

# Effect of *Trichoderma* spp. and phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit quality

## Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate

María Fernanda Ruiz-Cisneros, José de Jesús Ornelas-Paz, Guadalupe Isela Olivas-Orozco, Carlos Horacio Acosta-Muñiz, David Roberto Sepúlveda-Ahumada, Daniel Alonso Pérez-Corral, Claudio Rios-Velasco\*, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo- CIAD; AC., Cuauhtémoc, C.P. 31570, Chihuahua, México; Miguel Ángel Salas-Marina, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas- UNICACH, Villacorzo, C.P. 29000, Chiapas, México; Sylvia Patricia Fernández-Pavía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo- UMSNH, C.P. 58880, Michoacán, México. \*Autor para correspondencia: claudio.rios@ciad.mx.

Recibido: 16 de Abril, 2018.

Aceptado: 16 de Agosto, 2018.

Ruiz-Cisneros MF, Ornelas-Paz JJ, Olivas-Orozco GI, Acosta-Muñiz CH, Sepúlveda-Ahumada DR, Pérez-Corral DA, Rios-Velasco C, Salas-Marina MA, Fernández-Pavía SP. 2018. Effect of *Trichoderma* spp. and phytopathogenic fungi on plant growth and tomato fruit quality. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(3): 444-456.

DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1804-5

Primera publicación DOI: 04 de Septiembre, 2018.

First DOI publication: September 04, 2018.

**Resumen.** El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de tres especies de *Trichoderma* cuando se aplican solas y cuando se confrontan con tres fitopatógenos, sobre el crecimiento y calidad del fruto de jitomate. El sustrato de las plantas se inoculó con *Trichoderma* spp. solas y en confrontación con *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora infestans*. En planta, se determinó la altura y peso, longitud y peso de raíces, contenido

**Abstract.** The objective of this study was to determine the effect of three *Trichoderma* species when applied alone and when are confronted with three phytopathogens on plant growth and tomato fruit quality. The substrate of the plants was inoculated with *Trichoderma* spp. alone and together in confrontation with *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum* y *Phytophthora infestans*. In plant, the height and weight, length and weight of roots, total chlorophyll content in leaves, and yield were determined. Fruits were characterized by color, weight, size, total soluble solids (TSS), titratable acidity, firmness and bromatological composition. Plants inoculated with *Trichoderma* showed significant increases in most of the variables evaluated, where *T. longibrachiatum* significantly promoted the growth plants (height  $\geq$  13%) and yield (14%), obtaining fruits with higher titratable acidity and lower TSS content. Pathogens decreased yield (23%). Diameter, firmness and protein content in fruits increased with the

total de clorofila en hojas y rendimiento. Los frutos se caracterizaron por color, peso, tamaño, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, firmeza y composición bromatológica. Las plantas inoculadas con *Trichoderma*, mostraron incrementos significativos en la mayoría de las variables de respuesta evaluadas, donde *T. longibrachiatum* promovió significativamente el crecimiento de la planta (altura  $\geq 13\%$ ) y el rendimiento (14%), obteniendo frutos con mayor acidez titulable y menor contenido de SST. Los patógenos redujeron el rendimiento (23%). El diámetro, firmeza y contenido de proteína en frutos, se incrementó con la inoculación de *Trichoderma*. El color y fibra en frutos no resultaron afectados por los tratamientos. Las cepas de *Trichoderma*, mostraron potencial para mejorar la calidad del fruto.

**Palabras clave:** antagonistas, fitopatógenos, SST, firmeza, análisis bromatológico.

Las plantas de jitomate (*Solanum lycopersicon* L.) son susceptibles a diversos patógenos, dentro de los cuales, destacan algunos hongos causantes de enfermedades que bloquean los haces vasculares de las plantas, evitando el flujo normal de agua y nutrientes, lo cual se refleja en un crecimiento reducido, baja producción de frutos, entre otros (Yadeta y Thomma, 2013; Shafique *et al.*, 2016). Los fungicidas químicos son los más usados para el control de estos patógenos con resultados satisfactorios, con algunas limitantes como la inducción del desarrollo de resistencia por parte de los patógenos, muerte de microorganismos benéficos, contaminación de suelos agrícolas y otros efectos negativos (Shafique *et al.*, 2016). Para atender estas limitantes, se ha propuesto como método alternativo el control biológico, mediante el uso de hongos y bacterias antagonistas. En el grupo de los

inoculation of *Trichoderma*. Color and fiber in fruits were not affected by treatments. *Trichoderma* strains showed potential to improve fruit quality.

**Key words:** antagonists, phytopathogens, TSS, firmness, bromatological analysis.

Tomato plants (*Solanum lycopersicon* L.) are susceptible to diverse pathogens, among which some fungi stand out for their ability to cause diseases that block vascular bundles of the plants, preventing the normal flow of water and nutrients, which is reflected in reduced growth, low fruit production, among other (Yadeta and Thomma, 2013; Shafique *et al.*, 2016). Chemical fungicides are usually applied to control these pathogens with satisfactory results, with some limitations such as the development of pathogen-induced resistance, death of beneficial microorganisms, pollution of agricultural soils and other negative effects (Shafique *et al.*, 2016). To address these limitations, the use of antagonistic fungi and bacteria has been proposed as an alternative biological control method. Within the group of fungi, *Trichoderma* genus stands out due to its broad ecological plasticity, versatile metabolism, easy reproduction and antagonistic capacity (Sharma and Gothwal, 2017). Therefore, the use of *Trichoderma* strains could reduce the effects of diseases caused by multiple tomato phytopathogens when food sources are reduced by the competition for space and/or nutrients, production of antimicrobial compounds, direct parasitism and stimulation of plant defense mechanisms. *Trichoderma* strains also promote plants growth, improve fruit quality and crops yields through phytohormones production and promotion of the availability of phosphates and other minerals necessary for plants metabolism (Sharma and Gothwal, 2017). This

hongos destaca el género *Trichoderma*, debido a su amplia plasticidad ecológica, metabolismo versátil, adaptabilidad, fácil reproducción y capacidad antagonística (Sharma y Gothwal, 2017). Por lo que, mediante el uso de cepas de *Trichoderma* se podrían reducir los efectos de enfermedades causadas por múltiples fitopatógenos en jitomate, a través de la reducción de las fuentes de alimento por la competencia de espacio y/o nutrientes, producción de compuestos antimicrobianos, parasitismo directo y estimulación de los mecanismos de defensa de la planta. Adicionalmente, promueven el crecimiento de la planta, mejoran la calidad de frutos y potencializan el rendimiento en los cultivos mediante la producción de fitohormonas y promoción de la disponibilidad de fosfatos y otros minerales necesarios para el metabolismo de las plantas (Sharma y Gothwal, 2017). Razones por las cuales, algunas cepas de *Trichoderma* se utilizan como biofertilizantes y fitoestimuladores (Colla *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2017). Además, existen diversos estudios donde se han evaluado *in vitro* cepas de *Trichoderma* con excelentes resultados respecto a su capacidad antagonista y promoción del crecimiento de algunas variables agronómicas tales como sistema radicular, altura de planta, productividad, entre otras (Pelagio-Flores *et al.*, 2017). Sin embargo, hay pocos estudios, donde se analicen los potenciales efectos de estos microorganismos sobre la calidad del fruto y su capacidad para aminorar los efectos indirectos de hongos fitopatógenos hacia los frutos. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de tres especies de *Trichoderma* cuando se aplican solas o cuando se confrontan con tres hongos fitopatógenos sobre el crecimiento y calidad del fruto de jitomate.

