Portainjerto silvestre y nutrientes minerales para el control de *Fusarium* spp. en berenjena (*Solanum melongena* L.)

Wild rootstock and mineral nutrients for the control of *Fusarium* spp in eggplant (*Solanum melongena* L.)

María del Valle Rodríguez-Pinto [1], *Rodrigo Orlando Campo-Arana* [2*], *Carlos Enrique Cardona-Ayala* [2]

1. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia, Centro de Investigación Turipaná, Km 13 vía Montería Cereté, Córdoba-Colombia
2. Universidad de Córdoba. Carrera 6 No. 77- 305 Montería - Córdoba, Colombia
   Grupo de Investigación: Agricultura Sostenible

Resumen

La marchitez vascular causada por *Fusarium* spp. es una enfermedad limitante de la producción de berenjena en el Caribe colombiano. Se evaluó el portainjerto silvestre *Solanum mammosum* L., injertado por el método de empalme terminal, con el cultivar comercial de berenjena *Solanum melongena* L. Corpoica CO15, con nueve repeticiones, comparándolo con el desarrollo de los testigos *S. melongena* Corpoica CO15 y *S. mammosum* sin injertar, bajo un diseño completamente aleatorizado, determinándose la resistencia de estos tratamientos a la marchitez. En un segundo experimento se evaluaron tres alternativas de nutrición foliar T1 = testigo (aspersión de agua), T2 = fuente rica en potasio (K: 344 g L^{-1}); T3 = fuente rica en calcio (Ca: 96 g L^{-1} de CaO); T4 = fuente rica en fósforo (P: 300 g L^{-1} de P2O5), bajo un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. En ambos experimentos se utilizaron nueve plántulas por unidad por tratamiento, sembradas en macetas con 3,5 kg de suelo franco limoso e inoculadas con *Fusarium* spp. cepa FS02, en casa de malla. La inoculación se realizó en plántulas de 30 días de desarrollo (de 3-4 hojas verdaderas), mediante heridas en la base del tallo y en las raíces de cada planta, con 20 mL de suspensión (5.000 conidias mL^{-1}). El uso del portainjerto silvestre *S. mammosum* y los nutrientes minerales mediante aplicación foliar, redujeron significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad.

Palabras clave: Calcio; Fósforo; índice de la enfermedad en el follaje; índice de decoloración vascular; marchitez vascular; nutrición foliar; Potasio.

Abstract

Vascular wilt caused by *Fusarium* spp. It is a limiting disease of eggplant production in the Colombian Caribbean. The wild rootstock *Solanum mammosum* L., grafted by the terminal splicing method, with the commercial eggplant cultivar *Solanum melongena* L. Corpoica CO15, was evaluated with nine repetitions, comparing it with the development of the controls *S. melongena* Corpoica CO15 and *S. mamosum* without grafting, under a completely randomized design, determining the resistance of these treatments to wilting. In a second experiment, three foliar nutrition alternatives were evaluated: T1 = control (water spray), T2 = source rich in potassium (K: 344 g L^{-1}); T3 = rich source of calcium (Ca: 96 g L^{-1} of CaO); T4 = source rich in phosphorus (P: 300 g L^{-1} of P2O5), under a completely randomized design with four repetitions. In both experiments, nine seedlings were used per treatment, planted in pots with 3.5 kg of silt loam soil and inoculated with *Fusarium* spp. FS02 strain, in a mesh house. Inoculation was carried out on seedlings of 30 days of development (3-4 true leaves), through wounds at the base of the stem and in the roots of each plant, with 20 mL of suspension (5000 conidia mL^{-1}). The use of wild *S. mammosum* rootstock and mineral nutrients through foliar application significantly reduced the incidence and severity of the disease.

Key words: Calcium; Phosphorus; Foliage disease index; Leaf nutrition; Potassium; Vascular wilting; Vegetable; vascular discoloration index

***Autor de correspondencia:**
rocampoarana@correo.unicordoba.edu.co;
rodrigocampo43@hotmail.com
Editor: Daniel Castañeda
Recibido: 02 septiembre de 2023
Aceptado: 01 agosto de 2024
Publicación en línea: 01 de agosto de 2024
Citar como: Rodríguez-Pinto, M. V., Campo-Arana, R. O. y, Cardona-Ayala, C. E. (2024). Portainjerto silvestre y nutrientes minerales para el control de *Fusarium* spp. en berenjena (*Solanum melongena* L. *Intropica,* 19 (1). https://doi.org/10.21676/23897864.5450.

