applied at two times on growth and development indicators of S. lycopersicum (cv. Amalia) fifteen days after sprouting*

Tratamiento/cepa	Concentración	Momento de siembra	No. de hojas	Logitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Masa fresca foliar (g)	Masa fresca de la raíz (g)	Masa seca foliar (g)	Masa seca de la raíz (g)
Ta. 13	10 ⁵	I	3,28 ab	9,42 a	9,74 d	1,90 a	0,21 abcd	0,08 abcd	0,01 abcd
Ta. 13	10 ⁷	I	3,56 abcd	10,92 ab	10,59 d	2,28 a	0,22 abcd	0,10 bcd	0,02 d
Ta. 78	10 ⁵	I	3,82 bcd	10,48 ab	10,24 d	2,36 a	0,27 cde	0,08 abc	0,02 d
Ta. 78	10 ⁷	I	3,33 abc	8,98 a	7,34 bc	1,64 a	0,17 ab	0,06 ab	0,01 abcd
Ta. 85	10 ⁵	I	3,33 abc	8,96 a	9,57 cd	1,72 a	0,19 abc	0,05 ab	0,01 abcd
Ta. 85	10 ⁷	I	3,56 abcd	10,49 ab	9,70 d	2,06 a	0,19 abc	0,09 abc	0,01 abcd
Ta. 90	10 ⁵	I	3,19 a	9,16 a	8,81 cd	1,63 a	0,14 a	0,03 a	0,01 abcd
Ta. 90	10 ⁷	I	3,88 cd	10,81 ab	10,04 d	2,41 a	0,21 abcd	0,08 abcd	0,01 abcd
	Control I		3,22 a	11,24 ab	7,36 bc	2,05 a	0,24 bcde	0,06 ab	0,02 bcd
Ta. 13	10 ⁵	II	4,94 fg	22,82 e	10,58 d	5,94 d	0,41 g	0,17 ef	0,02 bcd
Ta. 13	10 ⁷	II	4,06 de	13,96 ab	6,26 ab	2,30 a	0,21 abcd	0,06 ab	0,01 ab
Ta. 78	10 ⁵	II	3,82 bcd	12,15 ab	4,82 a	1,85 a	0,17 ab	0,04 ab	0,01 a
Ta. 78	10 ⁷	II	3,80 bcd	10,29 ab	5,09 ab	1,30 a	0,16 ab	0,04 ab	0,01 abc
Ta. 85	10 ⁵	II	4,50 ef	17,03 c	9,11 cd	4,11 b	0,30 def	0,12 cde	0,01 abcd
Ta. 85	10 ⁷	II	3,71 abcd	11,64 ab	5,36 ab	1,60 a	0,17 ab	0,05 ab	0,01 abc
Ta. 90	10 ⁵	II	4,65 fg	21,65 de	9,05 cd	5,21 cd	0,38 fg	0,18 f	0,02 bcd
Ta. 90	10 ⁷	II	4,44 ef	23,51 e	9,11 cd	4,06 b	0,33 efg	0,13 def	0,01 abcd
	Control II		5,06 g	17,46 cd	8,82 cd	4,34 bc	0,43 g	0,13 cdef	0,02 cd
	ES		0,69	36,93	11,80	2,72	0,02	0,00	0,00

Medias con diferentes letras (en la misma columna) difieren significativamente, según según LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

mulación significativa entre los tratamientos con los hongos y con los controles.

Con respecto a la masa seca foliar y de la raíz se observó una estimulación a los 30 días por las cepas Ta. 13 (10⁵ conidios.ml⁻¹) y Ta. 90 (10⁷ conidios.ml⁻¹), al aplicarlas siete días antes de la siembra, con diferencias significativas respecto al control. La masa seca foliar también se estimuló con la cepa Ta. 90 (10⁵ conidios.ml⁻¹). Estos resultados sugieren que las plantas pudieron tener una mejor nutrición.

