



Trichoderma posible micoparásito de *Sporisorium reilianum* y su influencia en el rendimiento de maíz

Trichoderma as a possible mycoparasite of *Sporisorium reilianum* and its influence on maize yield

Nadia Landero Valenzuela^{a*}, Francisco Marcelo Lara Viveros^{*b}, Alejandro Rodríguez Ortega^{*c}, Andrés Pérez Vite^{*d}, Abigail Ortiz Hernández^{*e}

RESUMEN

Objetivo—evaluar el efecto de cepas de *Trichoderma* en el control de *Sporisorium reilianum* y aumentar el rendimiento en un cultivo de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo.

Método—se desarrollaron experimentos *in vitro* e *in vivo*, las variables evaluadas fueron colonización por *Trichoderma* en cultivos duales, Incidencia, colonización de tejidos vegetales, altura y rendimiento. Los resultados serán relevantes para las regiones templadas donde se establezca maíz.

Resultados—se demostró *in vitro* que el patógeno fue controlado principalmente por las cepas C5THBr y C3VM14. En incidencia en el cultivo, el tratamiento con el cual se obtuvo el mejor resultado fue con la cepa C4TVBr-no nativa (8.31%). Los tejidos fueron colonizados por *Trichoderma* desde un 19.99% (hojas) hasta un 53.3% (raíces). A excepción de C3VM14 todos los tratamientos tuvieron efecto positivo en altura de plantas. Con la cepa C5THBr-no nativa hubo un aumento de rendimiento de un 38.8%.

Limitaciones—se requieren estudios detallados sobre los mecanismos de acción de las cepas en estudio.

Principales hallazgos—las cepas de *Trichoderma* tanto nativas como no nativas pueden tener un efecto en el control de *Sporisorium reilianum* así como en el aumento del rendimiento del cultivo del maíz.

ABSTRACT

Purpose—the objective of the present study is to evaluate the effect of *Trichoderma* strains in the control of *Sporisorium reilianum* and to increase yield in a maize crop in the Mezquital Valley, Hidalgo.

Methodology—experiments *in vitro* and *in vivo* were developed and the variables evaluated were colonization by *Trichoderma* in dual cultures, incidence, colonization of plant tissues, height and yield.

Results—it was demonstrated, *in vitro*, that the pathogen was controlled mainly by the strains C5THBr and C3VM14. Regarding incidence in the crop, the treatment with which the best result was obtained was with the C4TVBr-non-native strain (8.31%). Tissues were colonized by *Trichoderma* from 19.99% (leaves) to 53.3% (roots). Except for C3VM14, all treatments showed positive effect on plant height. When C5THBr-non-native strain was applied, there was a 38.8% increase in yield.

Limitations—detailed studies on mechanisms of action of the strains under study are required.

Findings—both native and non-native *Trichoderma* strains can have an effect on the control of *Sporisorium reilianum* as well as on maize crop yield.

*Universidad Politécnica de Francisco I. Madero



Recibido: 1 de octubre de 2018;
aceptado: 29 de julio de 2019.



Palabras clave:
Zea mays, *Trichoderma*, rendimiento, enfermedad.



Keywords:
Zea mays, *Trichoderma*, yield, disease.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

Los aspectos más importantes en la producción de maíz son la presencia de plagas (que incluye enfermedades), y la fertilización. El control de las plagas se lleva a cabo con plaguicidas (Sennoi *et al.*, 2013), mientras que la fertilización es a través del empleo de fertilizantes sintéticos. Ambas prácticas contaminan los mantos freáticos (Rebolledo *et al.*, 2016) y el suelo (Sun *et al.*, 2016), afectan la salud humana (Sturza *et al.*, 2016) e inciden en la emergencia de patógenos resistentes a los pesticidas (Avenot *et al.*, 2016).

Una de las principales enfermedades que se presentan en el cultivo del maíz a nivel mundial es conocida como “carbón de la espiga”, cuyo agente causal es el *Sporisorium reilianum*. Este patógeno puede llegar a causar elevadas pérdidas económicas. Se presenta en etapa de plántula causando una infección sistémica y los síntomas se manifiestan hasta la floración en el cultivo, reemplazando la inflorescencia (Ghareeb *et al.*, 2011). Bajo condiciones óptimas, la germinación de teliosporas se presenta en el suelo, se produce un basidio con cuatro basidiosporas, que se presentan en una forma similar a las levaduras. Cuando los tejidos son jóvenes, dos basidiosporas que son compatibles se fusionan y forman hifas dicarióticas infectivas que penetran las células epidérmicas de las plantas usando un apresorio. Posteriormente, el micelio se observa en todos los tejidos de las plantas, pero la esporulación solo se observa en la floración masculina y femenina (Ghareeb *et al.*, 2011). Los factores determinantes en la presencia de la enfermedad son la temperatura (20-30 °C); la humedad relativa (15-25%); la densidad de teliosporas en el suelo; la susceptibilidad de las plantas de maíz; la fertilidad; el pH del suelo, así como la densidad de población (Matyac y Kommedahl, 1985).