Introducción

En Colombia, la región Caribe presenta los sistemas hortícolas bajo un esquema de agricultura Familiar donde se resaltan las siembras de berenjena (*Solanum melongena*) (Martínez *et al*., 2020). El departamento de Córdoba es el cuarto productor de berenjena con 2991 toneladas año^{-1} (Agronet, 2022); siendo cultivada por pequeños productores en parcelas entre 1000 – 2500 m^2. Uno de los limitantes de la producción son los problemas fitosanitarios, especialmente la marchitez vascular MV por *Fusarium* spp. (Araméndiz *et al*., 2008; Santema, 2015). Este hongo ataca a varias especies de la familia Solanacea como lo reportan Cardona (2013) y Valenzuela (2014) con pérdidas de 70-90 % de la producción (Cardona, 2013; Valenzuela, 2014).

Los productores de berenjena del Caribe colombiano cultivan genotipos susceptibles a la MV y recurren a la aplicación de agroquímicos, lo que implica el incremento de los costos de producción y un alto costo ambiental (Tamayo y Jaramillo, 2013; Villa *et al*., 2015). Las alternativas de manejo de la enfermedad deben ser preventivas, amigables con el ambiente, como son la implementación de portainjertos de especies silvestres del género *Solanum*, y el uso de inductores de resistencia (Castellanos *et al*., 2015), la siembra en suelos supresores (Ogundeji *et al*., 2021), la búsqueda de biocontroladores endófitos presentes en plántulas sanas (Farhat *et al*., 2022), o el uso de cepas de *Fusarium* spp., no patogénicas con capacidad de inhibir patógenos del suelo (Mulero-Aparicio *et al*., 2019).

El uso de injertos en hortalizas ha sido ampliamente utilizado a nivel mundial, para prevenir enfermedades ocasionadas por patógenos del suelo (Pradhan *et al*., 2017; Sánchez *et al*., 2015; Velasco, 2013). Entre las especies silvestres de Solanáceas, que se han empleado con éxito *Solanum hirtum* Vahl y *Solanum torvum* Sw., (Fundación Hondureña de investigación agrícola [FHIA], 2005; Gisbert *et al*., 2011). El uso de la especie silvestre *S. torvum* como portainjerto de berenjena reduce la incidencia de *Verticillium dahliae* Kleb (Bletsos, 2006).

En las especies de *Solanum lycopersicum* L. y *Capsicum annuum* L. se ha disminuido la mortalidad causada por *Ralstonia solanacearum* con portainjertos de especies silvestres (Ad'Vincula *et al*., 2011; Sánchez *et al*., 2015). Otra especie silvestre reportada como portainjerto *Solanum mammosum* L., (Acuña-Chinchila y Garro-Alfaro, 2018). En tomate, indican un buen control contra *Fusarium oxysporum* cuando se injertó sobre *S. torvum* y *Solanm macrocarpon* L., obteniéndose rendimientos superiores a las plántulas no injertadas (Awu *et al*., 2023).

Otras estrategias reportadas en el manejo de la MV de la berenjena son la resistencia genética (Altinok *et al*., 2014) y el control biológico con *Trichoderma harzianum* (Hameed, 2011). El éxito de las diferentes especies de *Trichoderma* sobre los patógenos del suelo se le atribuye principalmente a su capacidad para colonizar la superficie de las raíces y a la capacidad para activar diversos mecanismos antagónicos como la competencia de nutrientes, inducción de resistencia y la producción de metabolitos antifungicos (Rai *et al*., 2020). La tendencia del uso de bio-controladores en los últimos años, es la identificación de los metabolitos amigables con el ambiente que puedan ser empleados en el manejo de los patógenos del suelo (Rohit *et al*., 2022).

La inducción de la resistencia empleando sustancias químicas o metales pesados, es una alternativa no contaminante que se está implementando en el manejo de las enfermedades (Agrios, 2011); por ejemplo el fosforo estimula la respuesta bioquímica de la planta frente al ataque de patógenos como *Gaeumannomyces graminis* en la cebada y de la roña de la papa *Streptomyces scabies* (Castellanos *et al*., 2015). Mogollón y Castaño (2011), reportan la efectividad de la aplicación de fosfito de potasio en plántulas de plátano Dominico-Hartón (*Musa balbisiana* AAB) sobre el control de *Mycosphaerella* spp. El potasio disminuye la severidad de la roya del tallo del trigo, el tizón temprano del tomate y la pudrición del tallo del maíz; mientras que, el calcio reduce la severidad de patógenos del suelo como *Rhizoctia* spp., *Sclerotium* spp., y el ataque del nemátodo *Ditylenchus dipsaci* (Agrios, 2011).

La resistencia inducida, es un buen complemento de la resistencia genética y de las prácticas culturales del cultivo, para lo cual se investiga en el uso de diversos elicitores como ácidos grasos en el manejo de la resistencia a Oomicetos (Dye y Bostock, 2021); algunos hongos micorrizicos tiene la capacidad de incrementar la producción de antioxidantes como la reductalasa, catalasa y fosfatasa, mejorando el rendimiento fotosintético e induciendo la resistencia en la planta (Dey y Ghosh, 2022).

