

Trichoderma spp. biocontrolador de marchitez vascular (*Fusarium* spp.) de la berenjena en el Caribe colombiano*

Trichoderma spp. vascular wilt biocontroller (*Fusarium* spp.) of eggplant in the Colombian Caribbean

RODRÍGUEZ-PINTO, MARÍA-DELVALLE¹; CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO²; CARDONA-AYALA, CARLOS-ENRIQUE³; MANJARRES-COGOLLO, EDUARDO-EMILIO⁴; ROSSI-TORDECILLA, BILLY-JOSE⁵

Historial del Artículo

Recibido para evaluación: 9 de Febrero 2021.

Aprobado para publicación: 22 de Abril 2021.

* Proyecto de investigación origen: "Evaluación e implementación de técnicas de producción ecológica en el cultivo de la berenjena (*Solanum melongena* L.) en zonas productoras de córdoba". Financiación: Beca Joven Investigador Colciencias. Finalización: septiembre de 2015.

1 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación Agricultura Sostenible. Magíster en Ciencias Agronómicas. Córdoba, Colombia. <http://orcid.org/0000-0002-4820-8287>

2 Universidad de Córdoba, Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación Agricultura Sostenible. M.Sc. PhD. <https://orcid.org/0000-0001-7649-7509>

3 Universidad de Córdoba, Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas. M.Sc., PhD. <https://orcid.org/0000-0002-9607-3858>

4 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación Agricultura Sostenible. Ingeniero Agrónomo. Córdoba, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-7976-5804>

5 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de investigación Agricultura Sostenible. Ingeniero Agrónomo. Córdoba, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3239-0352>

Correspondencia: rocampoarana@correo.unicordoba.edu.co

RESUMEN

La berenjena es una solanacea afectada por la Marchitez Vascular (MV) asociada a *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongena* que destruye el tejido vascular, causando clorosis y finalmente muerte de la planta, generando pérdidas entre 70 y 90 % de la producción en cultivos establecidos del departamento de Córdoba, Colombia. El objetivo fue identificar cepas nativas de *Trichoderma* spp. para el biocontrol de *Fusarium* spp., en berenjena. Fueron aisladas de campo cinco cepas de *Trichoderma* spp: TC05, TM04, TS03, TC02, TM01 y cinco cepas de *Fusarium* spp: FM01, FS02, FC03, FC04, FS05, en laboratorio mediante cultivos duales bajo un diseño completamente al azar (DCA) con cinco repeticiones en arreglo factorial 5x6, donde el primer factor correspondió a las cepas de *Fusarium* spp., y el segundo a las cepas de *Trichoderma* spp. y un testigo, fue medido a las cepas de *Fusarium* spp. el diámetro de la colonia para determinar el porcentaje de inhibición y la eficiencia de biocontrol de *Trichoderma* spp. siendo la cepa TC05 la mejor al inhibir entre 73 y 91,2 % las cinco cepas de *Fusarium* spp; posteriormente en casa malla fue evaluado el biocontrol de la MV bajo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y nueve repeticiones, preinoculando plántulas de berenjena con la cepa TC05 en dosis 1×10^8 , 1×10^7 , 1×10^6 UFC mL⁻¹, una cepa comercial de *Trichoderma* spp dosis 1×10^8 UFC mL⁻¹ y un testigo (control con agua), y 10 días después de inoculadas (DDI) con la cepa FS02. Los resultados a los 45 DDI los índices de la enfermedad foliar e índice de decoloración vascular fueron menores con *Trichoderma* spp, respecto al testigo con incidencia de 45 % con MV. Se concluye que la cepa nativa TC05, tiene potencial para ser utilizada en el manejo integrado de la MV de la berenjena en Córdoba, Colombia.

ABSTRACT

Eggplant is a solanacea affected by Vascular Wilt (VW) associated with *Fusarium oxysporum* f sp *melongena* that destroys vascular tissue, causing chlorosis and finally plant death, generating losses between 70 and 90 % of production in established crops of the department. from Córdoba, Colombia. The objective was to identify native strains of *Trichoderma* spp. for the biocontrol of *Fusarium* spp, in eggplant. Five strains of *Trichoderma* spp were isolated from the field: TC05, TM04, TS03, TC02, TM01 and five strains of *Fusarium* spp: FM01, FS02, FC03, FC04, FS05, in the laboratory using dual cultures under a completely randomized design (CRD) with five repetitions in a 5x6 factorial arrangement, where the first factor corresponded to the strains of *Fusarium* spp. and the second to the strains of *Trichoderma* spp. and a control, was measured to the strains of *Fusarium* spp. the diameter of the colony to determine the percentage of inhibition and the biocontrol efficiency of *Trichoderma*

PALABRAS CLAVE:

Patógeno; Inóculo; Antagonismo; Cepa; Cultivo dual; In vitro; Eficiencia de biocontrol; Índice de enfermedad; Crecimiento radial; Solanaceae.

KEY WORDS:

Pathogen; Inoculum; Antagonism; Strain; Dual culture; In vitro; Biocontrol efficiency; Disease index; Radial growth; Solanaceae.