Se usaron tres especies de *Trichoderma*: *T. harzianum* (Th), *T. asperellum* (Ta), aislados de huertos de manzano de Chihuahua, México y *T. longibrachiatum* (Tl), una cepa aislada de suelo de

is the reason why some *Trichoderma* strains are used as biofertilizers and phytostimulants (Colla *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2017). Several studies have been conducted with excellent results to evaluate *Trichoderma* strains *in vitro* with excellent results regarding their capacity as antagonists and growth promoters of some agronomic variables such as root system, plant height, productivity, among other (Pelagio-Flores *et al.*, 2017). However, only a few studies have analyzed the potential effect of these microorganisms on fruit quality or their ability to reduce the indirect effects of phytopathogenic fungi on fruits. Therefore, the objective of the study was to determine the effect of three *Trichoderma* species on tomato growth and quality, when applied alone or confronted with three phytopathogenic fungi.

Three *Trichoderma* species were used: *T. harzianum* (Th) and *T. asperellum* (Ta) that were isolated from apple orchards in Chihuahua, Mexico, and *T. longibrachiatum* (Tl) and a strain isolated from soil in Brazilian soil, along with three phytopathogenic fungi: *Alternaria solani* (As), *Fusarium oxysporum* (Fo) and *Phytophthora infestans* (Pi) were isolated from tomato crops in Mexico. The pathogenicity of phytopathogenic fungi *in planta* and the antagonistic effect of *Trichoderma* species *in vitro* were confirmed by previous studies. Tomato seeds of cv. Merlice were purchased from DeRuiter™ (Monsanto Holland), and *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) pollinator from Koppert Mexico, S.A. de C.V., Querétaro, Mexico. The experiment was conducted in a greenhouse in Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico. The seeds were germinated on 200-cavity trays and then transplanted to black plastic bags containing a mixture of autoclaved substrate prepared using loamy soil: vermiculite (Termolita, S.A. de C.V., Nuevo León, Mexico): peat moss (Lambert Peat Moss Inc., Quebec, Canada) at a 1:1:1 ratio. Fertilizer was applied every 30 days

Brasil y tres hongos fitopatógenos: *Alternaria solani* (As), *Fusarium oxysporum* (Fo) y *Phytophthora infestans* (Pi), aislados de cultivos de jitomate, en México. La patogenicidad *in planta* de los fitopatógenos y el efecto antagonista *in vitro* de las especies de *Trichoderma* se confirmaron con estudios previos. Las semillas de jitomate cv. Merlice, se adquirieron de DeRuiter™ (Monsanto Holland) y los polinizadores *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae), de Koppert México, S.A. de C.V., Querétaro, México. El experimento se realizó en un invernadero en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Las semillas de jitomate se germinaron en charolas de 200 cavidades y luego se trasladaron en bolsas negras de plástico que contenían una mezcla de sustrato autoclaveado, compuesta de suelo franco: vermiculita (Termolita, S.A. de C.V., Nuevo León, México): peat moss (Lambert Peat Moss Inc., Quebec, Canadá) en una proporción 1:1:1. Las plantas se fertilizaron cada 30 días después del trasplante (ddt), durante el ciclo de producción 2016. La polinización se llevó a cabo por una colmena de abejorros *Bombus terrestris*.

Los hongos (antagonistas y fitopatógenos) se crecieron por 5 d en caldo nutritivo (BD Bioxon, Becton Dickinson de México, S.A. de C.V.) y *Phytophthora infestans* en jugo de vegetales V8 (jugo V8, adicionado con CaCO<sub>3</sub> (3 g/L; Sigma-Aldrich). Los cultivos de los microorganismos se mantuvieron a 28 °C por 5 d en agitación constante (180 rpm). Los microorganismos se aplicaron individualmente al sustrato de 150 plántulas a los 8 ddt, bajo un diseño completamente al azar, con 10 repeticiones (plantas) por cada tratamiento. Se aplicaron al sustrato, 3.9-7.8×10<sup>7</sup> conidias del antagonista y 5.8-10.4×10<sup>7</sup> conidias del fitopatógeno. Se usaron 30 plantas para monitorear los efectos de los antagonistas y 30 para patógenos (T2-T7; Cuadro 1), 90 plantas se usaron para las pruebas de confrontación entre antagonistas y patógenos (T8-T16;

after transplanting (ddt) during the 2016 production cycle. Pollination was achieved by a *Bombus terrestris* beehive hive.

Fungi (antagonistic and phytopathogens) were grown for 5 d in a nutrient broth (BD Bioxon, Becton Dickinson de México, S.A. de C.V.), and *Phytophthora infestans* in V8 vegetable juice (V8 juice to which CaCO<sub>3</sub> was added (3 g/L; Sigma-Aldrich). The cultures of the microorganisms were maintained at 28 °C for 5 d in constant shaking (180 rpm). The microorganisms were individually applied to substrate of 150 seedlings at 8 ddt using a completely randomized design with 10 replications (plants) per treatment. Conidia of the antagonist (3.9-7.8×10<sup>7</sup>) and conidia of the phytopathogen (5.8-10.4×10<sup>7</sup>) were inoculated in the substrate. Thirty plants were used to monitor the antagonists effects and 30 plants for the pathogens effects, (T2-T7; Table 1), 90 plants for confrontation tests between antagonists and pathogens (T8-T16; Table 1) and 10 plants without inoculum as a control (T1; Table 1). In the confrontation treatments, the corresponding pathogen was applied at 18 ddt (10 d after inoculating the first antagonists). The levels of antagonists in the substrate were maintained with three inoculum applications at 20-day intervals. The plants were evaluated from April to October in the 2016 production cycle.

Chlorophyll was estimated in 10 leaves per plant, four times every 20 ddt, with a Spad 502DL Plus chlorophyll meter (Konica Minolta Brand, USA). At the end of the production cycle, plant height and weight (fresh and dry), root length and weight (fresh and dry) and stem diameter were evaluated. The number of fruits per plant was also recorded. Tomatoes were harvested at the red ripening stage of physiological maturity and stored at 4 °C for 3 d until they were analyzed. Fruits were evaluated for weight, diameter (polar and equatorial), color, total soluble solids (TSS; °Brix), titratable acidity and

**Cuadro 1. Tratamientos y concentración (conidias/mL) de microorganismos inoculados en el sustrato de plantas de jitomate.**