El control de esta enfermedad se ha llevado a cabo, principalmente, empleando variedades resistentes; sin embargo, los genotipos no mantienen su resistencia de forma constante, esto depende de las condiciones ambientales. Otras formas de manejar la enfermedad son manteniendo la humedad relativa dentro de un rango aceptable durante la primera fase de desarrollo del cultivo, cuando las infecciones se presentan, además de otras prácticas culturales como son la rotación de cultivos. El control químico es recomendado, sin embargo, solo

se ha llegado a un control del 30% (Pérez y Bobadilla, 2004). Por lo tanto, el control biológico es una alternativa viable en un esquema de manejo integrado de un cultivo (Compant *et al.*, 2005).

Trichoderma es uno de los microorganismos antagonistas de patógenos que más han sido estudiados debido a su éxito (Bae *et al.*, 2016). Patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Bipolaris oryzae*, *Fusarium* spp, y *Sclerotium rolfsii* han sido controlados (Asad *et al.*, 2014). Los probables mecanismos de control ejercidos por *Trichoderma* spp pueden afectar directamente al patógeno, ya sea por competencia de nutrientes, antibiosis o micoparasitismo, o indirectamente a través de la reducción de la resistencia de la planta (Saber *et al.*, 2017). Escasa información sobre el control biológico de esta enfermedad ha sido generada (Mercado *et al.*, 2014) por lo cual, los resultados de este estudio son un aporte valioso en cuanto al control sobre *S. reilianum*.

Por otro lado, los fertilizantes químicos han jugado un papel importante para mejorar el rendimiento de los cultivos en una agricultura intensificada (Ju *et al.*, 2006), haciendo dependiente al productor de estos compuestos sintéticos. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y los bajos resultados en cuanto a eficiencia en la agricultura, ha dado como resultado la reducción en la calidad del agua y emisiones de gases de efecto invernadero (Ju *et al.*, 2009; Gabriel y Quemada, 2011; Cui *et al.*, 2013). *Trichoderma* spp., también ha sido empleado en la agricultura como biofertilizante para aumentar tanto el crecimiento de las plantas, como el rendimiento de cultivos (Buysens *et al.*, 2016).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cepas de *Trichoderma* en el control de *Sporisorium reilianum* y aumentar el rendimiento en un cultivo de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo, dando respuesta a la cuestión de si es posible o no controlar *Sporisorium reilianum* y aumentar el rendimiento del cultivo de maíz, a través de la inoculación de *Trichoderma*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló en la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, ubicada a 20°13'31.9"N y

99°05'20.8"W en el municipio de Tepatepec, Hidalgo. La fase experimental *in vitro* se realizó en el Laboratorio de Fitopatología de la misma institución, mientras que la fase experimental en campo se ubicó en el área agrícola. La investigación se llevó a cabo durante los ciclos de cultivo 2015-2016, bajo un manejo del cultivo recomendado para la región.

Material vegetal

Las semillas de maíz variedad Cimarrón empleadas para el establecimiento de los experimentos fueron proporcionadas por el INIFAP-Hidalgo, mismas que se encontraban libres de cualquier tratamiento químico, aparentemente sanas y sin daño alguno.

Material fúngico

Trichoderma

Se utilizaron cinco cepas de *Trichoderma*, tres de ellas (C1VM14, C2VM14 y C3VM14) fueron aisladas de los suelos del campo experimental de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. La cepa *Trichoderma* C1VM14 fue aislada de una parcela donde se realiza investigación con labranza de conservación o labranza cero en el cultivo de maíz. Las cepas *Trichoderma* C2VM14 y *Trichoderma* C3VM14 fueron aisladas de dos parcelas donde se estableció un cultivo de lechuga. La identificación taxonómica de las cepas nativas se hizo mediante las claves reportadas por Chaverri *et al.* (2003). Las cepas restantes: *Trichoderma viride* (C4TVBr) y *Trichoderma harzianum* (C5THBr) fueron proporcionadas por la Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC por sus siglas en portugués) en Brasil.

Las cepas se activaron mediante la siembra en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA® Baker) y fueron incubadas a una temperatura de 28±2 °C durante 7 días. Cuando las colonias estuvieron maduras, se extrajo la masa fúngica de los medios de cultivo. El micelio obtenido fue mezclado por separado con agua estéril, para obtener así suspensiones de propágulos de las cepas.

Para determinar las concentraciones de suspensiones de cepas *Trichoderma* (1x10⁶ UFC mL⁻¹) una cantidad de conidios fue contada en cámara Neubauer. Posteriormente la absorbancia de estas concentraciones fue

medida empleando un espectrofotómetro de UV visible (Hach, Dr 6000, Germany).

Sporisorium reilianum

La cepa del hongo patógeno *Sporisorium reilianum* fue proporcionada por la Universidad Autónoma de Chapingo en conjunto con la Universidad Politécnica de Pachuca. Se reactivó con medio de cultivo YEPD (Yeast Extract Peptone Dextrose), y se mantuvo a temperatura de laboratorio.

Las esporas del hongo fueron mezcladas con suelo húmedo (1:100) 18 horas antes de su inoculación en las semillas de maíz.