Cómo citar este artículo: RODRÍGUEZ-PINTO, MARÍA-DELVALLE; CAMPO-ARANA, RODRIGO-ORLANDO; CARDONA-AYALA, CARLOS-ENRIQUE; MANJARRES-COGOLLO, EDUARDO-EMILIO; ROSSI-TORDECILLA, BILLY-JOSE. *Trichoderma* spp. biocontrolador de marchitez vascular (*Fusarium* spp.) de la berenjena en el Caribe colombiano. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, v. 19, n. 2, 2021, p. 158-169. Doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1847>

spp. being the TC05 strain the best to inhibit between 73 and 91,2 % the five strains of *Fusarium spp*; Subsequently, at home mesh, the biocontrol of VW was evaluated under a completely randomized design with five treatments and nine repetitions, pre-inoculating eggplant seedlings with strain TC05 in doses 1×10^8 , 1×10^7 , 1×10^6 CFU mL⁻¹, a commercial strain of *Trichoderma spp.* dose 1×10^8 CFU mL⁻¹ and a control (control with water), and 10 days after inoculation (DAI) with the strain FS02. The results at 45 DAI, the leaf disease indices and the vascular discoloration index were lower with *Trichoderma spp.*, compared to the control with an incidence of 45 % with VW. It is concluded that the native strain TC05 has the potential to be used in the integrated management of the VW of eggplant in Córdoba, Colombia.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de la berenjena se ha incrementado, constituyéndose entre las hortalizas la más apetecida por su riqueza en fenoles en la pulpa y alta cantidad de antocianinas en la piel del fruto (Niño *et al.*, 2017). A nivel mundial se reporta un área cosechada de 1,847,787 ha y una producción de 55,197,878 t; China continental es el primer productor con 35,555,562 t seguido de India, Egipto y Turquía según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021). En el 2018 en Colombia, se establecieron 601,32 ha con una producción de 4603,78 t., y un rendimiento promedio de 11,75 t, destacándose los departamentos de Córdoba, Magdalena y Sucre con producciones de 1307,78 t, 1260 t, 1144 t, respectivamente de acuerdo con la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet, 2021).

La región de Caribe de Colombia cuenta con las variedades de berenjena C015 y C029, liberadas por Agrosavia, después de la acción participativa de los productores, quienes la escogieron por características de altos rendimientos, mayor número de frutos por planta y coloración lila atractivas en ese momento para el mercado (Martínez *et al.*, 2020). Estas cualidades no son ajenas a problemas fitosanitarios ya que los productores reportan y asocian sintomatologías fungosas a la marchitez causada por *Fusarium spp* y *Sclerotium spp.*, originándose en la etapa productiva del cultivo, además se resalta que el manejo es realizado por pequeños productores con limitaciones económicas (Martínez *et al.*, 2019).

Las especies de *Fusarium* son las causantes de la marchitez vascular en diversos cultivos, y generan importantes pérdidas económicas (Garrido and Vilela, 2019). La enfermedad se identifica morfológicamente por plantas marchitas con hojas de color amarillo (Cha *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2017), ya que *Fusarium* ingresa a la epidermis de la raíz, luego se disemina a través del tejido vascular y habita en los vasos del xilema de la planta provocando su obstrucción (Singh *et al.*, 2017), seguido de un crecimiento que provoca la formación de tejidos descoloridos que evolucionan hacia manchas necróticas de color marrón a negro (Hermann and Lecomte, 2019). y posterior colonización conduciendo al desarrollo de la enfermedad ocasionando epinastía foliar, aclaramiento de las nervaduras, el marchitamiento, defoliación, y eventualmente preceden a la muerte de la planta (Di *et al.*, 2016; Joshi, 2018). El manejo de la marchitez por *Fusarium spp* con agrotóxicos no ha sido exitoso, aunque el uso de químicos continúa siendo la alternativa empleada por los productores (Martínez *et al.*, 2020). Por tanto, el uso preventivo con productos biológicos es uno de las más recomendados, porque generan mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico (Schirawski and Perlin, 2018), les brindan a las plantas mayor absorción de nutrientes, protección contra plagas y enfermedades (Stringlis *et al.*, 2018)

Una alternativa a la anterior situación es el uso del género *Trichoderma* el cual contiene una mezcla de compuestos que puede ser utilizada para control biológico (Marques *et al.*, 2018); se encuentra de forma natural en la mayoría de los suelos de uso agrícola, teniendo una gran capacidad de adaptarse a diferentes ambientes, alta capacidad reproductiva, habilidad para colonizar raíces, plasticidad ecológica, efecto estimulante sobre los cultivos, actúa como inductor de resistencia sistémica en la planta y tiene la capacidad de parasitar una amplia gama de hongos patógenos de plantas (Villar *et al.*, 2019; Cucu *et al.*, 2020), además es de fácil manipulación (Sanabria, 2020; Thakur, 2021). Otras de sus características son los mecanismos involucrados en el antagonismo como antibiosis, competencia por espacio y nutrientes, y micoparasitismo (Bhujbal *et al.*, 2021)

El objetivo de este trabajo fue identificar cepas nativas del género *Trichoderma*, con capacidad biocontroladora sobre *Fusarium* spp, causante de la marchitez vascular de la berenjena en el departamento de Córdoba, Colombia.

MÉTODO

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, ubicada en el Municipio de Montería, Córdoba, Colombia (coordenadas decimales: 8.79179, -75.86050) a 14 m.s.n.m., 8°44' N y 75° 53' W con respecto al Meridiano de Greenwich, con precipitación anual promedio de 1.346 mm, humedad relativa del 84 %, temperatura promedio anual de 27,4 °C y brillo solar anual de 2.108,2 h, tipo de clima sabana tropical húmeda (Aw) clasificación Koppen (Beck *et al.*, 2018).