**Table 1. Treatments and concentration (conidia/mL) of microorganisms inoculated in substrate of tomato plants.**

Código	Tratamiento <sup>x</sup>		conidias/mL de los microorganismos:	
	Antagonistas	Fitopatógenos	Antagonistas	Fitopatógenos
T1	Control	s/f	—	—
T2	<i>Trichoderma asperellum</i> (Ta)	s/f	2.9×10 <sup>6</sup>	—
T3	<i>T. harzianum</i> (Th)	s/f	3.9×10 <sup>6</sup>	—
T4	<i>T. longibrachiatum</i> (Tl)	s/f	5.2×10 <sup>6</sup>	—
T5	s/a	<i>Fusarium oxysporum</i> (Fo)	—	1.3×10 <sup>6</sup>
T6	s/a	<i>Alternaria solani</i> (As)	—	3.9×10 <sup>6</sup>
T7	s/a	<i>Phytophthora infestans</i> (Pi)	—	2.6×10 <sup>6</sup>
<b>Juntos en confrontación (antagonistas vs patógenos)</b>				
T8	<i>T. asperellum</i>	<i>F. oxysporum</i>	2.9×10 <sup>6</sup>	3.9×10 <sup>6</sup>
T9	<i>T. asperellum</i>	<i>A. solani</i>	2.9×10 <sup>6</sup>	2.6×10 <sup>6</sup>
T10	<i>T. asperellum</i>	<i>P. infestans</i>	2.9×10 <sup>6</sup>	1.3×10 <sup>6</sup>
T11	<i>T. harzianum</i>	<i>F. oxysporum</i>	3.9×10 <sup>6</sup>	3.9×10 <sup>6</sup>
T12	<i>T. harzianum</i>	<i>A. solani</i>	3.9×10 <sup>6</sup>	2.6×10 <sup>6</sup>
T13	<i>T. harzianum</i>	<i>P. infestans</i>	3.9×10 <sup>6</sup>	1.3×10 <sup>6</sup>
T14	<i>T. longibrachiatum</i>	<i>F. oxysporum</i>	5.2×10 <sup>6</sup>	3.9×10 <sup>6</sup>
T15	<i>T. longibrachiatum</i>	<i>A. solani</i>	5.2×10 <sup>6</sup>	2.6×10 <sup>6</sup>
T16	<i>T. longibrachiatum</i>	<i>P. infestans</i>	5.2×10 <sup>6</sup>	1.3×10 <sup>6</sup>

<sup>x</sup> s/a: sin antagonistas; s/f: sin fitopatógenos / s/a: without antagonists; s/f: without phytopathogens.

Cuadro 1) y 10 plantas sin inóculo, como testigo (T1; Cuadro 1). En los tratamientos de confrontación se aplicó el patógeno correspondiente a los 18 ddt (10 d después de la primera inoculación de los antagonistas). Los niveles de los antagonistas en el sustrato se mantuvieron con tres aplicaciones de inóculo, a intervalos de 20 d. Las plantas se evaluaron de abril a octubre del ciclo de producción 2016.

La clorofila se estimó en 10 hojas por planta cuatro veces cada 20 ddt, usando un medidor de clorofila Spad 502DL Plus (Konica Minolta Brand, EUA). Al final del ciclo de producción, se evaluó la altura y peso (fresco y seco) de la planta, longitud y peso (fresco y seco) de raíz y diámetro de tallo. También se registró el número de frutos producido por planta. Los jitomates se cosecharon en el estado rojo de madurez fisiológica y se mantuvieron por 3 d a 4 °C hasta su análisis. Los frutos se

firmness. Color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) was measured using a Minolta CR300 colorimeter. The °Brix values were determined using a PAL-1 digital refractometer (Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan). The titratable acidity was expressed as the % of citric acid (NMX-F-102-S-1978) by taking 50 mL of tomato pulp diluted 25 times and tritrated with 0.1 N of NaOH, using 0.5% phenolphthalein as a color indicator. Firmness was evaluated using 50 tomatoes of each treatment, recording the maximum force (N), a puncture test was conducted using a Ta-XTPlus texture analyzer (Surrey, UK), starting at 30 cm/min and 15 cm distance. For the bromatological analysis, mashed tomato subsamples (from 1 to 10 g, depending on the parameter measured) were prepared using 20 tomatoes randomly taken from each treatment in order to measure moisture, ashes, protein ( $N \times 6.25$ ), fat and total fiber, according to

evaluaron para peso, diámetro (polar y ecuatorial), color, sólidos solubles totales (SST; °Brix), acidez titulable y firmeza. El color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) se midió usando un colorímetro Minolta CR300. Los valores de °Brix se determinaron usando un refractómetro digital PAL-1 (Atago Co. Ltd., Tokyo, Japón). La acidez titulable se expresó como % de ácido cítrico (NMX-F-102-S-1978), tomando 50 mL de pulpa de jitomate diluída 25 veces, titulada con 0.1 N de NaOH, usando fenolftaleína al 0.5% como indicador de color. Para la firmeza, se evaluaron 50 frutos de cada tratamiento, registrando la fuerza máxima (N) mediante una prueba de punción, usando un analizador de textura Ta-XTPlus (Surrey, RU), iniciando a 30 cm/min, a una distancia de 15 cm. Para el análisis bromatológico, se obtuvieron submuestras de puré (de 1 a 10 g, dependiendo de la determinación) a partir de 20 frutos tomados al azar de cada tratamiento y se sometieron a mediciones de humedad, cenizas, proteína ( $N \times 6.25$ ), grasas y fibras totales, de acuerdo con los métodos oficiales (925.10, 923.03, 991.20 y 920.35) de la AOAC (2002).

El experimento constó de 16 tratamientos (Cuadro 1), cada uno con 10 plantas de jitomate, distribuidos mediante un diseño completamente al azar. Los datos fueron analizados usando el software SAS versión 9.0 para el análisis de varianza (ANVA) y la separación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ). Las mediciones en frutos, se determinaron por triplicado y los datos obtenidos se sometieron a un ANVA y una prueba de separación de medias de Tukey ( $p=0.05$ ), ambos se calcularon por separado.

Los tres aislados de *Trichoderma* promovieron el crecimiento vegetal en al menos una de las variables de respuesta evaluadas (Figuras 1 y 2), obteniendo el mayor peso fresco y seco en raíz (210.9 a 264.5 y 47.5 a 52.4 g, respectivamente) y longitud de raíz (Figura 1). *Trichoderma longibrachiatum*,

the official methods of analysis (925.10, 923.03, 991.20 and 920.35) of AOAC (2002).

The experiment included 16 treatments (Table 1) with 10 tomato plants each, arranged in a completely randomized design. Data were analyzed using the SAS version 9.0 program and then subjected to an analysis of variance (ANOVA) and media separation using Tukey's test ( $p=0.05$ ). Fruit measurements were taken by triplicate, and the obtained data were subjected to an ANOVA and media separation using Tukey's test ( $p=0.05$ ). Both were individually calculated.

The three *Trichoderma* isolates promoted plant growth in at least one of the evaluated response variables (Figures 1 and 2) and increased root fresh and dry weight (210.9 to 264.5, and 47.5 to 52.4 g, respectively) and root length (Figure 1). *Trichoderma longibrachiatum* showed the highest values for these variables and a significant increase in height (1.56 m, Figure 1) of 20 cm more than that of the controls. These results were in agreement with the existing literature (Pelagio-Flores *et al.*, 2017). These positive effects confirm *Trichoderma*'s capacity as a plant growth and root biomass promoter, which could be due to its capacity to solubilize phosphates, micronutrients and mineral cations important for plants metabolism (Tucci *et al.*, 2011). In contrast, when inoculated with *F. oxysporum*, *P. infestans* and *A. solani*, most of the phytopathogens exhibited less response variability (Figure 1), especially in plant height, since the plants were 14, 27 and 33 cm shorter than the control plants and also had shorter roots (28, 27 and 29 cm, respectively; Figure 1), while *Trichoderma* strains produced a positive effect on the stem diameter and enhanced chlorophyll accumulation in leaves. Like the rest of the treatments, except for those where *As* and *TlvsPi* were used, *Trichoderma* strains significantly increased yield (Figure 2). *Trichoderma longibrachitum* produced the highest