Esta investigación tuvo como objetivos evaluar la incidencia y severidad de la marchitez vascular sobre la variedad comercial de berenjena Corpoica C015 injertada sobre la especie silvestre *Solanum mammosum* L., y el efecto de fertilizantes inorgánicos

como inductores de resistencia a la enfermedad.

Materiales y Métodos

Localización y Material experimental

La investigación se realizó en una casa de malla de la Granja experimental y en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, Colombia a 14 msnm, 8°44´ latitud Norte y 75°53´ de longitud Oeste con respecto al Meridiano de Greenwich. Esta zona se caracteriza por una precipitación anual promedio de 1200 mm, humedad relativa del 84 %, temperatura promedio anual de 28 ºC (IDEAM, 2022).

Se recolectaron frutos maduros de la especie silvestre *S. mammosum* se extrajeron sus semillas y se realizaron pruebas de germinación la cual fue del 86 %. Adicionalmente se dispuso de semilla de la variedad comercial de berenjena Corpoica C015 con viabilidad superior al 90 %.

Experimento 1. Evaluación del Portainjerto iseño experimental

Se utilizaron nueve plántulas por tratamiento, de 30 días de desarrollo, sembradas en macetas con 3,5 kg con suelo franco-limoso de 21,3 % de arcilla, 25 % de arena y 53,7 de limo y pH de 6,87. El suelo fue previamente esterilizado con hipoclorito de sodio al 5 %.

Se evaluaron tres tratamientos: la variedad comercial de berenjena Corpoica C015 sin injertar (T1), berenjena Corpoica C015 injertada sobre la especie silvestre *S. mammosum* (T2) y la especie silvestre *S. mammosum* sin injertar (T3), bajo un diseño completamente aleatorizado con nueve repeticiones. (cada planta se tomó como una repetición). Los injertos se realizaron cuando las plántulas de berenjena y la especie silvestre alcanzaron un diámetro de tallo aproximado de 4 mm, a la altura de 15 cm sobre el cuello de la planta, transcurridos 60 días después de la siembra.

La inoculación de los tratamientos se hizo con la cepa del patógeno *Fusarium* spp. FS02, la cual ocasiona MV en berenjena. Se realizó 30 días después de la injertación cuando las púas habían desplegado dos hojas, mediante heridas en la base del tallo y en las raíces de cada planta, aplicándoles 20 mL de suspensión con 5000 conidias mL^{-1}.

Experimento 2. Evaluación de inductores de resistencia

Se utilizaron nueve plántulas por tratamiento (cada planta se tomó como una repetición) de 30 días de edad, sembradas en macetas con 3,5 kg con suelo franco-limoso de 21,3 % de arcilla, 25 % de arena y 53,7 de limo y pH fue de 6,87. El suelo fue previamente esterilizado con hipoclorito de sodio al 5 %.

Se evaluaron tres alternativas de nutrición foliar más un testigo, bajo un diseño completamente aleatorizado, con nueve repeticiones (Tabla 1). Los tratamientos fueron aplicados al momento del trasplante, con una segunda aplicación posterior a los 15 días. A cada planta se le aplicó un litro de la solución de cada tratamiento.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de nutrición mineral, aplicados en plántulas de berenjena, como inductores de resistencia a la marchitez vascular.

Tratamientos (g L^{-1})	ID	Dosis (ml L^{-1})
T1= Agua destilada, asperjada en el follaje	Testigo	NA
T2= K (332,5) + aminoácidos libres (6), en drench al suelo.	Fuente rica en Potasio	62,5
T3= CaO (96) + N (58,8) + B (2,4) + aminoácidos libres (54,9) en drench al suelo.	Fuente rica en Calcio	1,6
T4= P2O5 (300) + N (200) + K (100) + CaO (0,15) + MgO (0,15) + S (1,17) +B (0,30) + Co (0,03) + Cu (0,15) + Fe (0,65) + Mn (0,32) + Zn (0,65), asperjada al follaje.	Fuente rica en Fósforo	2,5

ID: Identificación del tratamiento. NA: suelo sin inductor.

Dos semanas después de aplicados los tratamientos, las plántulas fueron inoculadas con *Fusarium* spp. cepa FS02. La inoculación se realizó en plántulas de 30 días de desarrollo (3-4 hojas verdaderas), mediante el uso de bisturí manual una vez desinfectado con alcohol y pasado por mechero con la hojilla se realizaron heridas en la base del tallo y en las raíces de cada planta, aplicándoles 20 mL de suspensión con 5000 conidias mL^{-1}.