Se seleccionaron tres lotes comerciales de berenjena pertenecientes a los municipios de San Carlos, Cereté y Montería del departamento de Córdoba. En cada lote se tomaron diez muestras de suelo sobre el cual se encontraban plantas vigorosas de apariencia sana, con el fin de coleccionar cepas de *Trichoderma* spp; igualmente se tomaron diez plantas con síntomas característicos de la marchitez para aislar las cepas del patógeno *Fusarium* spp., las cuales fueron almacenadas individualmente en bolsas plásticas. Las muestras de suelo y el material vegetal fueron procesadas en el Laboratorio de Fitopatología en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba.

Aislamiento de cepas de *Trichoderma*

Mediante la metodología de diluciones seriadas (French and Hebert, 1980), de cada muestra de suelo se tomó un mililitro de las diluciones 10^2 a 10^6 y se depositaron en cajas de Petri, con el medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA), con cuatro repeticiones; luego se incubaron a 24 °C durante ocho días, con un fotoperiodo diario de luz-oscuridad (12/12 h). Los hongos que formaron colonias de color verde fueron purificados en PDA (Bissett, 1991). Las características evaluadas de las colonias fueron (color, textura, crecimiento, pigmentación, tamaño de las esporas, forma, fiálides, conidióforos, presencia o no de clamidosporas) típicas para el género *Trichoderma* (Bissett, 1991). Se obtuvieron cinco aislados, los cuales fueron rotulados con un código compuesto por la inicial del género encontrado, seguido de la inicial del municipio donde se colectó la muestra y el número de la colecta.

Aislamiento de cepas de *Fusarium*

Se utilizó la metodología propuesta por French and Hebert, (1982) para aislar hongos fitopatógenos de tallos y raíces mediante cortes de raíces y tallos afectados, los cuales fueron desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante cinco minutos, luego fueron lavados tres veces con agua destilada esterilizada, se secaron en papel toalla para eliminar los excesos de agua y se sembraron en medio PDA. Los aislados de color blanco o rosado fueron transferidos a PDA, hasta obtener colonias puras, las cuales fueron identificados morfológicamente como *Fusarium* spp., mediante la clave de Barnett and Hunter (1988). Se obtuvieron cinco cepas las cuales fueron rotuladas con un código compuesto por la inicial del género encontrado, seguido de la inicial del municipio donde se colectó la muestra y el número de la colecta.

Determinación del antagonismo *In vitro*

La capacidad antagónica de los cinco aislados nativos de *Trichoderma* spp., sobre los cinco aislados de *Fusarium* spp., causantes de la marchitez vascular en berenjena, se estableció empleando la técnica de Cultivo Dual (Andrade, 2019; Sanabria, 2020). El experimento se estableció en condiciones de laboratorio con un fotoperiodo de luz de 12 horas durante ocho días a 27 °C. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Se utilizó como testigo cada cepa de *Fusarium* sin la presencia de la cepa antagonista. Las evaluaciones se realizaron cada 24 horas, midiendo el crecimiento radial del antagonista y del patógeno, y el crecimiento de la colonia del patógeno sin antagonismo (figura 1).



Figura 1. En secuencia se evidencia antagonismo in vitro de *Trichoderma* spp. Vs *Fusarium* spp en cultivo dual, seguido de una placa petri con crecimiento de las cepas sin antagonismo.

La eficiencia del biocontrol se realizó con la siguiente fórmula adaptada por Aquino *et al.*, 2008:

$$EB = [(CPT - CPA)/CPT] \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: EB = Eficiencia del biocontrol; CPT = Crecimiento del patógeno sin el antagonista; CPA = Crecimiento del patógeno con el antagonista.

Evaluación del antagonismo en casa de malla

Seleccionada la cepa *Trichoderma* spp TC05 por mayor eficiencia y por la capacidad de inhibir entre 73 y 91 % el crecimiento micelial de los cinco aislados de *Fusarium* spp., fue empleado en el experimento de control de la marchitez vascular (MV) en plantas de berenjena establecido en casa de malla.

Se establecieron varios experimentos con plantas de tres a cuatro hojas verdaderas, en materas de 1,5 kg bajo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y nueve repeticiones. Los tratamientos se realizaron de forma preventiva, depositando 10 mL de la cepa *Trichoderma* spp. TC05 en varias dosis y una cepa comercial de *Trichoderma* spp (*T. harzianum*, *T. koningi* y *T. viridae*) en la rizosfera de las plantas, descritos así: T1= TC05 1×10^8 UFC mL⁻¹; T2= TC05 1×10^7 UFC mL⁻¹; T3= TC05 1×10^6 UFC mL⁻¹; T4= *Trichoderma* spp comercial 1×10^8 UFC mL⁻¹; T5= control, inoculado con agua. Diez días después se inoculó el patógeno *Fusarium* spp. FS02, por ser la cepa que presentó en el ensayo anterior la mayor severidad, mediante heridas en el cuello de la raíz y en las raíces, depositando 10 mL de la solución del hongo activo en una concentración de 1×10^6 UFC mL⁻¹.

Transcurridos 45 días después de la inoculación, fue realizado un muestreo destructivo donde las plantas fueron extraídas cuidadosamente y lavadas sus raíces para retirar restos del sustrato; luego rotuladas y llevadas al laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Córdoba, donde con un bisturí se hicieron cortes longitudinales de los tallos y raíces, finalmente, para dar cumplimiento con el postulado de Koch, las plantas que presentaron IDV, fueron llevadas a cámaras húmedas durante 72 horas y obteniendo un reaislamiento del patógeno *Fusarium* spp. Los tratamientos fueron evaluados calculando la variable de índice de la enfermedad (IE) con la siguiente fórmula (Bletsos *et al.*, 1999):

$$IE = IEF * IDV \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: IEF = índice externo de la enfermedad IEF; IDV = índice de la decoloración vascular.

