

Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México

O. Romero-Arenas¹, J.L. Amaro^{1,*}, M.A. Damián¹, M.A. Valencia de Ita¹, A. Rivera² y M. Huerta³

¹ Centro de Agroecología, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP); Edificio VAL 1, Km 1,7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, 72960, Puebla, México. E-mail: biol.ora@hotmail.com, farpetch@hotmail.com, damianhuato@hotmail.com, mavi1179@outlook.es

² Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, ICUAP-BUAP; Edificio 103-J, Ciudad Universitaria. 72570, Puebla, México. E-mail: jart70@yahoo.com

³ Departamento de Desarrollo Sustentable ICUAP-BUAP; Edificio IC 2, Ciudad Universitaria. 72570, Puebla, México. E-mail: batprofessor@hotmail.com

Resumen

Los problemas y limitaciones del control de enfermedades fúngicas mediante el uso de fungicidas hacen que el control biológico de hongos fitopatógenos se presente como un método de control alternativo en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) en invernadero, la cual está limitada por la incidencia del oomycete *Phytophthora capsici*, siendo una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de cuatro bio-fungicidas elaborados a base de cepas nativas del género *Trichoderma* contra *P. capsici* en la producción de tomate, denominado en la región "jitomate" variedad Ramses, en condiciones de invernadero en sistema de camas. El bio-fungicida a base de *T. harzianum* presentó los mejores resultados promedios con una supervivencia de 76,4% y un rendimiento promedio de 27% mayor al grupo control. Todos los tratamientos con biopreparados presentaron mayor altura de la planta y biomasa final que el tratamiento control. Así, el tratamiento control mostró una mortalidad del 54%, con un rendimiento promedio de 11% menor al de los biopreparados con cepas nativas de *Trichoderma* spp. y mayor al tratamiento inoculado con *P. capsici*, que presentó la mayor incidencia "enfermedad" (40%), la menor supervivencia (26,3%) y un descenso de rendimiento de fruto del 64% respecto al control.

Palabras clave: Antagonismo, invernadero, fitopatógeno, rendimiento, incidencia, severidad.

Abstract

***Trichoderma* spp. biopreparates for the biological control of *Phytophthora capsici* in the tomato crop of Puebla, Mexico**

The problems and limitations of the control of fungal diseases through the use of fungicides make the biological control of phytopathogenic fungi present as an alternative control method in the production of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* M.) in greenhouse, which is limited by the incidence of oomycete

* Autor para correspondencia: farpetch@hotmail.com

<http://doi.org/10.12706/itea.2017.019>

Phytophthora capsici, being one of the most destructive diseases worldwide. The objective of this study was to evaluate the effect of four bio-fungicides based on native strains of the genus *Trichoderma* against *P. capsici*, in the tomato production, called in the region "jitomate" variety Ramses, in greenhouse conditions in bed system. The bio-fungicide based on *T. harzianum* presented the best average results with a survival of 76.4% and an average yield of 27% greater than the control group. All treatments with bioprepared had higher plant height and final biomass than the control group. Thus, the control treatment showed a 54% mortality, with an average yield of 11% lower than that of the biopreparates with native strains of *Trichoderma* spp. and greater than the inoculated treatment with *P. capsici*, which presented the highest incidence "disease" (40%), the lowest survival (26.3%) and a 64% decrease in fruit yield compared to the control.

Keywords: Antagonism, greenhouse, phytopathogen, yield, incidence, severity.

Introducción

La seguridad alimentaria se ve amenazada por la disminución en el rendimiento de los sistemas de producción agrícola, siendo una amenaza recurrente las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos con origen en suelo en los cultivos agrícolas (Huerta-Lara et al., 2009). Bautista et al. (2010) mencionan que los principales hongos fitopatógenos presentes en hortalizas son: *Pythium* spp, *Fusarium* spp y *Rizhoctonia* spp., además del oomiceto *Phytophthora capsici* que, en conjunto, atacan la raíz y tallo induciendo marchitez, pudrición, enanismo, tizones y manchas foliares, que provocan desde disminuciones del 60% del rendimiento hasta la pérdida total de los cultivos.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) se cultiva en todo tipo de suelos para uso familiar y comercial (Adekiya y Agbede, 2016). En el año 2013, la extensión que ocupó el cultivo del tomate a nivel mundial fue de 4 734 000 hectáreas, con una producción de 163 millones de toneladas; donde China es el primer productor con 50 millones de toneladas, seguido por India con 18 millones de toneladas, Estados Unidos con 12 millones de toneladas. México se ubica en la décima posición con 3 282 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013).