Efecto de los tratamientos

En los dos experimentos se midieron las variables: altura de la planta (AP), número de hojas presentes (HP) y número de hojas caídas (HC), durante siete semanas posteriores a la aplicación de los tratamientos. También se determinó la incidencia de la enfermedad, expresada como el porcentaje de plántulas con síntomas de la marchitez vascular; la severidad mediante muestreos destructivos estimando el índice de la enfermedad (IE) como el producto del índice de la enfermedad en el follaje (IEF) por el índice de la decoloración vascular (IDV) (Bletsos *et al.*, 2003). El IEF se midió con el uso de la escala de 1 a 6, según los síntomas externos, mientras que el IDV con una escala de 1 a 4, según los síntomas internos en la planta, escalas propuestas por Bletsos *et al.* (2003).

Análisis de datos

Para el experimento 1, se hizo un análisis de varianza de las variables altura de planta, (AP), número de hojas presentes (NHP), número de hojas caídas (NHC) e índice de decoloración vascular (IDV), índice de la enfermedad en el follaje (IEF) e índice de la enfermedad (IE). Las seis variables cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianza. El supuesto de normalidad se cumplió en las variables AP, IDV e IE. Para las variables NHP e IEF, el supuesto de normalidad se cumplió mediante la transformación Raíz cuadrada del valor más la constante 0,5. Para el NHC se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y transformación de rango. Además, se realizaron contrastes ortogonales para todas las variables, y análisis de correlación.

Para el experimento 2 se hizo análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey al 5 %, para cinco variables (AP, NHP, NHC, IEF, IDV), las cuales cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianzas. El supuesto de normalidad se cumplió en las variables AP, NHP y NHC. Para IEF, el supuesto de normalidad se cumplió mediante la transformación Raíz cuadrada del valor más la constante 0,5, y, para IDV se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y transformación de rango. Los datos se analizaron con el software estadístico SAS versión 9.2.

Resultados

Experimento 1. Evaluación del Portainjerto

La altura de las plántulas de berenjena Corpoica C015, sola e injertada no presentó diferencias significativas en los contrastes probados (Tabla 2). Esto indica que el crecimiento en altura dirigido por la actividad de la yema apical ocurrió similarmente en las dos especies, a pesar de que las plántulas de *S. melongena* mostraron presencia de la enfermedad en las hojas en diversos grados.

Por otro lado, al contrastar el número de hojas presente al final del ensayo (NHP), 42 días después de la inoculación, entre *S. melongena* Corpoica C015 sin injertar (T1), con el injerto de este sobre *S. mammosum* (T2) y *S. mammosum* (T3), se estimó una diferencia significativa a favor del injerto y el genotipo silvestre juntos. En tanto que cuando se comparó el injerto (T2) con el genotipo silvestre (T3) no hubo diferencias significativas (Tabla 2).

Al comparar el número de hojas caídas (NHC) entre las plántulas de *S. melongena* Corpoica C015 sin injertar, con el injerto de este sobre *S. mammosum* y *S. mammosum*, se estimó una diferencia significativa de una mayor caída de hojas en *S. melongena*. Esto posiblemente obedezca a una mayor susceptibilidad del genotipo comercial de berenjena a *Fusarium* spp. Sin embargo, el contraste entre la especie silvestre *S. mammosum* injertado con *S. melongena*, y sin injertar, se encontró una diferencia significativa de una mayor caída de hojas en la especie silvestre. Esto sugiere que el genotipo silvestre injertado con *S. melongena* presenta una menor tasa de senescencia de hojas en respuesta a los factores bióticos y abióticos del medio.

Tabla 2. Medias, Cuadrados medios (CM) de contrastes ortogonales y estimadores de parámetros de los contrastes de las variables altura de planta (AP), número de hojas presente (NHP) y número de hojas caídas de plántulas berenjena (NHC) evaluadas bajo presión de inóculo de Fusarium sp. FS02.

Tratamiento	AP	NHP	NHC
Solanum melongena (T1)	23,44 ± 1,12	3,22 ± 0,66	2,66 ± 0,50
S. melongena / *S. mammosum* (T2)	23,00 ± 1,24	4,00 ± 0,63	0,66 ± 0,51
Solanum mammosum (T3)	22,93 ± 0,94	4,00 ± 1,22	1,77 ± 0,66
Contraste		**CM**	
T1 vs T2, T3	1,26 ns	0,1104 *	680,35 **
T2 vs T3	0,02 ns	0,0410 ns	168,10 **
Parametro		**Estimador**	
T1 vs T2, T3	0,96 ± 0,92 ns	-1,55 ± 0,77*	2,89 ± 0,49**
T2 vs T3	0,07 ± 0,57 ns	0,00 ± 0,48 ns	-1,11 ± 0,30**

T1: *Solanum melongena*; T2: *Solanum melongena* injertada sobre *Solanum mammosum*; T3: *Solanum mammosum*. * y **=significancia de la prueba F de Snedecor para CM y prueba t de Student para estimadores de parámetros de los contrastes, al 5 % y 1 %, respectivamente; ns=no significativa.