Los resultados del presente estudio fueron similares a los obtenidos por Chowdappa *et al.* (25), ya que observaron, en condiciones controladas, un incremento significativo de los indicadores de desarrollo (crecimiento de raíces y brotes, el área de la hoja y el índice de vigor de las plántulas) en el cultivo del tomate con la aplicación de la cepa OTPB3 de *Trichoderma harzianum* Rifai. También, se corresponden con los alcanzados por Blanco (11), quien encontró estimulación en la longitud de las plantas de tomate, con la aplicación de tres cepas, en formulaciones líquidas. Jiménez *et al.* (26) también notificaron estimulación tanto de la parte aérea como de las raíces de tomate, con la aplicación de *T. harzianum* en semillero, trasplante y 15 días después del trasplante. En este sentido, Páez *et al.* (27) también informaron que *T. harzianum* estimula el crecimiento de raíces y pelos absorbentes en tomate; de esta manera mejora la absorción de nutrientes y agua, lo que permite disminuir

la aplicación de fertilizantes y alcanzar mayor rendimiento.

En sus resultados, Altamore *et al.* (1999), citado por Martínez *et al.* (28), determinaron que la promoción sobre el desarrollo de las plantas se debe a que *Trichoderma* tiene la capacidad de solubilizar manganeso de forma constante, independientemente del pH del medio y su disponibilidad. La planta requiere de este microelemento para determinadas funciones fisiológicas como son la fotosíntesis, el metabolismo del nitrógeno, la síntesis de los compuestos aromáticos y, además, por precursores de aminoácidos y hormonas, de fenoles y de lignina; por lo que debe asegurar el crecimiento y la resistencia a enfermedades en las plantas. Hoyos-Carvajal *et al.* (20) sugieren que la estimulación del crecimiento de las plantas por *Trichoderma* se asocia con la inducción de auxinas, especialmente el ácido indol-3-acético (AIA) y la activación de la enzima H⁺-ATPasa de la membrana plasmática (PM); ambas involucradas en la promoción del crecimiento celular, el alargamiento de la planta y el desarrollo radicular y, con ello, la asimilación de nutrientes en un mayor radio, tanto durante las interacciones simbióticas como patogénicas con las plantas (29). En este sentido, López-Coria *et al.* (30) estudiaron la participación de la H⁺-ATPasa PM en el alargamiento inducido por *T. asperellum* y lo compararon con el efecto del AIA 10 μM, ya que también participa en la activación de H⁺-ATPasa PM. Las se-

Tabla 2. Efecto de *T. asperellum* sobre indicadores de crecimiento y desarrollo de *S. lycopersicum* (cv. Amalia), en dos momentos de aplicación, a los 30 días de la brotación. / *Effect of T. asperellum applied at two times on growth and development indicators of S. lycopersicum (cv. Amalia) thirty days after sprouting*