Empleando escala ajustada de Bletsos, (1999) fueron medidos los IEF con escala de 1 a 6 (Cuadro 1) dependiendo de los síntomas externos y el IDV con escala de 1 a 4 (Cuadro 2) dependiendo de los síntomas internos en la planta.

Cuadro 1. Índice de la enfermedad foliar (IEF) y/o índice de infección o severidad para marchitez (Bletsos *et al.*, 1999).

Grado	Característica
1	Plantas aparentemente saludables
2	Suave clorosis en las hojas bajas
3	Manchas necróticas, defoliación de hojas bajas, inicio de tristeza
4	Marchitez fuerte, muerte de hojas bajas, decoloración vascular de los peciolo y hojas superiores, síntomas de tristeza fuerte
5	Plantas con solo hojas en el cogollo, clara decoloración vascular superior en el tallo
6	Muerte de la planta

Cuadro 2. Índice de decoloración de tejido vascular (IDV) (Bletsos *et al.*, 1999).

Grado	Característica
1	Raíz aparentemente saludable con color blanco
2	Decoloración vascular solo en sistema radicular
3	Decoloración de color marrón en el cuello de la raíz
4	Decoloración marrón entre los internudos hasta alcanzar la altura de la planta

La severidad fue clasificada ajustando escala propuesta por Bletsos (1999) en cinco grupos de acuerdo al índice de la enfermedad IE, donde: valor de 1, plantas aparentemente sanas; valor de 2, suave clorosis en hojas bajas; valor de 3 a 4, suave clorosis en el follaje y decoloración vascular en las raíces; valor de 5 a 6, defoliación y decoloración vascular en el cuello de la raíz; valor de 7 a 9, síntomas de marchitez y decoloración vascular ascendente en el tallo entre el cuello de la raíz y la parte apical (figura 2).



Figura 2. Raíz principal de planta de berenjena con síntoma de decoloración vascular de color marrón, a los 45 días después de inoculada con el patógeno *Fusarium spp.*, en condiciones de casa de malla. Foto: María del Valle Rodríguez Pinto.

Análisis estadístico

Los datos de crecimiento radial y eficiencia de biocontrol fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) desde las 24 hasta las 192 horas, donde al final del confrontamiento se realizó una prueba de medias de Tukey ($p=0,05$) para los efectos independientes del patógeno y el antagonista, y una tabla de doble entrada de la interacción para determinar el comportamiento de las cepas de *Fusarium* spp. frente a las cepas del antagonista *Trichoderma* spp.

RESULTADOS

Aislados de cepas de *Trichoderma* spp y *Fusarium* spp

Fueron aisladas cinco cepas de *Trichoderma* spp. con la siguiente distribución, en Montería dos: TM01 y TM04; en Cereté dos: TC02 y TC05 y una en San Carlos: TS03. En los lotes comerciales, de las plantas con síntomas de MV también fueron aislados cinco cepas patogénicas de *Fusarium* spp, una en Montería: FM01; dos en Cereté: FC03 y FC04 y dos en San Carlos: FS02 y FS05. La presencia de *Fusarium* spp., de acuerdo con Ma *et al.* (2013) se debe a que este hongo posee un mecanismo de patogenicidad específico de acuerdo con la especie vegetal donde hospeda, además, puede sobrevivir en el suelo como micelio o esporas, inicia infección en las raíces, en partes de la planta por encima del suelo, a través del aire o el agua.

Efecto antagónico *In Vitro*

De acuerdo con el análisis de varianza, el efecto inhibitorio de los aislados nativos de *Trichoderma* spp., sobre las cinco cepas de *Fusarium* spp., fue observado en los cultivos duales desde las 24 horas después del enfrentamiento. Los resultados del antagonismo a las 192 horas se presentan en la Cuadro 1. La cepa *Trichoderma* TC05 fue la que mayor eficiencia de biocontrol presentó, entre 73,8 y 91,5 % sobre las cinco cepas de *Fusarium* spp., seguido de las cepas TM01, TS03, TM04 y TC02 (Cuadro 3). Los resultados concuerdan con Peña and Pavone, (2020) quienes obtuvieron más del 90 % de eficiencia con cepas de *Trichoderma* spp, sobre patógenos del cultivo de pimentón en Venezuela, al igual que los reportados por Samaniego *et al.* (2018), donde fueron evaluadas cepas nativas de *Trichoderma* spp. de la provincia Matanzas, Cuba. El aislamiento *Fusarium* sp FS02 fue la cepa más agresiva *In Vitro*, debido a que presentó menor inhibición frente a las cinco cepas de *Trichoderma*.

El mecanismo de biocontrol de la cepa *Trichoderma* TC05 sobre las diferentes cepas de *Fusarium* puede explicarse por la alta velocidad de crecimiento micelial, lo que le permite invadir rápidamente las colonias del fitopatógeno, compitiendo por espacio, metabolismo y nutrientes; además, el género *Trichoderma* tiene la capacidad de inhibir la esporulación y la germinación de esporas de hongos patógenos (Mesa *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Efecto en el crecimiento radial de las cepas *Trichoderma* spp y *Fusarium* spp., a las 192 horas después de la inoculación en el medio de papa dextrosa agar, en cultivo dual.