Efecto del portainjerto sobre la incidencia y severidad de la MV.

Al contrastar el índice de la enfermedad foliar IEF de las plántulas de *S. melongena* Corpoica C015 con el genotipo silvestre *S. mammosum* y éste como portainjerto de *S. melongena*, se observó un mayor IEF, un estimado significativo en el material comercial de berenjena, lo cual es coherente con una mayor presencia de la enfermedad en este cultivar. Por otro lado, el contraste entre la especie silvestre *S. mammosum* injertado con *S. melongena*, y *S. mammosum* sin injertar, no estimó diferencia significativa.

Un resultado similar se encontró al hacer las comparaciones utilizando el índice de decoloración vascular IDV, donde, *S. melongena* Corpoica C015, presentó un mayor estimado y significativo, lo mismo que con el IE (Tabla 3). La incidencia de la marchitez vascular de *S. melongena* Corpoica C015 fue del 83 % y cuando se injertó con la especie silvestre se redujo a 16 %. El genotipo silvestre *S. mammosum* no presentó síntomas de la enfermedad, indicando la resistencia de este hacia la cepa de *Fusarium* spp. FS02.

Tabla 3. Medias, estimados de contrastes ortogonales y desviaciones estándar de las variables índice de la enfermedad foliar (IEF), índice de decoloración vascular (IDV) e índice de la enfermedad (IE) de plántulas de berenjena evaluadas bajo presión de inóculo de *Fusarium* sp. FS02.

Tratamiento	IEF	IDV	IE
Solanum melongena (T1)	1,66 ± 0,50	2,00 ± 0,70	3,56 ± 1,87
S. melongena / *S. mammosum* (T2)	1,00 ± 0,00	1,17 ± 0,40	1,17 ± 0,40
Solanum mammosum (T3)	1,44 ± 0,52	1,44 ± 0,72	1,88 ± 1,05
T1 vs T2, T3	0,88 ± 0,38*	1,39 ± 0,56*	4,06 ± 1,14**
T2 vs T3	-0,44 ± 0,24 ns	-0,28 ± 0,35 ns	-0,72 ± 0,71 ns

T1: *Solanum melongena*; T2: *Solanum melongena* injertada sobre *Solanum mammosum*; T3: *Solanum mammosum*. * y **=significancia de la prueba F de Snedecor al 5 % y 1 %, respectivamente; ns=no significativa.

El análisis de correlación entre las variables muestra altos grados de asociación positiva y altamente significativa entre altura de planta, número de hojas por planta y número de hojas caídas por planta. Sin embargo, la altura de planta no correlacionó con el índice de la enfermedad en el follaje, índice de decoloración vascular e índice de la enfermedad (Tabla 4).

El número de hojas presentes correlacionó negativamente y con alta significancia con el número de hojas caídas, con el índice de la enfermedad en el follaje al 5 % y con el índice de la enfermedad al 7 %, pero no se observó asociación significativa con el índice de decoloración vascular. Esto indica que, aunque las plántulas presenten síntomas externos, éstos no necesariamente estarían relacionados con la decoloración vascular.

Por otro lado, el número de hojas caídas estuvo correlacionado positivamente con los tres índices de la enfermedad, evidencia de que es un buen marcador de la presencia de la enfermedad. Además, los tres índices de la enfermedad resultaron correlacionados positivamente entre sí.

Tabla 4. Correlaciones fenotípicas entre las variables altura de planta (AP), número de hojas presente (NHP) y número de hojas caídas (NHC) índice de la enfermedad foliar (IEE), índice de decoloración vascular (IDV) e índice de la enfermedad (IE) de plántulas de berenjena evaluadas bajo presión de inóculo de *Fusarium* sp. FS02.

Variables	NHP	NHC	IEF	IDV	IE
AP	**-0,63449**	**0,61626**	0,25825	0,23942 0,2598	0,34899
P>F	0,0009	0,0013	0,2231		0,0946
NHP	1	**-0,80740**	**-0,40653**	-0,24379	-0,38179
P>F		<,0001	0,0487	0,2510	0,0656
NHC		1	**0,66074**	**0,48532**	**0,65845**
P>F			0,0004	0,0162	0,0005
IEF			1	**0,43710**	**0,72553**
P>F				0,0327	<,0001
IDV				1	0,92399
P>F					<,0001
IE					1

Experimento 2. Evaluación de inductores de resistencia (IR)

El análisis de varianza a los 49 días después de aplicados los tratamientos mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos en relación con las variables AP, NHP, NHC, e IEF (Tabla 5). Las plántulas tratadas con las tres formulaciones de nutrientes superaron ampliamente al testigo en AP, NHP, NHC, e IEF; la mayor AP se alcanzó con la fuente rica en calcio, la cual aporta también nitrógeno, boro y aminoácidos libres. Por otro lado, la mayor caída de hojas se presentó en el testigo.