En México, las estadísticas del Sistema de Información Agropecuaria, reportaron que en

el año 2014 se sembraron 52 374 hectáreas de tomate con una producción de 2 875 164 toneladas, con un valor de 15 735 millones de pesos. En tanto, datos del Sistema Producto indicaron que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos, siendo Estados Unidos y Canadá los primeros compradores; donde los principales productores fueron Sinaloa con 867 832,04 toneladas, San Luis Potosí con 196 011,25 toneladas y Michoacán con 169 768,98 (SIAP-SAGARPA, 2014; SAGARPA, 2015).

En esta perspectiva, el cambio tecnológico (cubierta plástica) ha reclamado más mano de obra, por ejemplo: en 1991 para la producción de tomate a cielo abierto se requerían 122 jornadas de trabajo por hectárea (Zuloga, 1994) y para 2010 fue de 199 jornadas en invernadero; cabe mencionar que en este periodo se redujo a 22,5 mil hectáreas la superficie cosechada de tomate a cielo abierto (Barrón, 2013). Por lo que Avedaño-Ruiz (2008) menciona que existe una pérdida de competitividad que se asocia a los repetidos brotes epidemiológicos que han provocado el cierre de la frontera, afectando fuertemente a los productores de tomate. Cabe destacar que, en México, el uso de tecnologías como el invernadero y micro túnel contrarrestan las tendencias negativas en el cultivo del tomate (Sánchez del Castillo et al., 2009; Galindo et al., 2015). La producción de tomate bajo condi-

ciones de invernadero durante el año 2014 representó el 26,2% nacional, con rendimientos promedios de 171,82 toneladas por hectárea, donde el Estado de Puebla ocupó el decimo-cuarto lugar con un rendimiento promedio de 75 219,09 toneladas de tomate por hectárea (SIAP-SAGARPA, 2014).

La producción de tomate en invernadero está limitada por la enfermedad conocida como pudrición basal del tallo o maya, causada por el oomycete *Phytophthora capsici* Leonian (Kim et al., 2008). La enfermedad se presenta en raíces, tallos, hojas y frutos (Kim et al., 1997), siendo una de las enfermedades más destructivas a nivel mundial (Hausbeck y Lamour, 2004). El patógeno causa pudrición de las raíces de la planta y lesiones negras en el tallo; circulares, acuosas y de color café grisáceo en las hojas, cubiertas de esporangios blancos en los frutos (Ristaino y Johnston, 1999).

La forma de combate de *P. capsici* bajo el sistema de producción convencional se realiza principalmente con la aplicación de fungicidas de síntesis química, sin embargo, Fernández-Herrera et al. (2007) menciona que, el constante uso de estos agroquímicos dentro del mismo sistema de producción causa inestabilidad ya que generan resistencia de los patógenos a estos productos, cuyo uso indiscriminado; según Zavaleta-Mejía (1999), ha hecho persistir sustancias tóxicas que impactan negativamente en los agroecosistemas y dada la exposición e ingesta de residuos provenientes de alimentos contaminados inciden en la salud humana. Dada la insostenibilidad a consecuencia de los altos costos económicos, ecológicos y sociales provocados por el uso de fungicidas en el control fitosanitario, se hace necesario desarrollar tecnologías que permitan de forma fácil, económica y efectiva obtener productos a partir de microorganismos endógenos con calidad y cantidad suficiente para su aplicación en áreas de cultivo (De los Santos-Villalobos et al., 2012). Dado lo anterior, el control biológico surge en respuesta

como nueva tecnología para el control y manejo de plagas y enfermedades; entre los agentes más importantes para el control de hongos fitopatógenos se encuentran los hongos pertenecientes al género *Trichoderma*, que son capaces de controlar un amplio número de hongos que afectan a las plantas de interés agrícola (Amaro-Leal et al., 2016).

Los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno son fundamentalmente de tres tipos: a) Competición directa por el espacio o por los nutrientes (Elad y Chet, 1987; Belanger et al., 1995), b) Producción de metabolitos antibióticos, ya sean de naturaleza volátil o no volátil (Chet et al., 1997; Sid et al., 2003) y, c) parasitismo directo de algunas especies de *Trichoderma* spp (Ezziyani et al., 2004).

En la presente investigación se evaluó un biofungicida con registro MX/a/2016/012860 de patente ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI), para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad Ramses, bajo invernadero, el cual, se enfoca en la mejora de una nueva tecnología alternativa, usando cepas nativas de *Trichoderma* spp., del estado de Puebla-México, preservadas en un biopreparado integrado por 2 compuestos orgánicos como preservantes [almidón de maíz y alga marina (*Porphyra umbilicales* R.)] y un ingrediente inerte como soporte (zeolita).