Trat.	Cepa		CR	DC	CRF	EB (%)
	<i>Trichoderma</i>	<i>Fusarium</i>				
1	TC05	FM01	3,84 abc ²	3,50 abc	0,34 j	91,24 a
2	TC05	FS02	4,26 abc	3,14 abcd	1,12 defghi	73,83 abcd
3	TC05	FC03	3,38 bc	2,76 abcde	0,62 hij	80,68 abc
4	TC05	FC04	4,00 abc	3,44 abc	0,56 ij	85,81 ab
5	TC05	FS05	3,36 bc	3,080 abcde	0,28 j	91,46 a
6	TM01	FM01	5,34 a	4,34 a	1,00 efghi	80,73 abc
7	TM01	FS02	3,82 abc	2,40 bcde	1,50 abcde	60,05 defg
8	TM01	FC03	4,60 abc	2,82 abcde	1,78 abc	60,44 defg
9	TM01	FC04	3,12 bc	1,22 e	1,90 ab	38,13 h

Trat.	Cepa		CR	DC	CRF	EB (%)
	Trichoderma	Fusarium				
10	TM01	FS05	3,38 bc	2,64 abcde	0,74 ghij	78,05 abcd
11	TS03	FM01	4,12 abc	3,00 abcde	1,12 defghi	72,40 abcde
12	TS03	FS02	5,20 a	3,86 ab	1,34 bcdefg	73,38 abcd
13	TS03	FC03	3,34 bc	1,97 cde	1,37 bcdf	53,29 efgh
14	TS03	FC04	3,89 abc	2,67 abcde	1,22 cdefgh	67,85 bcdef
15	TS03	FS05	3,28 bc	2,56 abcde	0,72 ghij	77,55 abcd
16	TC02	FM01	3,03 c	1,49 de	1,54 abcde	52,58 efgh
17	TC02	FS02	3,60 abc	1,52 de	2,08 a	45,18 gh
18	TC02	FC03	4,06 abc	2,48 abcde	1,58 abcde	62,04 cdefg
19	TC02	FC04	3,58 abc	1,70 cde	1,88 ab	52,10 fgh
20	TC02	FS05	3,84 abc	2,76 abcde	1,08 defghi	68,11 bcdef
21	TM04	FM01	4,90 ab	3,24 abcd	1,66 abcd	66,13 bcdef
22	TM04	FS02	4,70 abc	3,16 abcd	1,54 abcde	67,01 bcdef
23	TM04	FC03	4,90 ab	3,22 abcd	1,68 abcd	65,53 cdef
24	TM04	FC04	4,34 abc	2,89 abcde	1,44 bcdef	66,36 bcdef
25	TM04	FS05	4,08 abc	3,26 abcd	0,82 fghij	79,30 abcd

Trat = Tratamiento; CR = crecimiento radial de cepas de *Trichoderma* spp.; DC= diferencia de crecimiento; CRF = crecimiento radial de las cepas de *Fusarium* spp.; EB %= eficiencia de biocontrol. Letras iguales en la columna no difieren significativamente Tukey ($p < 0,05$). Elaboración: autores

Esta alta eficiencia de biocontrol de las cepas de *Trichoderma* spp., como antagonista de *Fusarium* spp., generalmente la literatura reporta eficiencia superior al 50 % (Michel *et al.*, 2019).

Efecto del antagonismo en casa de mallas

La cepa nativa de *Trichoderma* spp. TC05 y la cepa comercial de *Trichoderma* spp., protegieron eficientemente las plantas de berenjena de la MV, siendo agrupadas en los Índices de la enfermedad IE 1 y 2; mientras que el testigo sin protección se agrupó en los IE 4 y 5 (Cuadro 4). El tratamiento testigo presentó síntomas de la enfermedad como clorosis de forma generalizada, decoloración de color marrón en las raíces, cuello y tallo; además fue el único tratamiento con plantas muertas (55 %), resultado que coincide con los obtenidos por Sentena (2015). Los tratamientos de biocontrol no presentaron decoloración vascular DV, ni MV; sin embargo, algunas plantas presentaron leve clorosis en las 2 hojas bajas y al hacer cortes longitudinales no hubo DV, lo anterior posiblemente por deficiencia de nitrógeno y ataques de insectos chupadores que se presentaron durante el experimento. Este resultado permitió corroborar el alto grado de patogenicidad que ejerció la cepa *Fusarium* sp. FS02, cuando no es tratada con la cepa de *Trichoderma* sp TC05.

Cuadro 4. Índice de la enfermedad y porcentaje de mortalidad de plántulas de berenjena bajo biocontrol de cepas de *Trichoderma* sp sobre la marchitez vascular por *Fusarium* spp.

Tratamiento	Índice de la enfermedad					Mortalidad (%)
	1	2	3	4	5	
<i>Trichoderma</i> sp TC05, 10^8 UFC mL ⁻¹	22,22	77,77	0	0	0	0
<i>Trichoderma</i> sp TC05, 10^7 UFC mL ⁻¹	0	100	0	0	0	0
<i>Trichoderma</i> sp TC05, 10^6 UFC mL ⁻¹	0	100	0	0	0	0
<i>Trichoderma</i> sp comercial, 10^8 UFC mL ⁻¹	0	100	0	0	0	0
Testigo (<i>Fusarium</i> sp FS02)	0	0	0	55,55	44,44	55

Índice de la enfermedad IE: 1= plantas aparentemente sanas; 2= suave clorosis en hojas bajas; 3= suave clorosis en el follaje y decoloración vascular en las raíces; 4= decoloración vascular en raíces y en el cuello de la raíz; 5= marchitez y decoloración vascular ascendente, escala ajustada de Bletsos (1999).

