

Inoculación artificial para la evaluación de la resistencia al marchitamiento por fusarium en *Passiflora* ssp

Artificial inoculation for the evaluation of resistance to fusarium wilt in *Passiflora* ssp.

E. Rodríguez-Polanco^{1*}, A.G. Vera-Rodríguez¹, J.A. Marín-Colorado¹, L.F. Lopez-Hernandez², V. Valencia-Rodriguez¹, E.M. Rico-Sierra¹, E.B. Parra-Alferes¹

Resumen

La resistencia genética a *Fusarium* spp. en pasifloras es la alternativa más eficaz para el control de la enfermedad. **Objetivo:** Estandarizar un método de inoculación artificial con *Fusarium solani* (FS) en plantas de maracuyá (*Passiflora edulis* f *flavicarpa*) y cholupa (*Passiflora maliformis*), que reproduzca los síntomas y califique el grado de resistencia al hongo. **Metodología:** Se realizó un experimento de inoculación al sustrato con tres concentraciones de inóculo (1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 conidios/ g) e incisión al tallo, con aislamiento FS (HU-1) y un experimento de agresividad con cinco aislamientos de *Fusarium* spp. Se evaluó incidencia, periodo de infección, mortalidad, severidad en hojas (SH) y en cuello de raíz (SCR) y área bajo la curva del progreso de la enfermedad; empleando bloques completos al azar con 10 repeticiones. Los datos se analizaron por análisis de varianza no paramétrico mediante Kruskal-Wallis o Man-Whitney, diferencias entre tratamientos establecidas por test de Dunn, utilizando un script-R personalizado (ggstatsplot). **Resultados:** La inoculación del sustrato con 1×10^7 conidios/ g presentó valores intermedios y estadísticamente similares en incidencia y SCR con la concentración 1×10^8 conidios/ g de sustrato, por lo que se constituye una herramienta útil en el cribado y selección de fuentes de resistencia genética al hongo. **Conclusiones:** La cholupa presentó mayor resistencia a FS, se propone evaluar su tolerancia en campo y compatibilidad como portainjerto. Los aislamientos SEC114 (FS) y FUS2 *Fusarium oxysporum* (FO) fueron los más agresivos.

Palabras claves: *Passiflora edulis* f *flavicarpa*, *Passiflora maliformis*, marchitez por Fusarium, fruta amarilla de la pasión, cholupa, inoculación, aislamiento, patogenicidad, agresividad.

*Corresponding author

E. Rodríguez-Polanco^{1*} lrodriguezp@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0002-8553-2449>

A.G. Vera-Rodríguez¹ avera@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0002-7508-9594>

J.A. Marín-Colorado¹ jamarin@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0001-5628-4637>

L.F. Lopez-Hernandez² llopez@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0002-4967-6955>

V. Valencia-Rodriguez¹ vvalencia@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0001-5803-4172>

E. M. Rico-Sierra¹ emrico@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0003-4291-7119>

E.B. Parra-Alferes¹ ebayardo@agrosavia.co <https://orcid.org/0000-0003-2494-0120>

¹Centro de Investigación Nataima. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA., Tolima, Colombia.

²Centro de Investigación La Selva. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. Antioquia, Colombia.

Abstract

Genetic resistance to *Fusarium* spp. in passion fruit is the most effective alternative for controlling the disease. **Objective:** To standardize an artificial inoculation method with *Fusarium solani* (FS) in passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) and passion fruit (*Passiflora maliformis*) plants, which reproduces the symptoms and qualifies the degree of resistance to the fungus. **Methodology:** An inoculation experiment was carried out in the substrate with three inoculum concentrations (1X106, 1X107 and 1X108 conidia/g) and stem incision, with FS isolate (HU-1) and an aggressiveness experiment with five *Fusarium* spp. isolates. Incidence, infection period, mortality, leaf severity (SH) and root collar severity (SCR) and area under the disease progress curve were evaluated; using randomized complete blocks with 10 replicates. Data were analyzed by nonparametric analysis of variance using Kruskal-Wallis or Man-Whitney, differences between treatments established by Dunn's test, using a custom-R script (ggstatsplot). **Results:** Inoculation of the substrate with 1x107 conidia/g presented intermediate and statistically similar values in incidence and SCR with the concentration 1x108 conidia/g of substrate, so it constitutes a useful tool in the screening and selection of sources of genetic resistance to the fungus. **Conclusions:** Cholupa showed greater resistance to FS, it is proposed to evaluate its tolerance in the field and compatibility as a rootstock. The isolates SEC114 (FS) and FUS2 *Fusarium oxysporum* (FO) were the most aggressive.

Key words: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, *Passiflora maliformis*, *Fusarium* wilt, passion fruit, cholupa, inoculation, isolation, pathogenicity, aggressiveness.