Control de *Sporisorium reilianum*

Establecimiento de cultivos duales Trichoderma-Sporisorium

Bajo un Diseño Completo Aleatorizado, los hongos tanto patógeno como antagonista, fueron sembrados en cada extremo de la caja de Petri sobre medio de cultivo YEPD (Yeast Extract Peptone Dextrose). Para cada cepa de *Trichoderma* se establecieron cinco repeticiones. Los cultivos duales se mantuvieron a una temperatura de 25 °C en una incubadora (Scientific ®). Se realizaron observaciones de crecimiento cada 24 horas.

Para evaluar el porcentaje de colonización de *Trichoderma* sobre *Sporisorium reilianum* se utilizó la fórmula (Rollan *et al.*, 1999):

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{DRCT/SCP}}{\text{DEPS}} \times 100$$

Donde:

DRCT/SCP= Distancia recorrida por la colonia de *Trichoderma* sobre la colonia del patógeno en el eje que separa las dos colonias.

DEPS= Distancia entre los dos puntos de siembra.

Los datos fueron tomados diariamente con un vernier digital hasta que la colonia de alguna de las cepas de *Trichoderma* cubrió completamente al patógeno.

Incidencia

Para la variable incidencia de la enfermedad fue necesario llevar a cabo revisiones del cultivo cada 15 días, y cuando la enfermedad se presentó, las revisiones se hicieron cada semana, contando el número de plantas por tratamiento que mostraron síntomas. Estos se observaron a los 98 días después de la siembra, coincidiendo con la época de floración (estación de verano). Después de coleccionar todos los datos se obtuvo el porcentaje de plantas enfermas por tratamiento.

VARIABLES RELACIONADAS CON EL RENDIMIENTO

Colonización de tejido vegetal por *Trichoderma*

Para la colonización de *Trichoderma* sobre diferentes tejidos de la planta de maíz (raíz, tallo y hojas), se seleccionaron 100 semillas. Las semillas fueron desinfectadas superficialmente con hipoclorito de sodio al 2% durante un minuto, se enjuagaron con agua destilada estéril y se secaron bajo condiciones de laboratorio. Las semillas secas, fueron colocadas en algodón estéril previamente humedecido con agua destilada estéril sobre un plato, éstos fueron cubiertos con bolsas plásticas, para permitir la germinación de las semillas y evitar la contaminación.

Para la inoculación de las semillas, se prepararon suspensiones con *Trichoderma* a una concentración de 1×10^6 UFC mL⁻¹ de cada una de las cinco cepas, empleando la misma metodología descrita arriba. Después de germinadas las semillas, cuando el hipocótilo tenía dos centímetros de largo, diez semillas para cada cepa del hongo fueron inoculadas con 20 µL de suspensión (en el hipocótilo), se incluyó un testigo sin tratar. Posteriormente, cuando las plantas alcanzaron 15-20 cm de altura se trasplantaron a macetas, las cuales contenían 3,5 kg de suelo previamente esterilizado en autoclave (FELISA®). Se utilizaron 10 macetas por tratamiento (seis tratamientos). Una evaluación de colonización se llevó a cabo 15 días después del trasplante, cada planta se consideró una unidad experimentada bajo un Diseño Completo Aleatorizado. Éstas fueron seccionadas en raíz, tallo y hojas. De cada sección se cortaron cinco fragmentos, los que se transfirieron a cajas de Petri con PDA (papa-dextrosa-agar). El experimento *in vitro* consistió de seis tratamientos incluyendo al control, con cuatro repeticio-

nes y cinco réplicas por cada Caja de Petri. Cada 24 horas durante siete días se tomaron datos de cada una de las repeticiones establecidas (fragmentos colonizados) para tejido evaluado, cuando las colonias de los hongos fueron fácilmente reconocidas por su típica esporulación. La fórmula empleada para determinar colonización de tejido fue (De Souza *et al.*, 2008):

$$\% \text{ Colonización de tejido} = \frac{NFC}{NFT} \times 100$$

Donde:

NFC= Número de fragmentos de tejido colonizado por *Trichoderma* por repetición.

NFT= Número de fragmentos totales por repetición.

Crecimiento de plantas de maíz

Para evaluar el crecimiento de plantas de maíz y conocer si *Trichoderma* tenía la capacidad de promover el crecimiento, se estableció una parcela experimental de 696 m². Se empleó un diseño de bloques completos aleatorizados, que consistió de cuatro bloques con seis tratamientos cada uno.

Al momento de la siembra, las semillas fueron asperjadas (3 mL) con la suspensión de la cepa de *Trichoderma* correspondiente. Al mismo tiempo, se le agregaron 5 gr de suelo mezclado con esporas del patógeno antes de ser cubiertas con suelo de campo.

Los datos de altura de las plantas fueron tomados cuando apareció la primera hoja verdadera. Para ello se seleccionaron al azar diez plantas en cada uno de los tratamientos, en cada bloque, así como del testigo. La altura de cada planta fue tomada con un flexómetro, el cual se colocaba de la parte basal de la planta hasta la última hoja verdadera. La toma de datos se realizó hasta que la planta espigó.