Material y métodos

Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en condiciones de invernadero de 1000 m², durante los meses de febrero a agosto de 2016, en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlayocoyan, en el Estado de Puebla, México. Se utilizó plántula de tomate tipo saladet (variedad

Ramses) de 30 días de crecimiento, la densidad de siembra fue de 4704 plantas en 1000 m², en arreglo de tresbolillo con distanciamiento de 30 cm entre planta y 50 cm entre cama, dando un total de 8 camas de 70 cm de ancho y 98 m de largo, dejando un metro de pasillo a la entrada y otro al final de las camas.

Cepas

Se utilizaron las cepas nativas del estado de Puebla, Th-T4 (3) de *Trichoderma harzianum* Rifai, Tav-T7 (2) de *Trichoderma atroviridae*, Tv-T3 (1) de *Trichoderma viridae* y la cepa (PC-A) de *Phytophthora capsici*, las cuales pertenecen al cepario del Centro de Recursos Genéticos del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la BUAP y se encuentran en medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa).

Preparación del bio-fungicida con cepas de *T. harzianum*, *atroviridae* y *viridae*

El medio de cultivo empleado para el desarrollo del micelio es agar de papa y dextrosa (PDA, Bioxon®), donde se preparó siguiendo las indicaciones del proveedor. Las cajas de Petri se inocularon con rodajas de 5 mm diámetro del medio de cultivo previamente colonizado cada una de las cepas en estudio y se incubaron a 28°C por 7 días. Se prepararon inóculos (matrices) a través de fermentación sólida en 2,5 kg de grano de trigo y 2,5 kg de maíz quebrado, se incubaron a 25°C durante 20 días. Posteriormente se prepararon 4 formulaciones de 60 g, utilizando 10 g de conidios para cada una de las cepas en estudio, más 2 compuestos orgánicos como preservantes (almidón de maíz 12,5 g y alga marina 12,5 g) y un ingrediente inerte como soporte (zeolita 25 g), se envasó al alto vacío en bolsas de aluminio con capacidad de 100 g, en el caso del multiesporado se utilizó 3,3 conidios

de cada una de las cepas. Los bio-fungicidas presenta una concentración de conidios de 83x10⁴ mL con un porcentaje de viabilidad de 96% (Amaro-Leal et al., 2016).

A cada planta de tomate se le colocó 50 mL de biopreparados con una concentración total de 4,150x10⁴ conidios, siendo la primera aplicación a los 5 días después del trasplante, posteriormente se re-inoculó a los 30 y 60 días. Las plantas del grupo control se trataron con agua desionizada estéril.

Preparación y cuantificación del inóculo de *Phytophthora capsici* en invernadero

La cepa (PC-A) de *Phytophthora capsici* se cultivó en medio PDA para su crecimiento y desarrollo. Posteriormente, con un sacabocados de cobre estéril se extrajeron discos de 5 mm y se inocularon en 10 placas de 90 mm de medio de cultivo V8; las placas fueron expuesta a luz artificial a 60 cm de altura durante 10 días, al término de su crecimiento se agregaron 10 mL de agua destilada estéril a todas las placas para inducir la formación de esporangios y se incubaron a 28°C durante cuatro días más. Al término de este período, las placas se colocaron en un cuarto frío (6°C) durante 20 min y después se pusieron en una incubadora a 28°C durante 1 hora para inducir la liberación de zoosporas (Ramírez-Villapudua y Romero-Cova, 1980; Gómez et al., 2008). El número de zoosporas obtenido se cuantificó con un hematocitómetro mediante diluciones seriadas y se ajustó a 5x10⁴ mL (Redondo, 1989). A cada planta de tomate se le colocó 5 mL de la suspensión de zoosporas con una concentración de 25x10⁴ zoosporas por mL con la ayuda de una jeringa a la hora del trasplante y una replicación a los 15 y 30 días después del trasplante. Las plantas del grupo control se trataron con agua desionizada estéril.

Variables evaluadas y diseño experimental

Las variables evaluadas fueron incidencia y severidad de la enfermedad a los 15 días después del trasplante, tanto para la parte radical como para la parte aérea utilizando la escala propuesta por Hidalgo (2009) (Tabla 1) y aplicada a tomate por Amaro (2015). Así mismo se evaluó el porcentaje de mortalidad y supervivencia de las plántulas de tomate a los 30 días, además de la altura, el grosor de tallo y biomasa seca total a los de 60 días de edad. La producción total por planta se evaluó del tercer al sexto mes, mediante la recolección y el pesado de cada uno de los frutos (Huerta-Lara et al., 2009).