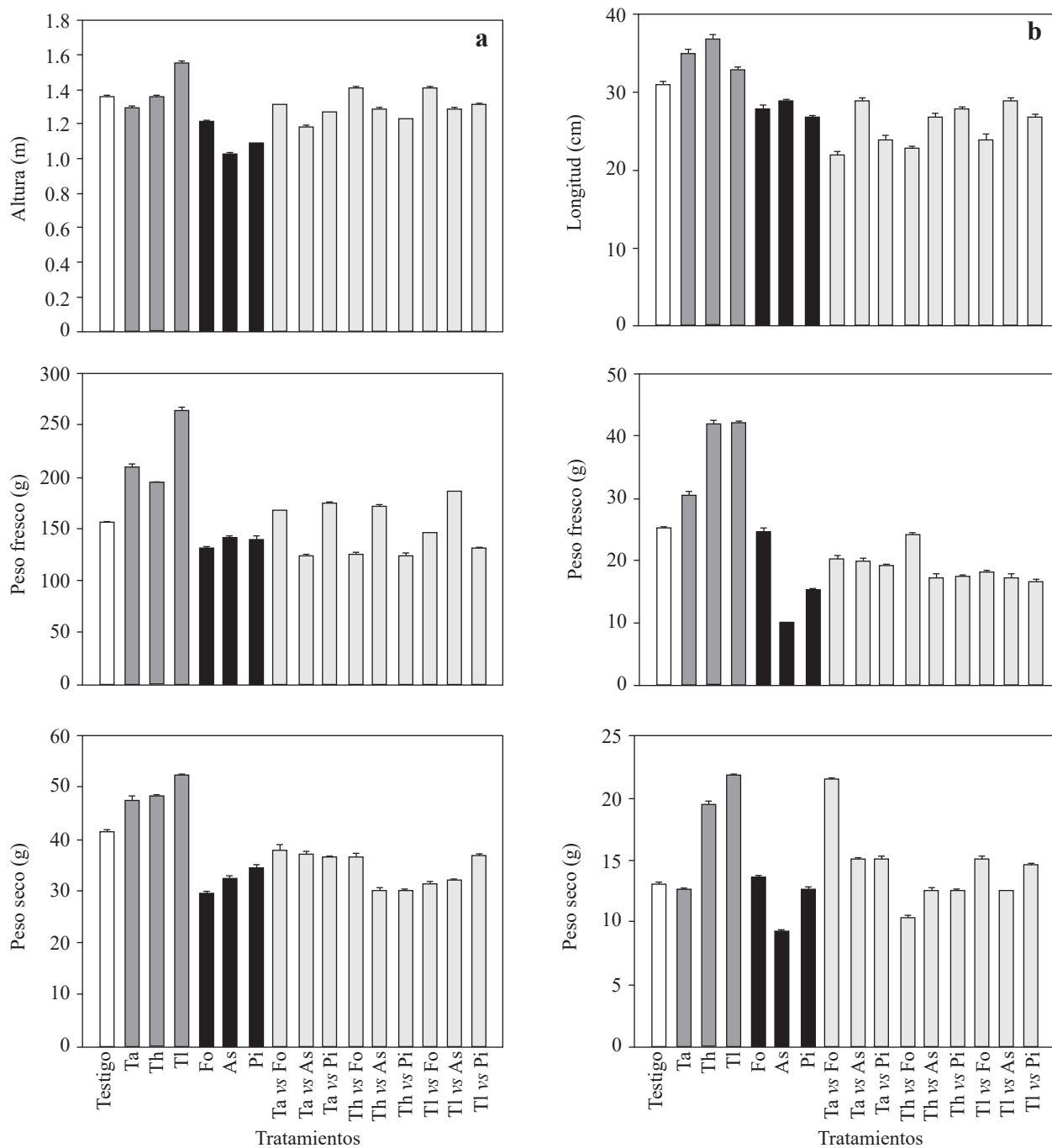
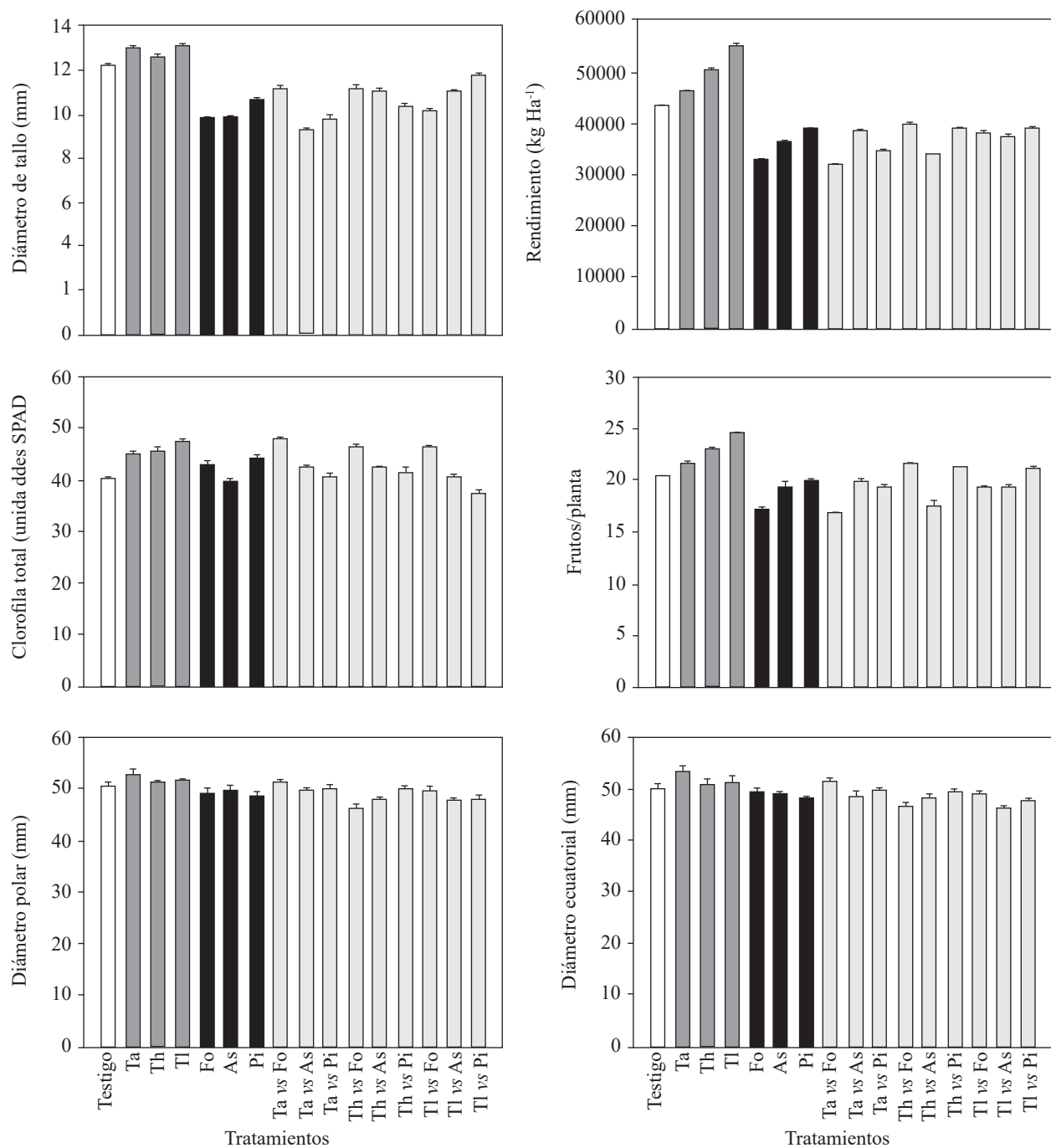


Figura 1. Variables de crecimiento (altura, longitud, peso fresco y seco) estimadas en plantas de jitomate cv. Merlice, influenciadas por la inoculación de especies de *Trichoderma* y microorganismos fitopatógenos solos y juntos en confrontación: a) plantas; b) raíces. Ta: *T. asperellum*; Th: *T. harzianum*, Tl: *T. longibrachiatum*, Fo: *F. oxysporum*, Pi: *P. infestans*, As: *A. solani*. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error estándar.