La prueba de comparación de rangos para IEF, IDV e IE, muestra que las plantas tratadas con TC05 en las diferentes dosis y con *Trichoderma* sp comercial, tuvieron el mismo efecto biocontrolador y fueron significativamente diferentes al testigo, sin antagonista (Cuadro 5).

Cuadro 5. Índices de la enfermedad externa IEF, índice de la decoloración vascular IDV e índice de la enfermedad IE en plántulas de berenjena a los 45 días después de inoculadas con *Fusarium* sp FS02.

Tratamiento+	IEF	IDV	IE
<i>Trichoderma</i> TC05, 10 ⁸ UFC mL ⁻¹	17,05 a	17,00 a	15,50 a
<i>Trichoderma</i> TC05, 10 ⁷ UFC mL ⁻¹	21,50 a	21,55 a	19,50 b
<i>Trichoderma</i> TC05, 10 ⁶ UFC mL ⁻¹	21,50 a	17,00 a	19,50 b
<i>Trichoderma</i> comercial, 10 ⁸ UFC mL ⁻¹	21,50 a	19,27 a	19,50 b
Testigo (<i>Fusarium</i> FS02)	33,44 b	40,16 b	41,00 c
CV (%)	27,91	22,87	16,15

+: Concentración indicada en UFC/mL⁻¹. Promedios con igual letra dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente según la prueba DMS de Fisher (P < 0,05). Elaboración: autores

El efecto biocontrolador de la cepa *Trichoderma* sp TC05, concuerdan con lo reportado por varios investigadores que emplearon biopreparados con cepas nativas de *Trichoderma* spp en el manejo de patógenos fungosos del suelo, en diferentes cultivos (Romero *et al.*, 2017). Los tratamientos con *Trichoderma* sp TC05 en las tres concentraciones evaluadas, al igual que *Trichoderma* sp comercial, protegieron eficientemente las plántulas de berenjena contra la MV; además, las plantas protegidas con esta cepa tuvieron un mejor crecimiento y desarrollo expresado en mayor altura de planta AP, Mayor número de hojas presentes NHP y menor número de hojas caídas NHC, comparados con el testigo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Altura de planta AP, número de hojas presentes NHP y número de hojas caídas NHC de plántulas de berenjena C015, bajo biocontrol de *Trichoderma* spp sobre el patógeno *Fusarium* spp.

Tratamiento+	AP	NHP	NCH
Testigo <i>Fusarium</i> sp FS02	7,98 c	3,17 c	4,11 a
<i>Trichoderma</i> spp TC05 10 ⁸ UFC mL ⁻¹	10,22 a	5,57 a	2,88 b
<i>Trichoderma</i> spp TC05 10 ⁷ UFC mL ⁻¹	8,91 b	4,46 b	3,62 ab
<i>Trichoderma</i> spp TC05 10 ⁶ UFC mL ⁻¹	8,85 b	5,06 ab	2,82 b
<i>Trichoderma</i> spp Comercial 10 ⁸ UFC mL ⁻¹	9,30 b	5,04 ab	2,60 b
Significancia (Prueba de F)	**	**	**
CV (%)	7,09	16,72	27,34

+: cada cepa a la concentración indicada en UFC/mL⁻¹. CV: coeficiente de variación; **: Diferencias significativas al 1%. Promedios con igual letra dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey (p < 0,05). Elaboración: autores

CONCLUSIONES

El uso del biocontrolador *Trichoderma* spp. cepa nativa TC05, en condiciones in vitro y en casa de malla demostró su potencial antagonico, esta cepa es una alternativa viable que contrarresta el daño causado por el patógeno *Fusarium* spp en condiciones de campo, por ser una cepa nativa del Caribe húmedo, por lo tanto, es una opción amigable con el ambiente y el ser humano que permitiría ser una herramienta clave en el manejo integrado de la marchitez vascular en el cultivo de berenjena para los agricultores del departamento de Córdoba, Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) por la financiación y la Universidad de Córdoba y Facultad de Ciencias Agrícolas por brindar los espacios requeridos e infraestructuras para la ejecución de esta investigación.