Rendimiento

El rendimiento fue evaluado al momento que los granos de maíz mostraron una humedad del 14%, la cual fue tomada con un medidor de humedad en granos (John Deere®). Para calcular el rendimiento fueron cortadas al azar 10 mazorcas de cada uno de los tratamientos con

Trichoderma, así como del testigo. Los granos fueron separados del raquis con la finalidad de pesarlos por separado empleando una balanza granataria. De esta forma se obtuvieron peso de granos, raquis y total (considerando a una mazorca), se tuvieron por lo tanto, 10 repeticiones por tratamiento, por bloque, incluyendo al testigo. Las medias obtenidas por tratamiento fueron empleadas para hacer el cálculo para una hectárea y obtener el rendimiento.

Análisis estadístico

Los datos (medias de dos ciclos de cultivo) se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro Wilk) y homostacidad (Barret). Aquellos que no cumplían, como es el caso de los porcentajes, se transformaron con raíz cuadrada; para facilitar la interpretación de los resultados, estos se mostraron como valores sin transformar. La curva del progreso de la colonización por *Trichoderma* se calculó por medio del método de los polígonos, y las áreas resultantes fueron sometidas a análisis de varianza y a pruebas de separación de medias (Tukey, $\alpha = .05$), esto se llevó a cabo mediante el programa Statistical Analysis System, versión 9 para Windows. Este mismo programa fue empleado para las variables restantes. El experimento *in vitro* fue repetido en dos momentos diferentes con todos los tratamientos y repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Control de *Sporisorium reilianum*

Cultivos duales *Trichoderma-Sporisorium*

La colonización del antagonista sobre el patógeno mostró diferencias estadísticas significativas ($P=0.013$). La cepa antagonista con la mayor cobertura de colonización sobre *S. reilianum* fue la C2VM14 nativa (cuadro 1), mientras que la cepa que tuvo la menor colonización sobre el patógeno correspondió a la C5THBr, una cepa no nativa.

Cuadro 1. Colonización *in vitro* de *Sporisorium reilianum* e incidencia en un cultivo de maíz para cada uno de los tratamientos

Fuentes de variación	Medias de Incidencia*	Medias de colonización
T	(%) 21.875a	ABC o c
C1VM14	17.875a	352.12 ba
C2VM14	17.625a	399.06 a
C5THBr	15.875a	238.54 b
C3VM14	12.875a	238.93 b
C4TVBr	8.310b	332.02 ba
R ²	0.44	0.64

*Medias con letras iguales indican que no hay diferencia estadística significativa (Prueba de Tukey; $p \leq .05$). C1VM14= cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo cultivado con lechuga, C2VM14 y C3VM14= cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo con labranza cero, C4TVBr= Cepa no nativa de *Trichoderma viride* aislada de suelo cultivado con cacao y C5THBr= Cepa no nativa de *Trichoderma harzianum* aislada de suelo cultivado con cacao, T= testigo.

Fuente: elaboración propia.

Trichoderma spp ha sido reconocido en diversos estudios como inhibidor del crecimiento de patógenos debido a su rápido crecimiento, inhibiendo a fitopatógenos como son *Fusarium* spp (90.65%), *Verticillium dahliae* (75%), *Alternaria alternata* (63%) and *Colletotrichum capsici* (71%) (Kouipou *et al.*, 2016, p. 8-20, Sharma *et al.*, 2017, p. 12-17), patógenos de importancia en la agricultura por las pérdidas que causan en cultivos de importancia agrícola.

De forma similar a lo mostrado en este estudio, se ha encontrado a *T. viride* con un porcentaje significativo de colonización sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, mientras que *Trichoderma harzianum* obtuvo los menores valores (Landero *et al.*, 2015), ambas son cepas no nativas, lo que indica en este caso que las condiciones de desarrollo de estas cepas no condicionaron su efectividad como antagonista.

Incidencia

De acuerdo con el análisis de varianza se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P=0.03$). El testigo presentó el mayor valor (21.875 %), mientras que el menor valor en incidencia se encontró con el tratamiento C4TVBr con una media de 8.310 %, el resto de los tratamientos tuvo un comportamiento similar

al testigo (cuadro 1). Lo anterior demuestra que para el presente trabajo solo *Trichoderma viride* (C4TVBr) tuvo actividad biocontroladora sobre *S. reilianum*. Otros autores mencionan que cuando *Trichoderma* fue inoculado en plantas de pepino, la reducción de daños causados por *Fusarium oxysporum* fue significativamente variada, lográndose hasta un 71.67 % con *Trichoderma asperellum* (Saravanakumar *et al.*, 2016).

En diferentes estudios se ha demostrado que *Trichoderma* spp tiene un amplio espectro en el control de patógenos de importancia agrícola en campo como son: *Curvularia orizae*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Cylindrocarpon destructans*, entre otros (Zeilinger y Omann, 2007; Sunpapao *et al.*, 2018; Young *et al.*, 2018). De manera específica, *Trichoderma viride* ha sido encontrado como biocontrolador de hongos del suelo (Hao *et al.*, 2000), y *S. reilianum* es un hongo que sobrevive en las mismas condiciones, para después infectar a plantas de maíz.