Figure 1. Growth variables (height, length, fresh and dry weight) estimated in cv. Merlice tomato plants influenced by inoculation of *Trichoderma* species and phytopathogenic microorganisms, alone and together in confrontation: a) plants; b) roots. Ta: *T. asperellum*; Th: *T. harzianum*, Tl: *T. longibrachiatum*, Fo: *F. oxysporum*, Pi: *P. infestans*, As: *A. solani*. Data are shown as means  $\pm$  standard error.



**Figura 2.** Variables agronómicas (diámetro de tallo, clorofila total, rendimiento, número de frutos) y diámetro (polar y ecuatorial) de frutos de plantas de jitomate cv. Merlice influenciados por la inoculación de especies de *Trichoderma* y microorganismos fitopatógenos solos y juntos en confrontación. Ta: *T. asperellum*; Th: *T. harzianum*, Tl: *T. longibrachiatum*, Fo: *F. oxysporum*, Pi: *P. infestans*, As: *A. solani*. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error estándar.

**Figure 2.** Agronomic variables (stem diameter, total chlorophyll, yield, number of tomatoes) and diameter (polar and equatorial) of cv. Merlice tomato fruits influenced by inoculation of *Trichoderma* species and phytopathogenic microorganisms, alone and together in confrontation. Ta: *T. asperellum*; Th: *T. harzianum*, Tl: *T. longibrachiatum*, Fo: *F. oxysporum*, Pi: *P. infestans*, As: *A. solani*. Data are shown as means  $\pm$  standard error.



mostró los valores más altos en estas variables y un incremento significativo en la altura de la planta (1.56 m, Figura 1), con 20 cm más que las plantas testigo. Dichos resultados son consistentes con la literatura existente (Pelagio-Flores *et al.*, 2017). Estos efectos positivos, reafirman la capacidad de *Trichoderma* como promotor del crecimiento vegetal y biomasa radicular, lo cual pudiera deberse a su capacidad para solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes minerales útiles para el metabolismo de las plantas (Tucci *et al.*, 2011). Contrariamente, la mayoría de los fitopatógenos redujeron estas variables de respuesta (Figura 1). Principalmente en altura de la planta, siendo 14, 27 y 33 cm más bajos que las plantas testigo, respectivamente, al ser inoculados con *F. oxysporum*, *P. infestans* y *A. solani* y con las raíces más cortas (28, 27 y 29 cm, respectivamente; Figura 1). Las cepas de *Trichoderma* tuvieron un efecto positivo en el diámetro de tallo y promovieron la acumulación de clorofila en hojas. Al igual que el resto de los tratamientos, excepto para los tratamientos con *As* y *ThvsPi*. También, las cepas de *Trichoderma* incrementaron significativamente el rendimiento (Figura 2). *Trichoderma longibrachitum* mostró el mayor rendimiento con 240 g más por planta, que las plantas testigo. Esto pudo deberse a la capacidad que tiene este género para producir fitohormonas tales como auxinas, citocininas y giberelinas (Domínguez *et al.*, 2016). En particular el ácido indolacético (AIA) que estimula el crecimiento vegetal e incrementa el crecimiento radicular (Tucci *et al.*, 2011). Molla *et al.* (2012) demostraron que la aplicación de *Trichoderma* en plantas de jitomate, aumentó el rendimiento de frutos de 3 a 11%, resultados similares a los encontrados en nuestro estudio (8 a 27%) y consistentes con los reportados por Tucci *et al.* (2011) y Domínguez *et al.* (2016). En campo, se ha documentado el incremento de la productividad de cultivos hasta en 300% con la aplicación de *Trichoderma* (Khan *et*

yield with 240 g more per plant than the control plants. This could be due to the capacity of the genus to produce phytohormones such as auxins, cytokinins and gibberellins (Domínguez *et al.*, 2016), specially indoleacetic acid (IAA) that stimulates plant growth and increases root growth (Tucci *et al.*, 2011). Molla *et al.* (2012) demonstrated that when *Trichoderma* was inoculated in tomato plants, fruit yield increased 3-11%. These results are similar to the results of our study (8 to 27%) and are in agreement with those reported by Tucci *et al.* (2011) and Domínguez *et al.* (2016). In the field, crop productivity increases up to 300% have been documented when using *Trichoderma* (Khan *et al.*, 2017). The yield of plants treated with *F. oxysporum* and *A. solani* alone was significantly lower compared with that of the controls, except for *P. infestans*, and ranged between 33,000 and 39,000 kg Ha<sup>-1</sup>, where plants treated with *F. oxysporum* had the lowest yields (200 g less than the control; Figure 2). For the rest of treatments (confrontations), the yields were lower than those of the control plants, except for *TavsFo*, *ThvsPi* and *ThvsPi* treatments, but varied among them (Figure 2). Fruits from plants treated with *Trichoderma* strains were larger than those from the plants of rest of the treatments (Figure 2). Plants inoculated with *T. asperellum* produced larger fruits. However, in some confrontation treatments no difference in size with respect to the control was observed. In contrast, plants inoculated with the pathogens alone and together in confrontation with *Trichoderma* strains produced small fruits. This could be due to a poor assimilation of nutrients as a result of the disease induced by the pathogens. On the other hand, the low density of the pathogen used in our study may have reduced the protective effect against pathogens on the tomato plants (Sharma and Gothwal, 2017).

al., 2017). El rendimiento en plantas tratadas con los fitopatógenos *F. oxysporum* y *A. solani* solos, fue significativamente bajo en comparación con los testigos, excepto *P. infestans*, fluctuando de 33,000 a 39,000 kg Ha<sup>-1</sup>, donde las plantas tratadas con *F. oxysporum* mostraron los rendimientos más bajos (200 g menos que el testigo; Figura 2). En el resto de los tratamientos (confrontaciones), los rendimientos fueron menores a las plantas testigo, excepto en los tratamientos *TavsFo*, *ThvsPi* y *TlvsPi*, pero variables entre sí (Figura 2). El tamaño de los frutos de plantas tratadas con las cepas de *Trichoderma* fue mayor que el resto de los tratamientos (Figura 2). Las plantas inoculadas con *T. asperellum* produjeron los frutos más grandes. Sin embargo, en algunos tratamientos de confrontación, no se observó diferencia en tamaño con respecto al testigo. En contraste, las plantas inoculadas con los patógenos solos y juntos en confrontación con las cepas de *Trichoderma*, produjeron frutos pequeños. Esto pudo deberse a una deficiente asimilación de nutrientes, como consecuencia de la enfermedad inducida por dichos patógenos. Por otra parte, las densidades bajas de antagonistas usadas en nuestro estudio, pudieron ser la causa del reducido efecto de protección de las plantas de jitomate frente a los patógenos (Sharma y Gothwal, 2017).