REFERENCIAS

- ANDRADE-HOYOS, PETRA; LUNA-CRUZ, ALFONSO; OSORIO-HERNÁNDEZ, EDUARDO; MOLINA-GAYOSSO, EDUARDO; LANDERO-VALENZUELA, NADIA; BARRALES-CUREÑO, HEBERT. Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs hongos asociados a la marchitez de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 10, n. 6, 2019, p. 1259-1272.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1326>
- AQUINO-MARTÍNEZ, JESUS; VÁZQUEZ-GARCÍA, LUIS; REYES-REYES, BASILIO. Biocontrol in vitro e in vivo de *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. dianthi (Prill. y Delacr.) Snyder y Hans. Con hongos antagonistas nativos de la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, v. 26, n. 2, 2008, p. 127-137.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092008000200005&script=sci_abstract&tlng=pt
- BECK, HYLKE E.; ZIMMERMANN, NIKLAUS; MCVICAR, TIM; VERGOPOLAN, NOEMI; BERG, ALEXIS; WOOD, ERIK. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 2018, 180214.
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BISSETT, JOHN. Revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. *Canadian journal of botany*, v. 69, n. 11, 1991, p. 2357-2372.
<https://doi.org/10.1139/b91-297>
- BLETOS, FOTIOS A.; THANASSOULOPOULOS, COSTAS; ROUPAKIAS, DEMETRIOS. Water Stress and *Verticillium* Wilt Severity on Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Phytopathology*, v. 147, n. 4, 1999, p. 243-248.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.147004243.x>
- BRUJAL, MAYUR; GAWADE, RAJU; BACHKAR DHANSHREE; DEOKAR, CHINTAMANI; DAINGADE, NAVANATH. In vitro efficacy of different biological agentes against *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici causing wilt of tomato. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, v. 9, n. 1, 2021, p. 486-489.
<https://www.entomoljournal.com/archives/2021/vol9issue1/PartG/9-1-106-736.pdf>
- CHA, JAE-YUL; HAN, SANGJO; HONG, HEE-JEON; CHO, HYUNJI; KIM, DARAN; KWON, YOUNGHO; KWON, SOON-KYEONG; CRÜSEMANN, MAX; LEE, YONG-BOK; KIM, JIHYUN F.; GIAEVER, GURI; NISLOW, COREY; MOORE, BRADLEY S.; THOMASHOW, LINDA S.; WELLER, DAVID M.; KWAK, YOUN-SIG. Base microbiana y bioquímica de un suelo supresor del marchitamiento por *Fusarium*. *The ISME Journal*, v. 10, n. 1, 2016, p. 119-129.
<https://www.nature.com/articles/ismej201595>
- CUCU, MARÍA-ALEJANDRA; GILARDI, GIOVANNA; PUGLIESE, MASSINO; GULLINO, MARÍA-LODOVICA; GARIBALDI, ANGELO. An assessment of the modulation of the population dynamics of pathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in the tomato rhizosphere by means of the application of *Bacillus subtilis* QST 713, *Trichoderma* sp. TW2 and two composts. *Biological Control*, v. 142, 2020, 104158.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104158>
- DI, XIAOTANG; TAKKEN, FRANK L.W.; TINTOR, NICO. Cómo las fitohormonas dan forma a las interacciones entre las plantas y el hongo *Fusarium oxysporum* que se encuentra en el suelo. *Fronteras en ciencia vegetal*, v. 7, 2016, p. 170.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00170>

- FRENCH, EDUARDO R.; HEBERT, TEDDY-THEODORE. Métodos de investigación fitopatológica, n. 43. Bib. Orton IICA/CATIE, 1980, 289 p.
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=nR8PAQAIAAJ&oi=fnd&pg=PA1&ots=cAGZccGS-fC&sig=naLrArvLQP_vC1agc1pvDKgWTjo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- GARRIDO-RONDOY, MIGUEL; VILELA-SEVERINO, NASSTIE. Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz. *Scientia Agropecuaria*, v. 10, n. 2, 2019, p. 199-206.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.05>
- HERMANN, VERONIQUE-EDEL; LECOMTE, C. Estado actual de *Fusarium oxysporum* Formae Speciales y razas. *Phytopathology*, 2019.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
- JOSHI, RENU. Una revisión de *Fusarium oxysporum* sobre su interacción con plantas y uso industrial. *Journal of Medicinal Plants Studies*, v. 6, n. 3, 2018, p. 112-115.
<https://www.plantsjournal.com/archives/2018/vol6issue3/PartB/6-3-5-147.pdf>
- KHAN, NOOR; MAYMON, MASKIT; HIRSCH, ANN M. Combatir la infección por *Fusarium* utilizando antimicrobianos a base de *Bacillus*. *Microorganismos* v, 5, n. 4, 2017, p. 75.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms5040075>
- MA, LI-JUN; GEISER, DAVID M.; PROCTOR, ROBERT H.; ROONEY, ALEJANDRO P.; O'DONNELL, KERRY; TRAIL, FRANCES; GARDINE, DONALD M.; MANNERS, JOHN M.; KAZAN, KEMAL. *Fusarium* pathogenomics. *Annual review of microbiology*, 67, 2013, p. 399-416.
<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
- MARQUES, EDER; MARTINS, IRENE; CORREA-MARQUÉS DE MELLO, SUELI. Potencial antifúngico de extractos brutos de *Trichoderma* spp. *Biota Neotropica*, v. 18, n. 1, 2018, e20170418.
<https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0418>
- MARTÍNEZ-REINA, ANTONIO-MARÍA; TORDECILLA-ZUMAQUÉ, LILIBET; GRANDETT-MARTÍNEZ, LILIANA-MARÍA; RODRÍGUEZ-PINTO, MARÍA-DEL VALLE; CORDERO-CORDERO, CARINA-CECILIA; OROZCO-GUERRERO, ALFONSO; SILVA-ACOSTA, GABRIEL-ERNESTO; ROMERO FERRER, JORGE; CORREA-ÁLVAREZ, ENDER-MANUEL. Análisis económico de la producción de berenjena (*Solanum melongena* L.) en dos zonas productoras del Caribe colombiano: Sabanas de Sucre y Valle del Sinú en Córdoba. *Ciencia y Agricultura*, v. 16, n. 3, 2019, p. 17-34.
<https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9514>
- MARTÍNEZ-REINA, ANTONIO-MARÍA; TORDECILLA-ZUMAQUÉ, LILIBET; GRANDETT-MARTÍNEZ, LILIANA-MARÍA; RODRÍGUEZ-PINTO, MARÍA-DEL VALLE. Adopción Acceptance of C015 Eggplant (*Solanum melongena* L.) Variety in the Colombian Caribbean Region. *Ciencia y Agricultura*, v. 17, n. 3, 2020, p. 1-10.
<https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11062>
- MESA-VANEGAS, ANA-MARÍA; CALLE-OSORNO, JAIME; MARIN-PAVAS, DUBER-ALEXANDER. Metabolitos secundarios en *Trichoderma* spp. y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. *Actualidades Biológicas*, v. 41, n. 111, 2019, p. 32-44.
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02>
- MICHEL-ACEVES, ALEJANDRO C.; HERNÁNDEZ-MORALES, JAVIER; TOLEDO-AGUILAR, ROCIO; SABINO LÓPEZ, JUAN E.; ROMERO-ROSALES, TEOLINCACIHUATL. Capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. nativa contra *Phytophthora parasitica* y *Fusarium oxysporum* aislados de cultivos de Jamaica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, v. 42, n. 3, 2019, p. 235-241.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802019000300235&script=sci_arttext
- NIÑO-MEDINA, GUILLERMO; URÍAS-ORONA, VANIA; MUY-RANGEL, MARÍA D.; HEREDIA-BASILIO, J. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*)-a review. *South African Journal of Botany*, v. 111, 2017, p. 161-169.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.016>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Faostat. Datos. Cultivos. 2019. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> [consultado 01 de febrero 2021].