VARIABLES RELACIONADAS CON EL RENDIMIENTO

Porcentaje de colonización por *Trichoderma* spp. en diferentes tejidos de la planta de maíz

El porcentaje de colonización de *Trichoderma* muestra diferencias estadísticas significativas entre raíz, tallo y hojas (P=0.0004). La mayor colonización se presentó en tejido de raíz. El mayor porcentaje de colonización fue más alto en las partes más cercanas al punto donde la suspensión de esporas fue originalmente aplicada, y más bajo en partes alejadas del punto de aplicación (cuadro 2). Los testigos de cada tejido no mostraron desarrollo del hongo. Al respecto, cuando cepas de *Trichoderma* spp fueron inoculadas en cacao se tuvo un comportamiento similar, aunque a diferencia del presente estudio, una cepa de *Trichoderma* spp no pudo colonizar las partes aéreas de las plantas de cacao (De Souza *et al.*, 2008). Ya se ha demostrado que las raíces son más fácilmente colonizadas por cepas de *Trichoderma*, que otros órganos de la planta (Tlapal *et al.*, 2014, p. 61-74). También se pudo observar que dos cepas obtuvieron la mayor colonización (C1VM14 y C5THBr), una fue una cepa nativa y la otra una no nativa, lo que indica que para este estudio es indiferente el entorno de desarrollo de estas cepas (cuadro 2).

Cuadro 2. Medias de colonización de raíces, tallos y hojas de plantas de maíz por *Trichoderma* spp., así como diferencias entre tratamientos

Tejido vegetal	Colonización (%)	Tratamiento	Colonización (%)
Raíz	53.33a*	C1VM14	50.00a*
Tallo	31.64b	C2VM14	33.33b
Hoja	19.99c	C3VM14	16.60c
Testigo	0d	C4TVBr	33.33b
R ²	0.92	C5THBr	50.00a
		Testigo	0.00d
		R ²	0.93

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey P≤.05). Los datos fueron transformados a raíz cuadrada; sin embargo, para una mejor interpretación, las medias son presentadas en las unidades en que fueron tomados los datos. C1VM14= cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo cultivado con lechuga, C2VM14 y C3VM14= cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo con labranza cero, C4TVBr= Cepa no nativa de *Trichoderma viride* aislada de suelo cultivado con cacao y C5THBr= Cepa no nativa de *Trichoderma harzianum* aislada de suelo cultivado con cacao.

Fuente: elaboración propia.

Crecimiento de plantas de maíz

Los datos analizados demuestran que existe diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos (P<0.0001). El crecimiento se vio influenciado positivamente con los tratamientos C1VM14, C2VM14, C4TVBr y C5THBr, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo, con el que se encontró el menor valor (cuadro 3). Caso contrario, Tlapal *et al.* (2014) encontraron que cuando se inoculó *Trichoderma harzianum* y otros tratamientos a base de bacterias no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la variable crecimiento de plantas. Sin embargo, se ha demostrado que diferentes especies de *Trichoderma* son promotoras del crecimiento de plantas cultivadas (Rojan *et al.*, 2010; Fontenelle *et al.*, 2011; Larsen *et al.*, 2017).

Cuadro 3. Rendimiento de un cultivo de maíz y altura de plantas inoculadas con cepas de *Trichoderma*

Fuentes de variación	Medias de Rendimiento* (g)	Rendimiento obtenido por hectárea (kg)	Medias de la altura (mm)
C5ThBr	132.13a	13,213	1073.94a
C4TvBr	111.44ba	11,144	986.73a
C3VM14	103.35ba	10,335	560.43b
C1VM14	102.19b	10,219	1001.19a
C2VM14	101.32b	10,132	1013.83a
T	95.18b	9,518	506.92b
R ²	0.60		0.72

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$). C1VM14=Cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo cultivado con lechuga, C2VM14 y C3VM14= cepa nativa de *Trichoderma* aislada de suelo con labranza cero, C4TVBr= Cepa no nativa de *Trichoderma viride* aislada de suelo cultivado con cacao y C5THBr= Cepa no nativa de *Trichoderma harzianum* aislada de suelo cultivado con cacao, T= testigo.

Fuente: elaboración propia.

Al respecto de las discrepancias mencionadas, se ha encontrado que existen diferencias en cuanto al comportamiento y síntesis de metabolitos secundarios entre especies y cepas que se han desarrollado en condiciones ambientales diferentes, lo cual puede explicar la diferencia de resultados (Polizzi *et al.*, 2011; Bulgarelli *et al.*, 2013; Kai *et al.*, 2016).

Rendimiento

Cuando los datos obtenidos de rendimiento fueron analizados, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($<.0001$) entre los diferentes tratamientos. La cepa C5THBr no nativa mostró el mayor valor de rendimiento (cuadro 3), el cual aumentó en un 38.8% comparado con el testigo; cabe hacer notar que fue con esta misma cepa que se obtuvo la mayor altura de las plantas de maíz. La cepa C2VM14 nativa mostró el menor valor de rendimiento, pero con ésta se obtuvo el mejor control *in vitro* del patógeno. Esta información indica que cepa C5THBr no nativa tiene una mejor función como biofertilizante que como antagonista en el cultivo de maíz en zonas semiáridas.