Tratamientos/ cepas	Concentración	Momento de siembra	No. de hojas	Longitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Masa fresca foliar (g)	Masa fresca de la raíz (g)	Masa seca foliar (g)	Masa seca de la raíz (g)
Ta. 13	10 ⁵	I	4,83 a	15,84 ab	12,13 ab	4,28 ab	0,61 ab	0,15 ab	0,02 ab
Ta. 13	10 ⁷	I	5,33 a	16,02 abc	13,68abcd	4,87 ab	0,54 a	0,21 abc	0,03 abcd
Ta. 78	10 ⁵	I	5,22 a	15,27 a	14,01abcd	5,29 abc	0,54 a	0,23 abcd	0,04 abcd
Ta. 78	10 ⁷	I	5,11 a	13,84 a	11,69 ab	4,53 ab	0,54 a	0,19 abc	0,02 abc
Ta. 85	10 ⁵	I	5,47 a	15,52 a	12,64abc	5,44 abcd	0,58 ab	0,23 abcd	0,04 abcd
Ta. 85	10 ⁷	I	5,28 a	16,61 abc	14,61 abcde	5,63 abcd	0,71 abc	0,26 abede	0,05 bede
Ta. 90	10 ⁵	I	4,78 a	14,12 a	11,36 a	4,11 a	0,52 a	0,12 a	0,02 a
Ta. 90	10 ⁷	I	5,50 a	14,94 a	13,06 abcd	5,26 abc	0,67 abc	0,21 abcd	0,04 abcd
	Control I		5,00 a	19,25 bcd	11,68 ab	5,82 abcde	0,69 abc	0,22 abcd	0,02 ab
Ta. 13	10 ⁵	II	7,35 cd	27,79 gh	14,70 bde	10,46 h	1,20 e	0,61 g	0,07 ef
Ta. 13	10 ⁷	II	7,56 d	24,28 ef	14,71 bde	7,88 efg	0,83 abcd	0,40 def	0,05 def
Ta. 78	10 ⁵	II	6,94 bcd	21,27 de	14,81 bde	6,36 bedef	0,62 ab	0,27 abcd	0,03 abcd
Ta. 78	10 ⁷	II	6,59 b	19,37 cd	13,85 abcd	6,05 abcde	0,70 abc	0,31 bcd	0,05 bde
Ta. 85	10 ⁵	II	7,07 bcd	25,97 fgh	17,74 e	8,55 fgh	1,00 cde	0,41 defg	0,05 cdef
Ta. 85	10 ⁷	II	6,72 bc	24,59 efg	15,58 cde	7,45 cdefg	0,90 bde	0,40 def	0,05 bde
Ta. 90	10 ⁵	II	7,53 d	29,48 h	14,06 abcd	10,30 h	1,08 de	0,52 efg	0,06 def
Ta. 90	10 ⁷	II	6,94 bcd	24,41 efg	17,86 e	8,95 gh	1,00 cde	0,54 fg	0,08 f
	Control II		7,29 bcd	23,42 ef	16,16 de	7,56 defg	0,99 cde	0,35 cde	0,04 abcd
	ES		1,21	27,79	24,56	11,02	0,25	0,04	0,00

Medias con diferentes letras (en la misma columna) difieren significativamente, según según LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

millas tratadas con *T. asperellum* produjeron plántulas de mayor tamaño que las plántulas control, a pesar de que estas igualmente acumularon AIA y aumentaron la acidificación de la raíz, lo que sugiere que, además de AIA, *T. asperellum* excreta otras moléculas que estimulan la H⁺-ATPasa PM para inducir el crecimiento de la planta.

A los 15 y 30 días de la brotación, se evidenció que las cepas de *T. asperellum* colonizaron el suelo a las diferentes concentraciones. En la evaluación a los 15 días, la colonización del suelo se vio influenciada por el momento de inoculación del hongo y por los tratamientos (cepas de *Ta.* y concentración). Las cepas con mayor colonización del suelo fueron *Ta. 13*, *Ta. 78*, *Ta. 90* y *Ta. 85*; todas estas a la concentración de 10⁷ conidios.ml⁻¹ en el segundo momento de aplicación, al incorporar el hongo siete días antes de la siembra.

La evaluación a los 30 días mostró la mayor colonización del suelo por las cepas *Ta. 13* y *Ta. 78*, para ambos momentos de aplicación; mientras que, las cepas *Ta. 85* y *Ta. 90*, solo alcanzaron valores mayores en el segundo momento de aplicación, todas a la concentración de 10⁷ conidios.ml⁻¹. Se puede inferir que la concentración de la suspensión de esporas y el momento de aplicación tienen influencia en la colonización del suelo. Todas las cepas fueron capaces de colonizar el sustrato, en un rango de 80-100 %, respectivamente.