Tabla 5. Cuadrados medios del análisis de varianza y medias de tratamientos para las variables altura de planta (AP), número de hojas presente (NHP), número de hojas caídas de berenjena (NHC), índice de la enfermedad foliar (IEF) e índice de decoloración vascular (IDV) de plántulas de berenjena evaluadas bajo presión de inóculo de *Fusarium* sp. FS02.

Cuadrados Medios	GL	AP	NHP	NHC	IEF	IDV
CMT	3	86,06**	12,33**	12,30**	0,99**	21900*
CME	32	6,45	0,47	0,78	0,06	79,88
CV (%)		9,61	16,82	37,96	15,34	48,31
Tratamientos						
T1		22,40 c	2,33 b	4,00 a	2,44 a	2,33 a
T2		25,79 b	4,33 a	2,22 b	1,22 b	1,67 b
T3		29,43 a	4,67 a	1,78 b	1,11 b	1,44 b
T4		28,17ab	4,89 a	1,33 b	1,22 b	1,44 b

CMT: cuadrados médios de tratamentos; CME: Cuadrados medios del error experimental; CV: coeficiente de variación; GL: Grados de libertad; ** y * significancia de la prueba F de Snedecor al 1 % y 5 %, respectivamente. T1=testigo (aspersión de agua), T2: fuente rica en potasio (K); T3 = fuente rica en calcio (Ca); T4: fuente rica en fósforo. AP= altura de la planta, NHP: número de hojas presentes; NHC: número de hojas caídas, IEF: índice de la enfermedad en el follaje, IDV: índice de la decoloración vascular. Medias de tratamientos con las mismas letras no difieren significativamente, según la prueba de Tukey al 5 %.

Efecto de los inductores de resistencia (IR) en la incidencia y severidad

Los tratamientos constituidos por nutrientes minerales, aplicados al suelo (T2 y T3) o mediante aplicación foliar (T4), indujeron significativamente la resistencia de las plántulas de berenjena a la marchitez vascular, expresado como Índice de la decoloración vascular e índice de la enfermedad foliar (Tabla 5). La incidencia de la decoloración vascular cuando se emplearon los inductores IR, fue del 33 %; en cambio, en el testigo fue del 89 %. Además, las plántulas tratadas con IR desarrollaron síntomas leves en las raíces secundarias, mientras que, el testigo desarrolló síntomas de marchitez con necrosamiento interno en el sistema radicular (Figura 1).

Figura 1. Plántulas en muestreo destructivo después de la inoculación con *Fusarium* spp. FS02, notase necrosamiento de los haces vasculares en raíz principal.

Discusión

Experimento 1. Evaluación del Portainjerto

El uso de *S. mammosum* como patrón no afectó el desarrollo de la berenjena *S. melongena* Corpoica C015, coincidiendo con resultados obtenidos en otras investigaciones (Awu *et al.*, 2023; Bletsos, 2006); sin embargo, existen algunos estudios donde especies comerciales de Solanaceas injertadas con patrones silvestre han afectado el desarrollo de la copa (Bogoescu y Doltu, 2015), siendo importante el aporte de los resultados encontrados, como son la buena compatibilidad del patrón con la berenjena Corpoica C015 y la resistencia del patrón *S. mammosum* a la MV.

Con relación a la marchitez vascular por *Fusarium* spp. FS02, el uso del patrón silvestre, se considera una alternativa viable en el manejo de la marchitez vascular, al reducir significativamente la enfermedad en más del 64 %, coincidiendo con las investigaciones de Bletsos *et al.*, (2003), quien redujo la marchitez vascular en *S. melongena* injertada sobre *S. torvum* en 72 %. Según Castro *et al.* (2012), la protección que proporcionan los portainjertos suele atribuirse a la acumulación de compuestos químicos inductores de resistencia y a cambios citológicos e histológicos de los tejidos. Esta variedad de mecanismos de defensa es reflejo de la naturaleza poligénica de la interacción patrón-injerto (Awu *et al.*, 2023).

El resultado de este estudio sugiere que *S. mammosum* tiene un uso potencial para la producción de la berenjena injertada, ya que la marchitez vascular se reduce en términos de incidencia y severidad y no se afecta el desarrollo de la planta coincidiendo con investigaciones en cultivos pertenecientes a las solanáceas (Awu *et al.*, 2023; Bletsos, 2006; Bogoescu y Doltu, 2015; Lee, 2007; Ogundeji *et al.*, 2021).