Buysens *et al.*, (2016) encontró resultados parecidos cuando se hicieron inoculaciones de *Trichoderma* al suelo, donde posteriormente se estableció un cultivo de papa, el rendimiento incrementó debido a que

el tamaño de los tubérculos fue mayor. Por su parte, Xue *et al.* (2017) demostraron que con la inoculación de *Trichoderma* spp en un cultivo de trigo, el rendimiento aumentó en un 11.0%, valor menor que el obtenido en el presente trabajo.

CONCLUSIONES

En cuanto a control de *Sporisorium reilianum*, se observó que la cepa C2VM14 nativa de *Trichoderma* fue la que mostró la mayor colonización del patógeno (ABC 399.06), siendo diferente estadísticamente del resto de los tratamientos. Por otro lado, con la aplicación de la cepa C4TVBr no nativa, la incidencia de la enfermedad solo se presentó con un valor de 8.31%, mientras que el testigo alcanzó el máximo valor (21.875%). La colonización por *Trichoderma* sobre las diferentes secciones de una planta de maíz mostró diferencias estadísticas significativas, presentándose la mayor colonización en las raíces (53.3%), mientras que las hojas fueron las menos colonizadas (19.9%). En lo que a crecimiento de plantas se refiere, las cepas tuvieron un comportamiento similar, mostraron una influencia positiva en la altura, a excepción de la C3VM14 nativa. El rendimiento aumentó con la inoculación de las cepas C3VM14 nativa, C4TVBr no nativa y C5THBr no nativa, notándose un incremento hasta del 38.8% con esta última, y hubo diferencia estadística significativa con el resto de los tratamientos. Lo anterior nos indica que para este estudio las cepas de *Trichoderma* tanto nativas como no nativas pueden tener un efecto en el control de *Sporisorium reilianum*, así como en el aumento del rendimiento del cultivo del maíz. Es relevante mencionar que es necesario continuar con estudios acerca de las cepas en cuestión y evaluar otras variables de interés para tener mayor conocimiento sobre la forma en que se logra el control y el aumento del rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Gerardo Leyva Mir (Universidad Autónoma de Chapingo), profesor investigador del área de Parasitología Agrícola, y a la Dra. Yuridia Mercado Flores de la Universidad Politécnica de Pachuca por proporcionar la cepa de *Sporisorium reilianum*, también agradecemos al M.C. Pablo Camarillo del INIFAP-Hidalgo por su aportación con la semilla de maíz. Agradecimientos especiales al PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente) por su apoyo económico para el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, gracias a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero por la oportunidad para el establecimiento del proyecto en el área de investigación.

REFERENCIAS

- Asad, S.A., Ali, N., Hameed, A., Khan, S.A., Ahmad, R., Bilal, M.... y Tabassum, A. (2014). Biocontrol efficacy of different isolates of *Trichoderma* against soil borne pathogen *Rhizoctonia solani*. *Polish Journal of Microbiology*, 63(1), 95-103. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25033669>
- Avenot, H.F., Solorio, C., Morgan, D.P. y Michailides, J.T. (2016). Sensitivity and cross-resistance patterns to demethylation-inhibiting fungicides in California populations of *Alternaria emperatu* pathogenic on pistachio. *Crop Protection*, 88, 72-78. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.05.012>
- Bae, S.J., Mohanta, T.K., Chung, J. Y., Ryu, M., Park, G., Shim, S.... y Bae, H. (2016). *Trichoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. *Biological Control*, 92, 128-138. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.005>
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Ver Loren van Themat, E., y Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 807-838. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>
- Buysens, C., César, V., Ferrais, F., Boulois, H.D., y Clerck, S. (2016). Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 105, 137-143. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.04.011>
- Chaverri, P., y Samuels, G.J. (2003). *Hypocrea/Trichoderma* (Ascomycota, Hypocreales, Hypocreaceae): species with green ascospores. *Studies in Mycology*, 48(48), 1-116. Recuperado de <http://www.westerdijknstitute.nl/publications/1048/part1.pdf>
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., y Barka, E.A. (2005). Use of plant growth promoting bacteria for biocontrol of plant disease: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied Environmental Microbiology*, 71(9), 4951-4959. Recuperado de <https://aem.asm.org/content/71/9/4951>
- Cui, Z., Yue, S., Wang, G., Zhang, F., y Chen, X. (2013). In-season root-zone N management for mitigating greenhouse gas emission and reactive N losses in intensive wheat production. *Environmental Science Technology*, 47(11), 6015-6022. Recuperado de <https://doi.org/10.1021/es4003026>
- De Souza, J.T., Bailey, B.A., Pomella, A.W., Erbe, V.E.F., Murphy, C.A., Bae H.... y Hebbar, P.K. (2008). Colonization of cacao seedlings by *Trichoderma stromaticum*, a mycoparasite of the witches' broom pathogen, and its influence on plant growth and resistance. *Biological Control*, 46(1), 36-45. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.01.010>
- Fontenelle, A.D.B., Guzzo, S.D., Lucon, C.M.M., y Harakava, R. (2011). Growth promotion and induction of resistance in tomato plant against *Xanthomonas euvesicatoria* and *Alternaria solani* by *Trichoderma* spp. *Crop Protection*, 30(11), 1492-1500. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.07.019>
- Gabriel, J.L. y Quemada, M. (2011). Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: yield, N uptake and fertilizer fate. *European Journal of Agronomy*, 34(3), 133-143. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.006>
- Ghareeb, H., Becker, A., Ive, T., Feussner, I., y Schirawski,