Estos resultados no coinciden con los de Segarra *et al.* (31), porque informaron que la planta al detectar el hongo, y activar sus mecanismos de defensa, excreta metabolitos secundarios que pueden afectarlo, e inhibir sus esporas al nivel que no sea posible detectarlo. La presencia o sobrevivencia de las especies del género *Trichoderma* puede estar relacionada con la diversidad metabólica de este, su alta capacidad reproductiva, así como con su capacidad competitiva en el medio, todo lo cual le permite evadir estos mecanismos de defensa de la planta (32). Es posible que ya en el momento de evaluación, a los 30 días, la planta no reconozca al hongo como un agente extraño y este ya se esté comportando como endófito.

De manera general, todas las cepas de *T. asperellum* evaluadas (*Ta. 13*, *Ta. 78*, *Ta. 85*, *Ta. 90*) mostraron capacidad endofítica de las raíces de tomate, en ambos momentos de aplicación, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero sí entre cepas y concentración de inóculo. A los 15 días, los mejores valores de colonización endofítica lo mostraron la cepa *Ta. 13* a las concentraciones de 10⁵ y 10⁷ conidios.ml⁻¹, para ambos momentos de aplicación, y la cepa *Ta. 90* a la máxima concentración en el segundo momento de aplicación. Sin embargo, a los 30 días hubo menos variabilidad. Al tomar los tratamientos que superaron la media del análisis, se destacaron las cepas *Ta. 13*, *Ta. 78*, *Ta. 85* y *Ta. 90*, a la concentración de 10⁷ en el segundo momento de aplicación; las excepciones fueron *Ta. 78* (ambos momentos de siembra) y la cepa *Ta.*

90 a la concentración de 10^5 en el primer momento de aplicación. La colonización endofítica de *Trichoderma* posibilita el escape de la planta al ataque de patógenos radiculares (33). Esto confirma lo planteado por Companioni-Gonzalez *et al.* (34) sobre los múltiples beneficios que aporta el uso de *Trichoderma* en el control de hongos fitopatógenos del suelo en tomate, donde las plantas inoculadas con los aislados de *Trichoderma* no presentaron síntomas de enfermedad.

Por tanto, el establecimiento de un hábitat endofítico resulta un importante mediador de las actividades en el control biológico, debido a la elicitación de mecanismos de defensa de la planta hospedante. Se piensa que el hongo, cuando entra en las capas epidérmicas de las raíces, confiere mejor salud al cultivo y mayor crecimiento vegetal, debido a la síntesis de hormonas; también mejora la absorción de nutrientes, lo que se revierte en un aumento de la productividad (20,35,36).

La respuesta diferencial de las plantas de tomate a la acción de *T. asperellum* dependió del momento de aplicación del hongo; los mejores resultados se obtuvieron en la aplicación a los siete días antes de la siembra. La utilización de *T. asperellum* (Ta. 13 y Ta. 90) favoreció la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate, con incremento en los valores de diámetro del tallo, masa total y radical, lo que puede ser aprovechado para el trasplante de las plantas de tomate y generar una posible disminución en los gastos de producción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los técnicos Judith Pérez-Bravet, Noreidys Fernández-Gálvez, Dariana Castellón- Miranda, Keylan Barbón Samón y Fraimarys De Moya-Abich por su colaboración durante el montaje y la evaluación de los experimentos.