- PEÑA-TOVAR, ELISA; PAVONE-MANISCALCO, DOMENICO. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre el desarrollo de plántulas de *Capsicum annuum* L.(pimentón) y el biocontrol del hongo fitopatógeno *Sclerotium* sp. AGROBIOLOGÍA. Una visión general y sus aplicaciones, 2020, p. 45.
https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FLuis_Ramirez-Merida%2Fpublication%2F342293464_Agrobiologia_Una_vision_general_y_sus_aplicaciones%2Flinks%2F5f9232e9299bf1b53e3d8138%2FAgrobiologia-Una-vision-general-y-sus-aplicaciones.pdf%23page%3D45&btnG=
- RED DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN DEL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO. (AGRONET). Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por cultivo. 2018.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> [consultado febrero 1 de 2021].
- ROMERO-ARENAS, OMAR; AMARO, J.L.; DAMIÁN-HUATO, MIGUELA.; VALENCIA DE ITA, MARÍA A.; RIVERA-TAPIA, J.A.; HUERTA-LARA, MAMUEL. Biopreparados de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Phytophthora capsici* en el cultivo de tomate de Puebla, México. Información Técnica Económica Agraria, v. 113, n. 4, 2017, p. 313-324.
<https://doi.org/10.12706/itea.2017.019>
- SAMANIEGO-FERNÁNDEZ, LUZ-MARÍA; HAROUNA, MAIMOUNA; CORBEA, ODALYS; RONDÓN-CASTILLO, ANA-JULIA; PLACERES-ESPINOSA, IRANÍ. Aislamiento, identificación y evaluación de cepas autóctonas de *Trichoderma* spp. antagonistas de patógenos del suelo. Revista de Protección Vegetal, v. 33, n. 3, 2018.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522018000300003&script=sci_arttext&lng=pt
- SANABRIA-VELÁZQUEZ, ANDRÉS-DE JESÚS. Evaluación de aislados de *Trichoderma* spp. nativos del Paraguay para el control de *Colletotrichum* spp. causante de la antracnosis en frutilla. Investigación Agraria, v. 22, n. 1, 2020, p. 53-62.
<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.53-62>
- SANTEMA, BYRO-ABEL; LÓPEZ-VALENCIA, YVETH. control biológico de fusarium spp. en berenjena utilizando *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* [Tesis Ingeniería Agronómica]. Coatepeque (Guatemala): Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, 2015, 70 p.
- SCHIRAWSKI, JAN; PERLIN, MICHEL H. Interacción planta-microbio 2017: lo bueno, lo malo y lo diverso. Revista Internacional de Ciencias Moleculares, v. 19, n. 5, 2018, p. 1374.
<https://doi.org/10.3390/ijms19051374>
- SINGH, VIVEK-KUMAR; SINGH, HARIKESH-BAHADUR; UPADHYAY, RAM-SANMUKH. Role of fusaric acid in the development of 'Fusarium wilt' symptoms in tomato: Physiological, biochemical and proteomic perspectives. Plant physiology and biochemistry, v. 118, 2017, p. 320-332.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.028>
- STRINGLIS, IOANNIS A.; ZHANG, HAO; PIETERSE, CORNÉ M.J.; BOLTON, MELVIN D.; DE JONGE, RONNIE. Moléculas microbianas pequeñas: armas de subversión vegetal. Informes de productos naturales, n. 5, 2018, 410-433.
<https://doi.org/10.1039/C7NP00062F>
- THAKUR, RAJNEESH. Uso de *Trichoderma* spp. como biocontrol para el manejo de enfermedades. Indian Farmer, n. 1, v. 8, 2021, p. 108-115.
https://www.researchgate.net/profile/Rajneesh-Thakur/publication/348233483_Use_of_Trichoderma_spp_as_biocontrol_for_disease_management/links/5ff4515445851553a01e344e/Use-of-Trichoderma-spp-as-biocontrol-for-disease-management.pdf
- VILLAR, ANDRÉS; ERNST, OSWALDO; CADENAZZI, MÓNICA; VERO, SILVANA; PEREYRA, SILVIA; ALTIER, NORA; CHOUHY, DIEGO; LANGONE, FABRIZIO; PÉREZ, CARLOS. Crop Sequence Effects on Native Populations of *Trichoderma* spp. in No-till Agriculture. Agrociencia Uruguay, v. 23, n. 1, 2019, p. 1-10.
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482019000100018&lng=es&nrm=iso