- J. (2011). *Sporisorium reilianum* infection changes inflorescence and branching architectures of maize. *Plant Physiology*, 156, 2037-2052. Recuperado de <https://doi.org/10.1104/pp.111.179499>
- Hao, J.J., Je, J.Q., Yang, Q., Gong, Z.Z., Liu, W.Y., y Wang, E.D. (2000). A silent antifungal protein (AFP)-like gene lacking two introns in the mould *Trichoderma viride*. *Biochemical et Biophysical Acta*, 1475(2), 119-124. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(00\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(00)00047-7)
- Ju, X., Kou, C., Zhang, F., y Christie, P. (2006). Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environmental Pollution*, 143(1), 117-125. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.005>
- Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J.... y Zhang, F.S. (2009). Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3041-3046. Recuperado de <https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106>
- Kai, M., Effmert U. y Piechulla, B. (2016). Bacterial-plant interactions: approaches to unravel the biological function of bacterial emperatu in the rhizosphere. *Frontiers in Microbiology*, 7, 108. Recuperado de <https://doi.org/10.3389/fmich.2016.00108>
- Kouipou, T.R.M., Eke, P., Zabalgoceazcoa, I., Rodríguez, V.B., Wakam, N.L., y Fekam, B.F. (2016). Biocontrol and growth enhancement potential of two endophytic *Trichoderma* spp. From *Terminalia catappa* against the causative agent of Common Bean Root Rot (*Fusarium solani*). *Biological Control*, 96, 8-20. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.008>
- Landero, V.N., Nieto, A.D., Téliz, O.D., Alatorre, R.R., Orozco, S. M., y Ortiz, G.C.F. (2015). Biological control of antracnose by postharvest application of *Trichoderma* spp on maradol papaya fruit. *Biological Control*, 91, 88-93. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.08.002>
- Larsen, J., Pineda-Sánchez, H., Delgado, A.I., Castellano, M.V., Carreto, M.L., y Villegas, M.J. (2017). Interactions between microbial plant growth promoters and their effects on maize growth performance in different mineral and organic fertilization scenarios. *Rhizosphere*, 3(1), 75-81. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.01.003>
- Matyac, C.A., y Kommedahl, T. (1985). Factors affecting the development of head smut caused by *Sphacelotheca reiliana* on corn. *Phytopathology*, 75, 577-581. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19851310040>
- Mercado, F.Y., Cárdenas, A.I.O., Rojas, O.A.V., Pérez, C.J.P., Leyva, M.S.G., y Anducho, R.M.A. (2014). Application of *Bacillus subtilis* in the biological control of the phytopathogenic fungus *Sporisorium reilianum*. *Biological Control*, 76, 36-40. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.011>
- Pérez, C.J.P., y Bobadilla, M.M. (2004). *Carbón de la espiga. Resultados de los ciclos agrícolas primavera-verano 2002 y 2003*. Pachuca, Hgo., México: Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Pachuca, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). Recuperado de <http://www.hidalgoproduce.org.mx/maiz4.pdf>
- Polizzi, V., Adams, A., Picco, A.M., Adrians, E., Lenoir, J., Peteghen, C.V.... y Kimpe, N.D. (2011). Influence of environmental conditions on production of volatiles by *Trichoderma atroviride* in relation with the sick building syndrome. *Building and Environment*, 46(4), 945-954. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.024>
- Rebolledo, B., Gil, A., Flotats, X., y Sanchez, J.A. (2016). Assessment of groundwater vulnerability to nitrates from agricultural sources using a GIS-compatible logic multicriteria model. *Journal of Environmental Management*, 171, 70-80. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.041>
- Rojan, P.J., Tyagi, R.D., Prévost, D., Brar, K.S., Pouleur, S., y Surampalli, R.Y. (2010). Mycoparasitic *Trichoderma viride* as a biocontrol agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. Adzuki and *Pythium arrhenomanes* and as a growth promoter of soybean. *Crop Protection*, 29(12), 1452-1459. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.041>
- Rollan, M.C., Nico, A.I., y Monaco, C. (1999). Efecto de