REFERENCIAS

1. FIRA-Panorama Agroalimentario. Dirección de investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Tomate Rojo. 2019; 1-25.
2. FAOSTAT. Crops [Internet]. 2016 Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
3. Coyago Cruz E del R. Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias]. Universidad de Sevilla. Departamento de Ciencias Agroforestales. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/77389>. 238p.
4. Alfonso Terry E, Falcón Rodríguez A, Ruiz Padrón J, Carrillo Sosa Y, Morales Morales H. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. Cultivos Tropicales. 2017; 38(1):147-54.
5. Álvarez M, Moya C, Florido Marilyn, Plana Dagmara. Resultados de la mejora genética del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y su incidencia en la producción hortícola de Cuba. Cultivos Tropicales. 2003; 24(2):63-70.
6. Dell'Amico-Rodríguez JM, Guillama R, González MC. Respuesta de cinco líneas de tomate *Solanum lycopersicum* L. cultivadas en dos variantes de riego, en condiciones de campo. Cultivos Tropicales. 2018; 39(4):78-85.
7. Marcelis M, Leo F, Hoffman L. Effect of temperature on the growth of individual cucumber fruits. *Physiologia Plantarum*. 2006; 87:321-328.
8. Álvaro J, Urrestarazu M. Incidencia de los factores abióticos en la producción del tomate en invernadero. Manejo de cultivos. Universidad de Almería. Revista Agropecuaria. 2011; 939:270-273.
9. Hernández Pérez V. Respuesta de tomate a condicionantes abióticos y mitigación de su efecto mediante estrategias agronómicas. Universidad Politécnica de Cartagena. Programa de Doctorado Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. 2017.
10. Gómez JR, Hernández FLM, Cossio VLE, López AJG, Sánchez LR. Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Santiago Ixcuintla Santiago Ixcuintla, Nayarit. Folleto Técnico. 2011; 19. ISBN: 978-607-425-720-5.
11. Blanco Acosta AG. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre algunos parámetros fisiológicos en *Solanum lycopersicum* L. bajo condiciones de vivero. [Tesis especial de grado]. Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Departamento de Biología. 2017.
12. Martínez-Coca B, Infante D, Caraballo W, Duarte-Lea Y, Echevarría-Hernández A. Antagonismo de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a aislamientos de *Fusarium* spp. procedentes de garbanzo. *Rev Protección Veg*. 2018; 33(2):1-13.
13. Shores M, Harman GE, Mastouri F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual review of Phytopathology*. 2010; 48:21-43.
14. Amerio NS, Castrillo ML, Bich GA, Zapata P, Villalba LL. *Trichoderma* en la Argentina: Estado del arte. *Ecología Austral*. 2020; 30:113-124.
15. Infante D, Martínez B, Peteira B, Reyes Y, Herrera A. Molecular identification of thirteen isolates of *Trichoderma* spp. and evaluation of their pathogenicity towards *Rhizoctonia solani* Kühn. *Biotecnología Aplicada*. 2013; 30:23-28.