Evaluación Inductores de Resistencia

Entre los tratamientos inductores de resistencia el mejor fue la fuente rica en calcio, lo que evidencia el papel de este elemento en la planta, al protegerla de los patógenos por su función estructural en las paredes celulares y laminilla media (Spann y Schumann, 2010); además de participar en un mejor desarrollo en la planta, manifestándose en mayor altura y número de hojas funcionales, redujo el nivel de daño en las raíces y en la marchitez vascular hasta un 56 %, coincidiendo estos resultados con los reportados en otras investigaciones (Altinok *et al.*, 2014; Hameed, 2011).

Conclusiones

El uso del portainjerto silvestre de *S. mammosum*, no afectó el desarrollo de la berenjena, *S. melongena* Corpoica C015; además, redujo significativamente la incidencia de la marchitez vascular en 67 %.

El número de hojas caídas estuvo correlacionado positivamente con los índices de la enfermedad, evidenciando que estos dos parámetros son confiables para determinar la severidad de la marchitez vascular en berenjena.

Las fuentes de nutrientes inorgánicos rica en potasio, calcio y fósforo, influyeron en una mayor resistencia a la marchitez vascular, manifestándose con un menor número de hojas caídas e índice de decoloración vascular; además, la incidencia de la enfermedad cuando se aplicaron los inductores de resistencia fue del 33 %, mientras que, en el testigo fue del 89 %.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los Autores

María del Valle Rodríguez-Pinto, Rodrigo Orlando Campo-Arana y Carlos Enrique Cardona-Ayala: Conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, administración del proyecto, revisión, escritura y edición.

Agradecimientos

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

Referencias

Acuña-Cinchila, P. y Garro-Alfaro, J. (2018). Potencial de producción del pichichio (*Solanum mammosum* L.) en el Caribe de Costa Rica. *Alcances Tecnológicos*,

11(1), 67-70. https://doi.org/10.35486/at.v11i1.29

Ad'Vincula, J., Matins, D. y Veiga, F. (2011). Controle da Murcha Bacteriana por meio da enxertia de tomate com jiló no município de Rio Branco – AC. *Cadernos de Agroecologia*, *6*(2), 4. https://aba-agroecologia.org.br/revista/cad/article/view/11416/7240

Agrios, G. (2011). *Fitopatología*. (6 edición). Editorial Limusa.

Agronet. (2020). *Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo*. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1

Altinok, H., Can, C., Boyaci, H. y Topcu, V. (2014). Genetic variability among breeding lines and cultivars of eggplant against *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* from Turkey. *Phytoparasitica*, *42*, 75-84. https://www.researchgate.net/publication/260524475_Genetic_variability_among_breeding_lines_and_cultivars_of_eggplant_against_Fusarium_oxysporum_f_sp_melongenae_from_Turkey

Araméndiz, H., Cardona, C., Jarma, A. y Espitia, M. (2008). *El cultivo de la berenjena (Solanum melongena L)*. Editorial Produmedios. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12720

Awu, J. E., Nyaku, S. T., Amissah, J. N., Okorley, B. A., Agyapong, P. J. A., Doku, F. E. y Nkansah, G. O. (2023). Grafting for sustainable management of *Fusarium* wilt disease in tomato production in Ghana. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*(100710), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100710

Bletsos, F., Thanassoulopoulos, C. y Roupakias, D. (2003). Effect of Grafting on Growth, Yield, and Verticillium Wilt of Eggplant. *HortScience*, *38*(2),183-186. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.2.183

Bletsos, F. (2006). Grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide for greenhouse eggplant production. *Scientia Horticulturae*, *107*, 325–331. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.09.003

Bogoescu, M., y Doltu, M. (2015). La optimización de la tecnología de cultivos de berenjenas por injerto. *Boletín de la Universidad de Ciencias Agrarias y Medicina Veterinaria de Cluj-Napoca. Horticultura*, *72*(2), 313-317. http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:10314

Cardona, J. (2013). *Evaluación de genotipos de ajíes (Capsicum spp.) resistentes a pudriciones radicales causadas por Fusarium sp. y Phythophtora capsici.* [Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21787/77100012013.pdf?sequence=1

Castellanos, L., De Mello, R. y Silva, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, *36*, 16-24. https://www.redalyc.org/pdf/1932/193243640002.pdf

Dey M. y Gosh, S. (2022). Arbuscular mycorrhizae in plant immunity and crop pathogen control. *Rhizosphere*, *22*(4), 100524. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100524

Dye, S. y Bostock, R. (2021). Eicosapolyenoic fatty acids induce defense responses and resistance to *Phytophtora capsici* in tomato and pepper. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *114*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101642