En general, los SST no mostraron una tendencia clara, donde los frutos cosechados de plantas inoculadas con cepas de *Trichoderma* mostraron el menor contenido de °Brix (3.5-4.0). Contrariamente, los frutos de plantas inoculadas con el patógeno *A. solani*, obtuvieron mayor contenido de SST (Cuadro 2), posiblemente debido a una mayor velocidad de hidrólisis de carbohidratos, lo cual puede tener implicaciones para los jitomates en su vida de anaquel en el mercado (Tigist *et al.*, 2013). Mientras que el incremento de la acidez titulable en frutos de plantas tratadas con *Trichoderma*, pudo deberse a su madurez y a la variabilidad en el peso, ya que

Overall, the TSS did not show a clear tendency, where the fruits harvested from plants inoculated with *Trichoderma* strains had the lowest °Brix content (3.5-4.0). By contrast, fruits of plants inoculated with *A. solani* had a higher TSS content (Table 2), possibly due to a faster rate of carbohydrate hydrolysis, a fact that may have implications for shelf life of tomatoes in the market (Tigist *et al.*, 2013), while the increase in titratable acidity of fruits from plants treated with *Trichoderma* may be due to maturity and weight variability, because fruits larger in size tend to become more acid (Tigist *et al.*, 2013). Fruit firmness ranged from 20.9 to 51.6 N. The application of *T. harzianum* increased fruit firmness 1.2 times compared with that of the control plants, which can be attributed to the induction of phytohormones biosynthesis when the plant's defense mechanisms were activated, mainly ethylene, a chemical compound responsible for the expression of plants maturity genes (Shafique *et al.*, 2016; Table 2). According to Colla *et al.* (2015), firm fruits are more resistant to microorganisms' attacks. In our study, the evaluated microorganisms did not modify the color of the fruit (Table 2).

The bromatological composition of the studied fruits was within the parameters reported in the literature (Pinela *et al.*, 2012). Fruits moisture content ranged from 96.3 to 98.9 %. Moisture of tomatoes from plants treated with *Trichoderma* was similar to that of the control. However, fruits from plants inoculated with the pathogens alone and in confrontation showed an increase in moisture content (Table 3). The high level of moisture content in plants inoculated with the phytopathogens alone and in confrontation may be due to water stress induced by the pathogens, which may have inhibited both plants and fruits normal transpiration (Yadeta and Thomma, 2013). The protein content ranged from 0.33 to 0.72 % (Table 3). Tomatoes from plants treated with *Trichoderma*

**Cuadro 2. Sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (% ácido cítrico), firmeza y color de frutos por los parámetros del Sistema CIELAB *L*, *a* y *b* de frutos de jitomate de plantas cv. Merlice influenciados por la inoculación de especies de *Trichoderma* y microorganismos fitopatógenos solos y juntos en confrontación.**

**Table 2. Total soluble solids (°Brix), titratable acidity (citric acid %), firmness and fruit color indicated by the CIELAB System parameters, *L*, *a* and *b* of fruits of cv. Merlice tomato plants, influenced by inoculation of *Trichoderma* species and phytopathogenic microorganisms, alone and together in confrontation.**

Código	Tratamiento	<sup>x</sup> SST (°Brix)	Acidez Titulable	Firmeza (N)	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
T1	Testigo	4.4 ± 0.1 <sup>abc</sup>	0.34 ± 0.02 <sup>ab</sup>	37.4 ± 0.4 <sup>abcde</sup>	49.2 ± 1.2 <sup>a</sup>	14.4 ± 0.9 <sup>ab</sup>	19.2 ± 0.9 <sup>ab</sup>
T2	<i>T. asperellum</i>	3.5 ± 0.2 <sup>c</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>	28.2 ± 0.3 <sup>bcde</sup>	48.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	15.2 ± 0.4 <sup>a</sup>	18.8 ± 1.1 <sup>ab</sup>
T3	<i>T. harzianum</i>	3.7 ± 0.2 <sup>bc</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>a</sup>	45.2 ± 0.4 <sup>ab</sup>	49.4 ± 0.3 <sup>a</sup>	14.5 ± 0.7 <sup>ab</sup>	21.4 ± 0.8 <sup>a</sup>
T4	<i>T. longibrachiatum</i>	4.0 ± 0.2 <sup>abc</sup>	0.40 ± 0.02 <sup>a</sup>	20.9 ± 0.4 <sup>c</sup>	50.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	14.7 ± 0.5 <sup>ab</sup>	21.3 ± 1.3 <sup>a</sup>
T5	<i>F. oxysporum</i>	4.3 ± 0.3 <sup>abc</sup>	0.24 ± 0.002 <sup>b</sup>	23.3 ± 0.2 <sup>cde</sup>	48.9 ± 0.8 <sup>a</sup>	14.6 ± 0.7 <sup>ab</sup>	20.2 ± 1.3 <sup>a</sup>
T6	<i>A. solani</i>	4.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>a</sup>	36.2 ± 0.3 <sup>abcde</sup>	50.7 ± 0.7 <sup>a</sup>	15.0 ± 0.9 <sup>ab</sup>	22.5 ± 1.0 <sup>a</sup>
T7	<i>P. infestans</i>	4.5 ± 0.3 <sup>ab</sup>	0.32 ± 0.04 <sup>ab</sup>	51.6 ± 1.4 <sup>a</sup>	49.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	14.5 ± 0.5 <sup>ab</sup>	21.1 ± 1.5 <sup>a</sup>
<b>Juntos en confrontación (antagonistas vs patógenos)</b>							
T8	<i>T. asperellum</i> vs <i>F. oxysporum</i>	4.1 ± 0.3 <sup>abc</sup>	0.32 ± 0.04 <sup>ab</sup>	50.4 ± 1.2 <sup>a</sup>	49.8 ± 0.9 <sup>a</sup>	13.5 ± 1.4 <sup>ab</sup>	19.0 ± 0.9 <sup>ab</sup>
T9	<i>T. asperellum</i> vs <i>A. solani</i>	4.5 ± 0.4 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.04 <sup>ab</sup>	44.7 ± 0.3 <sup>ab</sup>	50.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.6 <sup>ab</sup>	21.0 ± 0.7 <sup>a</sup>
T10	<i>T. asperellum</i> vs <i>P. infestans</i>	4.2 ± 0.3 <sup>abc</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>ab</sup>	39.2 ± 0.2 <sup>abcd</sup>	49.3 ± 1.1 <sup>a</sup>	14.5 ± 1.2 <sup>ab</sup>	19.8 ± 1.4 <sup>ab</sup>
T11	<i>T. harzianum</i> vs <i>F. oxysporum</i>	4.2 ± 0.3 <sup>abc</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>ab</sup>	20.4 ± 0.1 <sup>c</sup>	49.5 ± 1.1 <sup>a</sup>	14.1 ± 1.0 <sup>ab</sup>	21.2 ± 1.2 <sup>a</sup>
T12	<i>T. harzianum</i> vs <i>A. solani</i>	4.4 ± 0.4 <sup>abc</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>a</sup>	37.0 ± 0.3 <sup>abcde</sup>	46.9 ± 1.0 <sup>ab</sup>	15.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	18.9 ± 1.8 <sup>ab</sup>
T13	<i>T. harzianum</i> vs <i>P. infestans</i>	4.1 ± 0.5 <sup>abc</sup>	0.34 ± 0.03 <sup>ab</sup>	29.1 ± 0.4 <sup>bcde</sup>	50.1 ± 1.2 <sup>a</sup>	15.6 ± 1.6 <sup>a</sup>	21.4 ± 1.2 <sup>a</sup>
T14	<i>T. longibrachiatum</i> vs <i>F. oxysporum</i>	4.5 ± 0.3 <sup>ab</sup>	0.31 ± 0.03 <sup>ab</sup>	21.6 ± 0.1 <sup>cde</sup>	49.8 ± 1.0 <sup>a</sup>	13.2 ± 0.6 <sup>bc</sup>	21.6 ± 1.1 <sup>a</sup>
T15	<i>T. longibrachiatum</i> vs <i>A. solani</i>	3.9 ± 0.2 <sup>abc</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>b</sup>	40.5 ± 0.7 <sup>abc</sup>	40.8 ± 1.2 <sup>b</sup>	11.4 ± 1.0 <sup>c</sup>	17.8 ± 1.5 <sup>b</sup>
T16	<i>T. longibrachiatum</i> vs <i>P. infestans</i>	4.4 ± 0.1 <sup>abc</sup>	0.39 ± 0.008 <sup>a</sup>	32.5 ± 0.3 <sup>bcde</sup>	50.6 ± 1.8 <sup>a</sup>	14.7 ± 1.4 <sup>ab</sup>	21.8 ± 0.7 <sup>a</sup>