- la temperatura sobre la interacción *in vitro* entre especies de *Trichoderma* y *Sclerotinia sclerotium*, *S. minor* y *S. Rolfsii*. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, 14(1-2), 33-48. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28052180_Efecto_de_la_temperatura_sobre_la_interaccion_in_vitro_entre_especies_de_Trichoderma_y_Sclerotinia_sclerotiorum_S_minor_y_Sclerotium_rolfsii
- Saber, W.I.A., Ghoneem, K.M., Rashad, Y.M., y Al-Askar, A.A. (2017). *Trichoderma harzianum* WKY1: An Indole Acetic Acid Producer for Growth Improvement and Anthracnose Disease Control in Sorghum. *Biocontrol Science and Technology*, 27(5), 654-676. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1321733>
- Saravanakumar, K., Yu, C., Dou, K., Wang, M., Li, Y., y Chen, J. (2016). Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. Cucumerinum. *Biological Control*, 94, 37-46. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.001>
- Sennoi, R., Singkham, N., Jogloy, S., Boonlue, S., Sak-sirirat, W., Kesmala T... y Patanothai, A. (2013). Biological control of southern stem rot caused by *Sclerotium rolfsii* using *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi on Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Crop protection*, 54, 148-153. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.011>
- Sharma, R., Magotra, A., Manhas, R. S., y Chaubey, A. (2017). Antagonistic potential of a psychrotrophic fungus: *Trichoderma velutinum* ACR-P1. *Biological Control*, 115, 12-17. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.08.024>
- Sturza, J., Silver, K.M., Xu, L., Li, M., Mai, X., Xia, Y. Lozoff, J. B., y Meeker, J. (2016). Prenatal exposure to multiple pesticides is associated with auditory brainstem response at 9 months in a cohort study of Chinese infants. *Environment International*, 92, 478-485. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.04.035>
- Sun, J., Pan, L., Zhan, Y., Lu, H., Tzang, W.C.D., Liu, W... y Zhu, L. (2016). Contamination of phthalate esters, organochlorine pesticides and polybrominated diphenyl ethers in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China. *Science of the Total Environment*, 544, 670-676. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.012>
- Sunpapao, A., Chairin, T., y Ito, S.I. (2018). The biocontrol by *Streptomyces* and *Trichoderma* of leaf spot disease caused by *Curvularia oryzae* in oil palm seedlings. *Biological Control*, 123, 36-42. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.017>
- Tlapal, B.B., González, H.H., Zavaleta, M.E., Sánchez, G.P., Mora, A.G., y Nava, D.C. (2014). Colonización de *Trichoderma* y *Bacillus* en Plántulas de *Agave tequilana* Weber, var. Azul y el Efecto Sobre la Fisiología de la Planta y Densidad de *Fusarium*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32(1), 61-74. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v32n1/v32n1a6.pdf>
- Xue, G.A., Guo, W., Chen, Y., Siddiqui, I., Marchand G., Liu, J... y Ren, C. (2017). Effect of seed treatment with novel strains of *Trichoderma* spp. on establishment and yield of spring wheat. *Crop protection*, 96, 97-102. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.003>
- Young, H.P., Ratnesh, C.M., Sunkyung, Y., Hoki, K., Changho, P., Sang, T.S... y Hanhong, B. (2018). Endophytic *Trichoderma citrinoviride* isolated from mountain-cultivated ginseng (*Panax ginseng*) has great potential as a biocontrol agent against ginseng pathogens. *Journal of Ginseng Research*, 1-13. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2018.03.002>
- Zeilinger S., y Omann, M. (2007). *Trichoderma* biocontrol: signal transduction pathways involved in host sensing and mycoparasitism. *Gene Regulation and System Biology*, 1, 227-234. Recuperado de <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.4137/GRSB.S397>

NOTAS DE AUTOR

- ^a Doctora en Fitopatología por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Adscrita al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, comisionada a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Imparte docencia tanto a nivel licenciatura como maestría y doctorado. Ha publicado artículos en revistas en el índice JCR y revistas nacionales en el índice de revistas del Conacyt. Ha impartido conferencias en diversas instituciones como la Universidad Autónoma del Estado de México, el Tec de Monterrey, Sagarpa, entre otras, además de formar parte de diversas redes de investigación. Participa con empresas privadas internacionales para la validación de productos naturales. Líneas de investigación: productos naturales, microorganismos e inducción de resistencia como alternativa para el manejo de enfermedades en pre y postcosecha en agroecosistemas. Correo electrónico: nlandero@upfim.edu.mx
- ^b Doctor en Fisiología Vegetal por el Colegio de Postgraduados. Adscrito al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, comisionado a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Imparte docencia tanto a nivel licenciatura como maestría y doctorado. Ha publicado artículos en revistas en el índice JCR y revistas nacionales en el índice de revistas del Conacyt. Ha impartido conferencias en diversas instituciones además de formar parte de diversas redes de investigación. Líder de proyecto de investigación Conacyt. Participa con empresas privadas e instituciones públicas en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al campo. Líneas de investigación: optimización de sistemas agrícolas para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos. Correo electrónico: nlandero@upfim.edu.mx
- ^c Doctor en Entomología por el Colegio de Postgraduados. Adscrito a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Líneas de investigación: reproducción de gusano de seda para fines de aislamiento de la cericina y su uso en diversas áreas como la medicina, cosmética, textil, entre otras. Correo electrónico: aortegar@upfim.edu.mx
- ^d Ingeniero en Agrotecnología por la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Actualmente laborando para el sector privado en el área agrícola. El trabajo a publicarse fue resultado de su trabajo de tesis. Correo electrónico: aperez@upfim.edu.mx
- ^e Ingeniero en Agrotecnología por la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Actualmente laborando en la dirección de Invernaderos (sector privado). El trabajo a publicarse fue resultado de su trabajo de tesis. Correo electrónico: ahernandezo@upfim.edu.mx