Farhat, H., Urooj, F., Sohail, N., Ansari, M. y Ehteshamul-Haque, S. (2022). Evaluation of nematicidal potential of endophytic fungi associated with healthy plants and GC-MS profiling of metabolites of endophytic *Fusarium solani*. *South African Journal of Botany*, *146*, 146-161. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.011

Fundación Hondureña de investigación agrícola [FHIA]. (2005). *Una planta nativa ayuda a incrementar los ingresos de los productores de berenjena China*. http://www.fhia.org.hn/descargas/programa_de_hortalizas/hoja_tecnica_No_06.pdf

Gisbert, S., Prohens, J. y Nuez, F. (2011). Performance of eggplant grafted onto cultivated wild, and hybrid materials of eggplant and tomato. *International Journal Plant Production*, *5*, 367-380. https://ijpp.gau.ac.ir/article_747.html

Hameed, F. (2011). Biocontrol of damping off and induce resistance of eggplant Cultivars by *Trichoderma harzianum*. *Kufa Journal for Agricultural Science*, *3*(1), 355-360. https://www.iasj.net/iasj/download/a046c2628c9ed6c0

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2022). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

Lee, S. G. (2007). Production of quality vegetable seedling grafts. *Acta Horticulturae*, *759*, 169-174. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.759.12

Mogollón, A. y Castaño, J. (2011). Efecto de inductores de resistencia en plántulas de plátano dominico hartón (*Musa*

balbisiana AAB) contra *Mycosphaerella* spp. *Revista Acadamia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *35*(137), 463-471. http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n137/v35n137a05.pdf

Mulero-Aparicio, A., Agustí-Brisach, C., Varo, A., López-Escudero, F. y Trapero, A. (2019). A non-pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* as a potential biocontrol agent against Verticillium wilt of olive. *Biological Control*, *139*, 104045, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104045

Ogundeji, A. O., Li, Y., Liu, X., Meng, L., Sang, P., Mu, Y., Wu, H., Ma, Z., Hou, J. y Li, Sh. (2021). Eggplant by grafting enhanced with biochar recruits specific microbes for disease suppression of Verticillium wilt. *Applied Soil Ecology*, *163*(103912), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103912

Pradhan, S., Sahu, G., Tripathy, P., Dash, S., Mishra, B., Jena, R. y Sahoo, T. (2017). Vegetable Grafting: A Multidimentional Approach for Crop Management in Vegetables. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(10), 3332-3345. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.390.

Rai, N., Limbu, A.K. y Joshi, A. (2020). Impact of *Trichoderma* sp. in agriculture: A mini-review. *Journal of Biology and Today's World*, *9*, 1-5. https://www.iomcworld.org/articles/impact-of-trichoderma-sp-in-agriculture-a-minireview.pdf

Patel, R., Mehta, K., Prajapati, J., Shukla, A., Parmar, P., Goswami, D. y Saraf. M. (2022). An anecdote of mechanics for *Fusarium* biocontrol by plant growth promoting microbes. *Biological Control*, *174*(105012), 1-16 https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105012

Sánchez, E., Torres, A., Flores, M. Preciado, P. y Márquez, C. (2015). Uso de portainjerto sobre el rendimiento, calidad del fruto y resistencia a *Phytophthora capsici* Leonian en pimiento morrón. *Nova Scientia*, *7*(15), 227-244. https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n15/2007-0705-ns-7-15-00227.pdf

Santema, B. (2015). *Control biológico de Fusarium spp. en berenjena utilizando Trichoderma harzianum y Bacillus subtilis; Ocós, San Marcos*. [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. Tesisjcem. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/15/Santema-Byron.pdf

Spann, T. y Schumann, A. (2010). Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. The Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. https://edis.ifas.ufl.edu/hs1181

Tamayo, P. y Jaramillo, J. (2013). Enfermedades del Tomate, Pimentón, Ají y Berenjena en Colombia. Guía para su diagnóstico y manejo. *Revista CORPOICA*, *164*, 50-53. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13267

Valenzuela, K. (2014). Evaluación de la capacidad antagónica de bacterias promotoras de crecimiento vegetal frente a tres aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen. [Tesis de especialización, Universidad Católica de Manizales]. Repositorio Institucional-Universidad Catolica de Manizales https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/928/1/Karen%20Tatiana%20Valenzuela%20Ospina.pdf

Velasco, M. (2013). Anatomía y manejo agronómico de plántulas injertadas con jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chapingo]. Repositorio Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/b81c7b30-47c7-42ff-99a8-75554cb5836d/content

Villa, A., Pérez, R., Morales, H., Basurto, M., Soto, J. y Martínez, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, *64*(2), 194-205. http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n2.43358