<sup>x</sup>Medias con la misma literal entre columnas, son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ). ± Error estándar / Means with the same literal between columns are statistically equal, according to Tukey's test ( $p=0.05$ ). ± standard error.

frutos de mayor tamaño, tienden a tener una mayor acidez (Tigist *et al.*, 2013). La firmeza en frutos fue variable, oscilando entre 20.9 y 51.6 N. La aplicación de *T. harzianum* incrementó la firmeza de los frutos por 1.2 veces, comparado con aquellos de las plantas testigo, lo que puede atribuirse a la inducción de la biosíntesis de fitohormonas, mediante la activación de los mecanismos de defensa de la planta, principalmente etileno, responsable de la expresión de genes de maduración en plantas (Shafique *et al.*, 2016; Cuadro 2). De acuerdo con Colla *et al.* (2015), los frutos firmes son más resistentes al ataque de microorganismos. En nuestro estudio, el color de los frutos no se vio modificado por los microorganismos evaluados (Cuadro 2).

La composición bromatológica de los frutos de nuestro estudio, se encuentra dentro de lo reportado

and the pathogens alone had higher protein content than those of the control plants. The tomato fat content ranged from 0.03 to 0.15 % (Table 3). This variable was lower in fruits from plants treated with *Trichoderma* and higher in fruits from plants treated with *F. oxysporum*. Regarding raw fiber, fruits from all the treatments had a similar content (1.2 a 1.8), with no significant differences (Table 3). Pinela *et al.* (2012) reported an ash content higher than the content found in our study, where 0.38 was the highest value, and a lower fat content ranging from 0.03 to 0.17 %, values that are similar to those of our study. The decrease of agronomic variables in plants and fruit quality parameters caused by the phytopathogens may be largely attributed to the deficient assimilation of nutrients by the diseased plants (Pusztahelyi *et al.*, 2015).

en la literatura (Pinela *et al.*, 2012). El contenido de humedad en los frutos fluctuó de 96.3 a 98.9 %. La humedad contenida en jitomates de plantas tratadas con *Trichoderma*, fue similar al testigo. Sin embargo, en frutos de plantas inoculadas con los patógenos solos y en confrontación, el contenido de humedad se vio incrementada (Cuadro 3). El alto contenido de humedad en plantas inoculadas con fitopatógenos solos y en confrontación pudo deberse al estrés hídrico en las plantas inducido por estos patógenos, que pudieron inhibir la transpiración normal de las plantas y frutos (Yadeta y Thomma, 2013). El contenido de proteína fluctuó de 0.33 a 0.72 % (Cuadro 3). Los jitomates de plantas tratadas con *Trichoderma* y patógenos solos, contenían más proteína que aquellos de las plantas testigo. El

The *Trichoderma* species used in this study had a positive effect on tomato plants because they improved height, biomass, chlorophyll, yield and fruit quality variables under greenhouse conditions. Based on these results, the evaluated *Trichoderma* strains would be a good alternative to promote plant growth and improve fruit quality attributes in horticultural crops.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The author María Fernanda Ruiz Cisneros thanks the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) for the scholarship awarded for her Doctorate in Science studies.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

**Cuadro 3. Análisis bromatológico de jitomates cv. Merlice influenciados por la inoculación de especies de *Trichoderma* y microorganismos fitopatógenos solos y juntos en confrontación.**

**Table 3. Bromatological analysis of cv. Merlice tomatoes influenced by inoculation of *Trichoderma* species and phytopathogenic microorganisms, alone and together in confrontation.**

| Código                                                     | Tratamiento                                      | Humedad (%)              | Composición bromatológica (g/100 g pf) <sup>x</sup> |                             |                             |                         |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                                                            |                                                  |                          | Ceniza (%)                                          | Proteína (%)                | Grasa (Lípidos) (%)         | Fibra (%)               |
| T1                                                         | Testigo                                          | 96.8 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 0.09 ± 0.01 <sup>b</sup>                            | 0.35 ± 0.09 <sup>d</sup>    | 0.08 ± 0.001 <sup>bcd</sup> | 1.2 ± 0.01 <sup>a</sup> |
| T2                                                         | <i>T. asperellum</i>                             | 96.7 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 0.03 ± 0.004 <sup>c</sup>                           | 0.43 ± 0.05 <sup>cd</sup>   | 0.06 ± 0.002 <sup>bcd</sup> | 1.6 ± 0.08 <sup>a</sup> |
| T3                                                         | <i>T. harzianum</i>                              | 96.3 ± 0.2 <sup>b</sup>  | 0.02 ± 0.004 <sup>c</sup>                           | 0.60 ± 0.1 <sup>abc</sup>   | 0.05 ± 0.008 <sup>bcd</sup> | 1.3 ± 0.06 <sup>a</sup> |
| T4                                                         | <i>T. longibrachiatum</i>                        | 96.8 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 0.03 ± 0.003 <sup>c</sup>                           | 0.44 ± 0.07 <sup>cd</sup>   | 0.03 ± 0.005 <sup>d</sup>   | 1.6 ± 0.08 <sup>a</sup> |
| T5                                                         | <i>F. oxysporum</i>                              | 97.1 ± 0.3 <sup>ab</sup> | 0.38 ± 0.06 <sup>a</sup>                            | 0.70 ± 0.15 <sup>ab</sup>   | 0.15 ± 0.002 <sup>a</sup>   | 1.6 ± 0.05 <sup>a</sup> |
| T6                                                         | <i>A. solani</i>                                 | 97.7 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 0.08 ± 0.01 <sup>bc</sup>                           | 0.33 ± 0.02 <sup>d</sup>    | 0.04 ± 0.001 <sup>cd</sup>  | 1.8 ± 0.02 <sup>a</sup> |
| T7                                                         | <i>P. infestans</i>                              | 97.4 ± 0.2 <sup>ab</sup> | 0.10 ± 0.03 <sup>b</sup>                            | 0.72 ± 0.06 <sup>a</sup>    | 0.06 ± 0.001 <sup>bcd</sup> | 1.3 ± 0.04 <sup>a</sup> |
| <b>Juntos en confrontación (antagonistas vs patógenos)</b> |                                                  |                          |                                                     |                             |                             |                         |
| T8                                                         | <i>T. asperellum</i> vs <i>F. oxysporum</i>      | 98.5 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.002 <sup>c</sup>                           | 0.41 ± 0.08 <sup>cd</sup>   | 0.05 ± 0.003 <sup>bcd</sup> | 1.5 ± 0.09 <sup>a</sup> |
| T9                                                         | <i>T. asperellum</i> vs <i>A. solani</i>         | 98.5 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.003 <sup>c</sup>                           | 0.34 ± 0.08 <sup>d</sup>    | 0.09 ± 0.009 <sup>b</sup>   | 1.3 ± 0.03 <sup>a</sup> |
| T10                                                        | <i>T. asperellum</i> vs <i>P. infestans</i>      | 98.6 ± 0.5 <sup>a</sup>  | 0.04 ± 0.006 <sup>c</sup>                           | 0.38 ± 0.1 <sup>cd</sup>    | 0.04 ± 0.002 <sup>cd</sup>  | 1.4 ± 0.08 <sup>a</sup> |
| T11                                                        | <i>T. harzianum</i> vs <i>F. oxysporum</i>       | 98.4 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.004 <sup>c</sup>                           | 0.43 ± 0.02 <sup>cd</sup>   | 0.07 ± 0.001 <sup>bcd</sup> | 1.7 ± 0.09 <sup>a</sup> |
| T12                                                        | <i>T. harzianum</i> vs <i>A. solani</i>          | 98.6 ± 0.8 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.003 <sup>c</sup>                           | 0.42 ± 0.12 <sup>cd</sup>   | 0.06 ± 0.002 <sup>bcd</sup> | 1.8 ± 0.04 <sup>a</sup> |
| T13                                                        | <i>T. harzianum</i> vs <i>P. infestans</i>       | 98.7 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.005 <sup>c</sup>                           | 0.49 ± 0.08 <sup>bcd</sup>  | 0.05 ± 0.002 <sup>bcd</sup> | 1.6 ± 0.06 <sup>a</sup> |
| T14                                                        | <i>T. longibrachiatum</i> vs <i>F. oxysporum</i> | 98.9 ± 0.0 <sup>a</sup>  | 0.02 ± 0.008 <sup>c</sup>                           | 0.39 ± 0.06 <sup>cd</sup>   | 0.08 ± 0.002 <sup>bc</sup>  | 1.7 ± 0.03 <sup>a</sup> |
| T15                                                        | <i>T. longibrachiatum</i> vs <i>A. solani</i>    | 98.7 ± 0.0 <sup>a</sup>  | 0.04 ± 0.001 <sup>c</sup>                           | 0.42 ± 0.02 <sup>cd</sup>   | 0.06 ± 0.001 <sup>bcd</sup> | 1.4 ± 0.03 <sup>a</sup> |
| T16                                                        | <i>T. longibrachiatum</i> vs <i>P. infestans</i> | 98.2 ± 0.3 <sup>a</sup>  | 0.03 ± 0.004 <sup>c</sup>                           | 0.55 ± 0.12 <sup>abcd</sup> | 0.04 ± 0.001 <sup>cd</sup>  | 1.3 ± 0.08 <sup>a</sup> |