Se usó un diseño de bloques completamente al azar, donde cada cama es un bloque y este alberga a los seis tratamientos en evaluación, cada tratamiento constó de 98 plantas sembradas en 16,33 m² de las cuales se evaluaron 20 unidades experimentales (plantas) de cada tratamiento, dando un total de 160 plantas evaluadas por toda la unidad experimental. Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente se aplicó la prueba de comparación múltiples de Tukey (P<0,05) para determinar diferencias entre los tratamientos.

Tabla 1. Escala de severidad del ataque de *P. capsici* en el cultivo de tomate
 Table 1. Severity scale of the attack of *P. capsici* on tomato cultivation

Escala de severidad en raíz de las plantas		Escala de severidad de la parte aérea de las plantas	
Código	Descripción	Código	Descripción
a	Lesión circular seca.	A	Planta sana.
b	Necrosis ligera en la base de la raíz, lesión mayor de 0,5 cm.	B	Planta con algunas hojas con pérdida de turgencia.
c	Necrosis seca aprox. 1,5 cm, suberizadas, raíces adventicias.	C	Plantas con todas las hojas con pérdida de turgencia.
d	Raíz que presenta lesiones con necrosis de 2 cm.	D	Plantas con hojas marchitas.
e	Lesiones con necrosis de 2 cm, raíces empiezan a desprenderse.		
f	Lesiones con necrosis de 2 cm, se desprende gran cantidad de raíces.		
g	Se desprende epidermis dejando tejido vascular, pérdida de 50% de raíces.		
h	Desprendimiento 80% raíces se expone tejido pérdida de epidermis, raíces necróticas.		

Fuente: Hidalgo (2009). Aplicada al cultivo de tomate por Amaro-Leal (2015).

Resultados y discusión

El tratamiento inoculado con *P. capsici* mostró síntomas de la enfermedad en la parte radical y aérea (Tabla 2), presentando los valores más altos en incidencia y severidad, esto en comparación con los demás tratamientos evaluados en este estudio. Estos resultados coinciden con lo observado por Kim et al. (1997) quienes señalan el daño causado por *Phytophthora*

sp. en la raíz y en la corona del tallo de plantas de chile, además redujeron el peso seco de raíces y tallos. Por otro parte, Ezziyyani et al. (2004) reportaron que al inocular plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.) con *T. harzianum*, observaron 56% en la disminución de la marchitez en condiciones de invernadero, en comparación con las plantas no tratadas con *T. harzianum* e inoculadas con *P. capsici*, resultados similares en esta investigación.

Tabla 2. Porcentaje de incidencia y severidad causada por *P. capsici* a los 15 días después del trasplante en plantas de tomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero

Table 2. Percentage of incidence and severity caused by *P. capsici* at 15 days after transplantation in tomato plants (*L. esculentum* Mill) under different treatments under greenhouse conditions

Tratamiento	Daños en raíz		Daños en parte aérea	
	% de incidencia	Escala de Severidad	% de incidencia	Escala de Severidad
Testigo	26	e	17	C
<i>P. capsici</i>	40	h	38	D
<i>T. viridae</i>	15	b	11	B
<i>T. atroviridae</i>	18	b	12	B
<i>T. harzianum</i>	8	a	5	A
Multiesporado	9	a	7	A

La protección lograda con el producto a base de *T. harzianum* se puede deber a la cualidad que tiene esta especie para producir enzimas como celulasas, β -1,3-glucanasa y quitinasas, las cuales degradan la pared celular de los fitopatógenos (Küçük y Kivanç, 2003), así como al parasitismo directo que ejerce *T. harzianum* sobre los hongos fitopatógenos (Küçük y Kivanç, 2004). En la presente investigación la menor incidencia y severidad se obtuvo en el tratamiento a base de *T. harzianum* con 3,7%, al presentar ligeras lesiones circulares secas en la raíz y sin sintomatología en la parte aérea.

Los tratamientos a base de *T. harzianum*, *T. atroviridae* y *T. viridae*, utilizados en este trabajo de investigación, presentan eficacia antagonica contra *P. capsici* con una supervivencia que va de 62,7 a 76,4% en comparación del tratamiento testigo, el cual obtuvo una supervivencia del 46%; mientras que las plantas de tomate inoculadas con solo *P. capsici* lograron la menor supervivencia con un 26,3% (Figura 1), al morir en un lapso menor de 10 días después de la inoculación, presentando primero un obscurecimiento a nivel de la base del tallo, el cual provocaba la

caída y posteriormente la muerte. Los resultados obtenidos, en esta variable evaluada, concuerdan con los obtenidos por Michel-Aceves et al. (2008) quien realizó estudios de antagonismo con aislamientos nativos obtenidos de cultivos de tomate sembrados en Tlayacapan, Morelos-México, con los cuales confrontó a *Trichoderma* spp. contra *Alternaria solani* y *Phytophthora infestans* logrando un rango de porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, en *P. infestans*, de un 16,3 a un 85,5%, resultados que se asimilaran a los obtenidos en este estudio.