16. Infante D, Reyes Y, Peteira B, Martínez B. Variabilidad fisiológica y patogénica de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg. Métodos en Ecología y Sistemática. 2015; 10(3):41-52.
17. Duarte Leal Y, Infante Martínez D, Martínez Coca B. Biocontrol of *Trichoderma* spp. strains against *Fusarium* spp. isolates from beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev Protección Veg. 2021; 36(2):1-5.
18. Cruz-Triana A, Rivero-González D, Infante-Martínez D, Echevarría Hernández A, Martínez-Coca B. Manejo de hongos fitopatógenos en *Phaseolus vulgaris* L. con la aplicación de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg. Rev Protección Veg. 2018; 33(3):1-7.
19. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat [programa de cómputo]. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 2017. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar/>.
20. Hoyos-Carvajal L, Orduz S, Bissett J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. Biological control. 2009; 51(3):409-416.
21. Santana YB, del Busto Concepción A, González FY, Aguiar GI, Carrodegua DS, Páez FPL, et al. Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y FitoMas-E® como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate. Centro Agrícola. 2016; 43(3):5-12.
22. Hernández Mejías S, Novo Sordo R, Mesa Pérez MA, Ibarra Mederos A, Hernández Rodríguez D. Capacidad de *Trichoderma* spp. como estimulante de la germinación en maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista de Gestión del Conocimiento y el Desarrollo Local. 2017; 4(1):19-23.
23. Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, del-Val E, Larsen J. Interactions of *Trichoderma* with plants, insects, and plant pathogen microorganisms: chemical and molecular bases. Co-Evolution of Secondary Metabolites. 2018:1-28.
24. López-Bucio J, Pelagio-Flores R, Herrera Estrella A. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. Scientia horticulturae. 2015; 196:109-123.
25. Chowdappa P, Kumar SM, Lakshmi MJ, Upreti K. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. Biological Control. 2013; 65(1):109-117.
26. Jiménez C, Sanabria de Albarracín N, Altuna G, Alcano M. Effect of *Trichoderma harzianum* (Rifai) on tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants growth. Revista Facultad Agronomía (LUZ). 2011; 28:1-10.
27. Páez O, Bernaza G, Acosta M. Uso agrícola del *Trichoderma*. 2006. Disponible en: <http://www.soil-fertility.com/trichoderma/espagnol/index.shtml>.
28. 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.
29. Martínez-Medina A, Alguacil MDM, Pascual JA, Van Wees SC. Phytohormone profiles induced by *Trichoderma* isolates correspond with their biocontrol and plant growth promoting activity on melon plants. Journal of Chemical Ecology. 2014; 40(7):804-815.
30. López-Coria M, Hernández-Mendoza J, Sánchez-Nieto S. *Trichoderma asperellum* induces maize seedling growth by activating the plasma membrane H⁺-ATPase. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2016; 29(10):797-806.
31. Segarra G, Van der Ent S, Trillas I, Pieterse MJ. MYB72, a node of convergence in induced systemic resistance triggered by a fungal and bacterial beneficial microbe. Plant Biology. 2009; 11:90-96.
32. Cardoso Lopes FA, Steindorff Andrei S, Maia Geraldine A, Silva Brandão R, Neves Monteiro V, Lobo Júnior M, et al. Biochemical and metabolic profiles of *Trichoderma* strains isolated from common bean crops in the Brazilian Cerrado, and potential antagonism against *Sclerotinia sclerotiorum*. Fungal Biology. 2012; 116:815-824.
33. Morel M, Castillo Y, García S Conce M, Moya JD, Reinoso T, et al. Evaluación de la capacidad endofítica de cepas nativas de *Trichoderma* en plantas de tomate en casa de mallas. Revista Agropecuaria y Forestal. 2021; 10(01):25-40.
34. Companioni BG, Domínguez GA, García RV. *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. Biotecnología Vegetal. 2019; 19(4):237-248.
35. Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology. 2004; 2(1):43.
36. Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology. 2004; 7:249-260.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Danay Ynfante-Martínez** participó en el diseño y montaje del experimento, llevó a cabo la elaboración de las suspensiones conidiales del hongo utilizadas en el estudio, participó en el muestreo y evaluaciones de los parámetros estudiados. Fue la principal responsable de la evaluación de la capacidad endofítica de *T. asperellum* en las raíces frijol común. Llevó a cabo la elaboración de las bases de datos y el análisis estadístico de los resultados. Realizó la redacción y corrección del manuscrito. **Ivonne González Marquetti** participó en el diseño y montaje del experimento, en el muestreo, evaluaciones de los parámetros estudiados y llevó a cabo la elaboración de las bases de datos y el análisis estadístico de los resultados. **Susana Gorrita-Ramírez** participó en el montaje del experimento, en el muestreo y evaluaciones de los parámetros estudiados. Fue responsable de la determinación de las masas secas foliar y radicular. **Belkis Peteira Delgado-Oramas** participó en la concesión de la idea del experimento, en su diseño y orientó la realización de los muestreos. Participó en la discusión de los resultados, así como en la corrección del manuscrito. **Benedicto Martínez-Coca** Análisis formal, Investigación, Administración de Proyecto, Validación fue el líder del proyecto que financió el estudio. Concibió el experimento, participó en su diseño, orientó la realización de los muestreos, participó en el montaje del mismo, en el muestreo, en las evaluaciones de los parámetros estudiados, y en los análisis estadísticos.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)