<sup>x</sup>pf: Peso fresco / <sup>x</sup>pf: Fresh weight. Medias con la misma literal entre columnas, son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ). ± Error estándar / Means with the same letter between columns are statistically equal, according to Tukey's test ( $p=0.05$ ). ± Standard error.

contenido de grasa en los jitomates fluctuó de 0.03 a 0.15 % (Cuadro 3). Esta variable fue menor en frutos de plantas tratadas con *Trichoderma* y mayor en los frutos obtenidos de plantas tratadas con *F. oxysporum*. En cuanto a fibra cruda, los frutos de todos los tratamientos mostraron un contenido similar (1.2 a 1.8) sin diferencia significativa (Cuadro 3). Pinela *et al.* (2012), reportaron un contenido de cenizas superior a los encontrados en nuestro estudio donde el valor más alto fue de 0.38 y un bajo contenido de grasa fluctuando de 0.03 a 0.17 %, similares a los de nuestro estudio. La reducción en gran medida de las variables agronómicas evaluadas en las plantas y de los parámetros de calidad del fruto debido a los fitopatógenos, podría atribuirse a la deficiente asimilación de nutrientes por parte de las plantas enfermas (Pusztahelyi *et al.*, 2015).

Las especies de *Trichoderma* empleadas en este trabajo, tuvieron un efecto positivo en plantas de jitomate al mejorar las variables de altura, biomasa, clorofila, rendimiento y calidad del fruto en condiciones de invernadero. Con base en estos resultados, las cepas de *Trichoderma* evaluadas pueden ser una buena alternativa para usarse como promotores del crecimiento vegetal y mejoradores de los atributos de calidad del fruto en cultivos hortícolas.

#### AGRADECIMIENTOS

La autora María Fernanda Ruiz Cisneros, agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para sus estudios de Doctorado en Ciencias.

#### LITERATURA CITADA

AOAC. 2002. Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemists. 17a Ed. Washington, D.C., USA.

Colla G, Roupael Y, Di Mattia E, El-Nakhel C and Cardarelli M. 2015. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:1706-1715. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6875>

Domínguez S, Rubio MB, Cardoza RE, Gutiérrez S, Nicolás C, Bettioli W, Hermosa R and Monte E. 2016. Nitrogen Metabolism and growth enhancement in tomato plants challenged with *Trichoderma harzianum* expressing the *Aspergillus nidulans* acetamidase *amdS* gene. *Frontiers in Microbiology* 7:1182. <https://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2016.01182>

Khan MY, Haque MM, Molla AH, Rahman MM and Alam MZ. 2017. Antioxidant compounds and minerals in tomatoes by *Trichoderma*-enriched biofertilizer and their relationship with the soil environments. *Journal of Integrative Agriculture* 16:691-703. [https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61350-3](https://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61350-3)

Molla AH, Haque MM, Haque MA and Ilias GNM. 2012. *Trichoderma*-enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer use. *Agricultural Research* 1:265-272. <https://dx.doi.org/10.1007/s40003-012-0025-7>

NMX-F-102-S-1978. Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. Norma mexicana. Dirección general de normas. Disponible en línea: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-102-S-1978.PDF>

Pelagio-Flores R, Esparza-Reynoso S, Garnica-Vergara A, López-Bucio J and Herrera-Estrella A. 2017. *Trichoderma*-Induced acidification is an early trigger for changes in *Arabidopsis* root growth and determines fungal phytostimulation. *Frontiers in Plant Science* 8:822. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00822>

Pinela J, Barros L, Carvalho AM and Ferreira ICFR. 2012. Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology* 50:829-834. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2011.11.045>

Pusztahelyi T, Holb IJ and Pócsi I. 2015. Secondary metabolites in fungus-plant interactions. *Frontiers in Plant Science* 6:573. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00573>

Shafique HA, Sultana V, Ehteshamul-Haque S and Athar M. 2016. Management of soil-borne diseases of organic vegetables. *Journal of Plant Protection Research* 56:221-230. <https://dx.doi.org/10.1515/jppr-2016-0043>

Sharma PK and Gothwal R. 2017. *Trichoderma*: A potent fungus as biological control agent. Pp:113-125. In: Singh J., Seneviratne G. (eds) *Agro-Environmental Sustainability*. Springer, Cham. [https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2\\_6](https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-49724-2_6)

Tigist M, Workneh TS and Woldetsadik K. 2013. Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology* 50:477-486. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0378-0>

Tucci M, Ruocco M, de Masi L, de Palma M and Lorito M. 2011. The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology* 12:341-354. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00674.x>

Yadeta KA and Thomma BP. 2013. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. *Frontiers in Plant Science* 4:1-12. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00097>