Las variables altura, grosor de tallo y biomasa seca de cada tratamiento mostraron dife-

rencias significativas entre sí, siendo los tratamientos a base de *Trichoderma* spp. los que mejores resultados presentaron en las variables evaluadas, destacando el tratamiento a base de *T. harzianum*, el cual mostró mayor altura, grosor y biomasa seca promedio por planta, denotando un incremento significativo en comparación con el testigo, el cual mostró menor altura, grosor y biomasa seca promedio por planta; mientras que el tratamiento inoculado con el fitopatógeno *P. capsici*, presentó los promedios más bajos en las variables evaluadas (Tabla 3). Harman (2006) argumenta que *T. harzianum* estimula el crecimiento de las plantas al producir metabolitos que promueven los procesos de de-

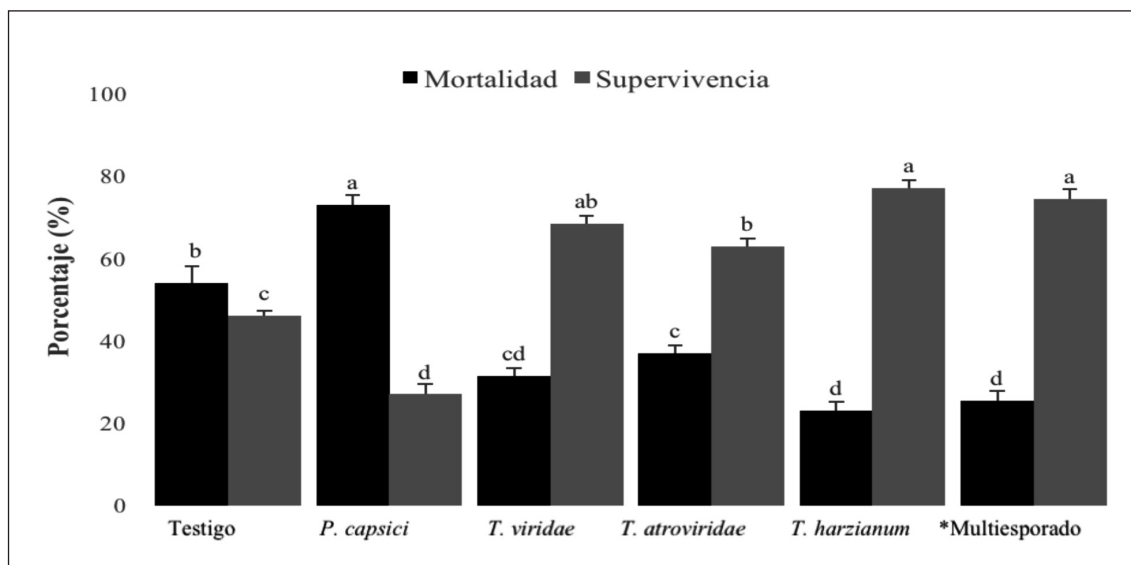


Figura 1. Porcentaje de mortalidad y supervivencia causada por *P. capsici*, evaluada a los 30 días después del trasplante en plantas de tomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos. La barra vertical indica el error estándar; *Combinación de cepas de *T. viridae*, *atroviridae* y *harcianum*.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas para el % de mortalidad y supervivencia con prueba de Tukey ($P = 0,05$).

Figure 1. Percentage of mortality and survival caused by *P. capsici*, evaluated at 30 days after transplantation in tomato plants (*L. esculentum* Mill) under different treatments.

The vertical bar indicates the standard error.

Different lowercase letters indicate significant differences for % mortality and survival with Tukey's test ($P = 0.05$).

Tabla 3. Valores medios de altura, diámetro de tallo y biomasa seca de plantas de tomate (*L. esculentum* Mill) bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero
 Table 3. Mean values of height, stem diameter and dry biomass of tomato plants (*L. esculentum* Mill) under different treatments under greenhouse conditions

Tratamiento	Altura de plantas (cm)	Diámetro de tallo de plantas (cm)	Biomasa seca de plantas en (g)
Testigo	130,3 e	1,04 a	0,12 d
<i>P. capsici</i>	54,4 f	0,63 b	0,06 e
<i>T. viridae</i>	187,5 b	1,27 a	0,22 ab
<i>T. atroviridae</i>	178,9 d	1,18 a	0,18 c
<i>T. harzianum</i>	190,7 a	1,32 a	0,26 a
Multiesporado	183,0 c	1,22 a	0,22 b
Valor de P	0,00748	0,00880	0,01750

Medias con letras diferentes en la columna, indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (P = 0,05).

sarrollo, los cuales permiten un mayor desarrollo radicular y de pelos absorbentes, con lo cual se favorece la movilización de los nutrientes en el suelo, mejorando de esta forma la nutrición y absorción de agua; asimismo acelera la descomposición de la materia orgánica y minerales (Vinale et al., 2008). Estos efectos se han comprobado científicamente en numerosas investigaciones a nivel mundial, así, por ejemplo, en plantas ornamentales se logró mayor crecimiento de altura, número de hojas y de flores (Soto et al., 2002). En café se obtuvo el mayor porcentaje de emergencia y germinación, como también mayor longitud radicular, altura, diámetro del tallo, número de hojas y vigor de la planta (Giulcapi-Pacheco, 2009).

La prueba de medias de Tukey ($p = 0,00948$) para la variable rendimiento total separó seis grupos: estadísticamente sobresale el tratamiento con *T. harzianum* con la mayor producción por planta, en comparación con los demás tratamientos. La menor producción la obtuvo el tratamiento inoculado con *P. capsici*,

donde se hizo más evidente la enfermedad; al presentar síntomas de marchitez y pudrición tanto en tallo y raíz (Tabla 4). Al respecto, Infante et al. (2009) indican que lo anterior es debido a que *Trichoderma* spp. promueve el crecimiento vegetal al producir sustancias promotoras de crecimiento. Estas sustancias actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de estas, acelerando un desarrollo más rápido, mejor producción y calidad del producto.

El rendimiento total de las plantas de tomate se puede asumir mediante el conjunto de los mejores resultados obtenidos en las anteriores variables ya que, al presentar una mayor supervivencia, desarrollo en altura, grosor de tallo y biomasa seca, se considera que estos tratamientos presentaron algunas de las cualidades necesarias en las unidades experimentales (plantas) para obtener el mejor rendimiento dentro del trabajo experimental; donde nuevamente *Trichoderma* spp., en sus diversos tratamientos, presenta

las mejores cifras en producción. Infante et al. (2009) indican que el rendimiento y calidad del fruto se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por *Trichoderma* spp., esto le da alta capacidad a la planta de aumentar la captura de nutrientes y de humedad. Santana et al. (2010) encontraron que el tratamiento a base de *T. harzianum* obtuvo una producción de 46,56 t ha⁻¹ de tomate en maceta, resultados menores a los reportados en la presente investigación. Lo mismo sucede con Melgar y Jiménez (2007), que reportó rendimientos de tomate en maceta de hasta 66,15 t ha⁻¹. Ambos autores incremen-

taron sus rendimientos en un 15% con respecto a sus tratamientos testigos.

El tratamiento de *P. capsici* presentó el menor peso promedio de fruto, seguido del testigo. Los tratamientos a base del bio-fungicida presentaron los mejores resultados, donde *T. harzianum* sobresalió al presentar el mayor peso de tomate, seguido por el multiesporado, sin embargo *T. viridae* obtuvo el rendimiento menor de los biopreparados (Tabla 4). Cortes-Hernández (2015) observó que el tratamiento con *T. harzianum* y *P. tolaasii* produjo 27,6 frutos, resultados similares a la presente investigación.

Tabla 4. Valor medio de rendimiento de frutos de plantas de tomate (*L. esculentum* Mill) y de peso medio de fruto bajo diferentes tratamientos, en condiciones de invernadero
 Table 4. Average fruit yield of tomato plants (*L. esculentum* Mill) and average fruit weight under different treatments, in greenhouse conditions

Tratamiento	Rendimiento (kg/planta)	Peso fruto (g/fruto)
Testigo	1,86 e	48,94 e
<i>P. capsici</i>	0,67 f	17,63 f
<i>T. viridae</i>	2,56 c	67,36 d
<i>T. atroviridae</i>	3,03 d	79,73 c
<i>T. harzianum</i>	4,50 a	118,00 a
Multiesporado	4,05 b	106,57 b
Valor de P	0,00948	0,00383

Medias con letras diferentes en la columna indican diferencias significativas con la prueba de Tukey (P = 0,05).

Conclusiones

La eficacia mostrada por los biopreparados evaluados en este estudio contra de *Phytophthora capsici*, aplicado a plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), demostró que los tratamientos a base de cepas nativas del género *Trichoderma* tienen acción de supresión ante este patógeno. Las plantas tratadas

con el biopreparado con *T. harzianum* obtuvieron mayor altura (46%), mayor grosor de tallo (27%) y mayor producción de biomasa seca (117%), así mismo, mayor peso promedio de fruto (27%) y mayor rendimiento total (142%). La mortalidad en el tratamiento control fue de 54% significativamente mayor que para los biopreparados, aunque inferior al tratamiento inoculado con *P. capsici*, que

obtuvo la mayor incidencia (40%) y la menor supervivencia (26,3%) del cultivo, dando como resultado una baja producción de 0,67 kg/planta en condiciones de invernadero.

Bajo estas perspectivas, el empleo de cepas nativas de *Trichoderma* spp., adaptadas a las condiciones agroecológicas de la región, presentan una capacidad conjunta de biocontrol y biofertilización en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero, que pueden ser recomendadas para su uso potencial en la comunidad de San Bernardino Tepenene perteneciente al municipio de San Juan Tzicatlacoyan en el Estado de Puebla, México.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada gracias al apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla, número de expediente 5M, dentro del área de Tecnologías y Ciencias Agropecuarias en la convocatoria 2016. Así mismo los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado y al Instituto de Ciencias de la BUAP por el financiamiento de este proyecto de investigación.

Bibliografía

- Adekiya AO, Agbede TM (2016). Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10(1): 01-06.
- Amaro Leal JL (2015). Biopreparados de cepas nativas de *Trichoderma* spp., para el control biológico en el cultivo de tomate. Tesis para optar por el título de Maestro en Ciencias en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. 112 p.
- Amaro-Leal JL, Romero-Arenas O, Rivera A, Huerta LM, Reyes E (2016). Effect of the Formulation of Seaweed (*Porphyra umbilical* R.) in Biopreparations based on *Trichoderma harzianum* Rifai. *Journal of Pure & Applied Microbiology*. 9(3): 2033-2040.
- Avedaño-Ruiz BD (2008). Globalización y competitividad en el sector hortofrutícola: México, el gran perdedor. *El cotidiano*. 23(147): 91-98.
- Barrón A (2013). Desempleo entre los jornaleros agrícolas, un fenómeno emergente. *Problemas del desarrollo*. *Revista Latinoamericana de Economía* 44(175): 55-79.
- Bautista J, García R, Montes R, Zavaleta E, Pérez J, Ferrera R, García R, Huerta M (2010). Disminución de la marchitez del chile por introducción de antagonistas en cultivos de rotación. *Interiencia*. 35(9): 673-679.
- Belanger R, Dufuor N, Caron J, Benhamou N (1995). Chronological events associated with the antagonistic properties of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea*: Indirect evidence for sequential role of antibiotics and parasitism. *Biocontrol Science Technology*. 5: 41-54.
- Cortes-Hernández I (2015). Abonos orgánicos y organismos antagónicos sobre inhibición de hongos fitopatógenos en cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, EDO. De México.
- Chet I, Ibar J, Hadar I (1997). Fungal antagonists and mycoparasites. En *The Mycota IV: Environmental and Microbial Relationships* (Wicklow, D.T y Soderstrom, B. Eds.). New York: Springer Verlag. pp 165-192.
- De los Santos-Villalobos S, Hernandez-Rodriguez L, Villasenor-Ortega F, Pena-Cabrales J (2012). Production of *Trichoderma asperellum* T8a spores by a "home-made" solid-state fermentation of mango industrial wastes. *BioResources*. 7(4): 4938-4951.
- Elad Y, Chet I (1987). Possible role of competition for nutrients in biocontrol of *Pythium* damping-off by bacteria. *Phytopathology*. 77: 190-195.
- Ezziyyani M, Pérez Sánchez C, Requena ME, Rubio L, Candela ME (2004). Biocontrol por *Streptomyces rochei* -Ziyani-, de la podredumbre

- del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. Anales de Biología. 26: 69-78.
- FAOSTAT (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estadísticas. Disponible en <http://faostat.fao.org/>. (Consultado el 25 mayo, 2016).
- Fernández-Herrera E, Acosta-Ramos M, Ponce-González F, Pinto V (2007). Manejo biológico de *Phytophthora capsici* L., *Fusarium oxysporum* Schelechtend. Fr. y *Rhizoctonia solani* Kühn en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología. 25: 35-42.
- Galindo E, Serrano-Carreón L, Gutiérrez CR, Balderas-Ruiz KA, Muñoz-Celaya AL, Mezo-Villalobos M, Arroyo-Colín J (2015). Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 18(1): 52-60.
- Giulcapi Pacheco ED (2009). Efectos de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma Viride*, en la producción de plantas de café (*Coffea arabica*) variedad caturra a nivel de vivero. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Gómez S, Hoyos LM, González EP (2008). Estudios de infección de *Spongopora subterranea* en papa (*Solanum tuberosum*) variedad comercial Diacol Capiro. Revista Politécnica. 7: 9-18.
- Harman G (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology. 96(2): 190-194.
- Hausbeck MK, Lamour, KH (2004). *Phytophthora capsici* on vegetable crops: Research progress and management challenges. Plant Disease. 88:1292-1303.
- Hidalgo, M (2009). Efecto del vermicompost sobre el cultivo del chile dulce (*Capsicum annuum*) y su interacción con *Phytophthora capsici*. Tesis para optar por el título de Licenciatura en Agronomía con énfasis en Fitotecnia, Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica. 98 p.
- Huerta-Lara M, Bautista J, Reyes D, Romero O, Ibáñez A, Franco O (2009). Manejo agroecológico de fitopatógenos con origen en el suelo. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol. I. (Ed. Aragón G.A; M.A. Damián H. y López-Olguín J.F.). México. pp 203-221.
- Infante D, Martínez B, González N, Reyes Y (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista de Protección Vegetal. 24(1): 1-8.
- Kim KD, Nene S., Musson G (1997). Control of *Phytophthora* root and crown rot of bell pepper with composts and soil amendments in the greenhouse. Applied Soil Ecology 5: 169-179.
- Kim HS, Sang MK, Jeun YC, Hwang BK, Kim KD (2008). Sequential selection and efficacy of antagonistic rhizobacteria for controlling *Phytophthora* blight of pepper. Crop Protection 27: 436-443.
- Küçük, Ç, Kivanç, M. (2003). Isolation of *Trichoderma* spp. and determination of their antifungal, biochemical and physiological features. Turkish Journal of Biology. 27(4): 247- 253.
- Küçük Ç, Kivanç M (2004). *In vitro* antifungal activity of strains of *Trichoderma harzianum*. Turkish Journal of Biology. 28: 111-115.
- Melgar J, Jiménez J (2007). Evaluación del efecto de *Trichoderma* sp. Y *Glomus* sp. en la incidencia y severidad de enfermedades del suelo y en el rendimiento de tomate, chile dulce y pepino. Hoja técnica de FHIA-Comayagua. 12: 1-3.
- Michel-Aceves AC, Otero-Sánchez MA, Martínez-Rojero RD, Ariza-Flores R, Barrios-Ayala A, Rebolledo-Martínez A (2008). Control biológico *in vitro* de enfermedades fungosas en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. Avances en investigación Agropecuaria. 12(3): 55-68.
- Ramírez-Villapudua J, Romero-Cova S (1980). Supervivencia de *Phytophthora capsici* Leo., agente causal de la marchitez del chile. Agrociencia. 39: 9-18.
- Redondo E, Rodríguez R, Ortega ML, Larque A., Engleman EM (1989). Mecanismos de infección y patología de las plantas de chile susceptibles y resistentes al hongo *Phytophthora capsici*. Agrociencia. 77: 123-137.
- Ristaino JB, Johnson SA (1999). Ecological based approaches to management of *Phytophthora* blight on bell pepper. Plant Disease. 83: 1080-1089.

- SAGARPA (2015). https://consulmex.sre.gob.mx/detroit/images/Comunicados_SRE/2015/20150721_03_boletin_sagarpa_2015b466.pdf (Consultado el 25 mayo, 2016).
- Sánchez del Castillo F, Moreno-Pérez E, Cruz-Arellanes E (2009). Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 15: 67-73.
- Santana Baños Y, del Busto Concepción A, Cruz Lazo R, Aguiar González I, Palomino Morejón I (2010). Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp., en el manejo de *Meloidogyne* spp. *Rev. Bras De Agroecología*. 5(2): 224-233.
- SIAP-SAGARPA (2014). Atlas agroalimentario 2014. http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2014/Atlas-Agroalimentario-2014. (Consultado el 12 enero, 2016).
- Sid Ahmed A, Ezziyyani M, Perez Sánchez C, Candela ME (2003). Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 633-637.
- Soto B, Osorio A, Muñoz M, Galindo R (2002). El uso de *Trichoderma harzianum* como agente mejorador de plantas ornamentales. Mexico. pp. 10.
- Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Woo SL, Lorito M (2008). *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 1-10.
- Zavaleta-Mejía E (1999). Alternativa de manejo de las enfermedades de las plantas. *Terra Latinoamericana*. 17(3): 201-207.
- Zuloaga A (1994). Efectos de la reforma jurídica y económica sobre el empleo en el sector agropecuario. *Cuadernos de Trabajo*. 7: 65-87.
- (Aceptado para publicación el 1 de septiembre de 2017)