Introducción

En Colombia existen cerca de 20693 ha en pasifloras (UPRA, 2023). Las principales especies de cultivo de pasifloras son maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener.), gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims.), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.), curuba [*Passiflora tripartita* (Juss.) Poir], cholupa (*Passiflora maliformis* L.) y badea (*Passiflora quadrangularis* L.). En el país se destaca *edulis* f. *flavicarpa* como la especie más cosechada abarcando el 64.57% (13362 ha) del total nacional; Antioquia es el departamento con mayor área cosechada (3968 has), seguido de Meta (3412 ha) y Huila con (1352 has) estos tres departamentos concentran el 65.34% (8732 ha) del área cosechada y 70.99% (158629,67 t) de la producción nacional de maracuyá (UPRA, 2023, González, 2023). En el 2022 en Colombia se exportaron cerca de 22988 tn de pasifloras como fruta fresca, la gulupa con el mayor porcentaje (84%), seguida de la granadilla (10%), el maracuyá (5%) y la curuba (1%), (ASOHOFRUCOL, 2021).

Dentro de las enfermedades más destructivas que afectan el maracuyá, se destaca la fusariosis, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (FOP) y la pudrición del cuello o secadera causada por *Fusarium solani* (FSP) (Tamayo, 1999, SIOC, 2021). Ambos patógenos ocasionan efectos similares en la planta, la infección inicia en las raíces en FOP y cuello de raíz en FSP, continúa con la colonización del sistema vascular de las plantas infectadas que adquiere una coloración rojiza en raíces, tallos y ramas, debido a la oxidación de compuestos fenólicos, la necrosis radicular y el colapso del xilema; que causan la obstrucción del transporte de agua y nutrientes esenciales en toda la planta, daño de tejidos,

marchitamiento, disminución del rendimiento y finalmente la muerte prematura de las plantas infectadas (Pereira et al., 2019, Garcés-Fiallos et al., 2017).

En Urrao (Antioquia) una de las principales regiones productoras de granadilla en el país, el área de cosechadas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) disminuyó considerablemente debido al ataque de FSP, pasando de 1600 ha sembradas a 200 ha de 1998 a 1999 (Tamayo, 1999) llegando a 87 ha en el 2023 (UPRA, 2023). En regiones productoras de granadilla y gulupa en los departamentos Boyacá, Cundinamarca y Huila el área cosechada viene reduciéndose progresivamente debido al daño ocasionado por FOP (UPRA, 2023).

El efecto devastador ocasionado por la secadera se debe a la alta susceptibilidad de todas las variedades de la especie *Passiflora edulis* Sims y otros materiales de importancia económica como gulupa, granadilla, cholupa, curuba y badea (Fischer & Rezende, 2008, SIOC, 2021). Además, FOS y FSP, son hongos que producen clamidosporas (estructuras de supervivencia) que pueden permanecer viables durante largos períodos en el suelo, (da Silva et al., 2017). Por lo tanto, una estrategia de control muy eficiente para estos patógenos ha sido seleccionar y emplear especies resistentes como portainjertos o variedades avanzadas desde programas de mejoramiento genético (Pires et al., 2022, Wu et al., 2025).

En Brasil ensayos realizados en suelos infestado con fusariosis (FOP) para determinar la supervivencia de los portainjertos de *P. gibertii*, *P. nitida* y *P. setacea* injertados con *P. edulis*, presentaron los primeros síntomas de la enfermedad a los 15 meses después de su siembra y la misma mediana de supervivencia 466 días, en comparación con las plantas de *P. edulis* sin portainjerto con un 80 % de plantas sintomáticas a los 15 meses y una mediana de supervivencia de 240 días, este incremento en la incidencia y mediana de supervivencia indico mayor resistencia al ataque de FOP en *P. gibertii*, *P. nitida* y *P. setacea* (Pereira et al., 2019). En el país, investigaciones previas indicaron mayor porcentaje de supervivencia por infección con FS en portainjertos de *P. maliformis* (87.5%), *P. quadrangularis* (87.5%) y *P. alata* (81.25%) a los 15 meses después de la siembra (Espinal Aguilar, 2021). Además *P. maliformis* tuvo un buen comportamiento agronómico con promedios de producción 36.5 kg/planta y rendimiento 20. 2 t/ha, aunque sin diferencias significativas con el control (*P. edulis* sin injertar con 36.4 kg/planta y 19.9 t/ha), (Espinal Aguilar, 2021).

Diferentes métodos de inoculación artificial han sido evaluados y ajustados a lo largo de los años para la selección de material de pasifloras resistente a FOP (Pereira et al., 2019, Pires et al., 2022; 2024) y FS (Ortiz et al., 2014, Ortiz and Hoyos-Carvajal, 2016, Martínez-Lemus et al., 2023). A pesar de algunos intentos, los protocolos de inoculación a estos patógenos aún necesitan ajustes, ya que factores como: aislamiento, condiciones ambientales, edad de la planta y método de inoculación, afectan la eficiencia y repetibilidad de la técnica (Lima et al., 2019, Pires et al., 2024).

Además, la selección de aislados fitopatógenos para el cribado de germoplasma de passiflora ha sido poco explorado (Melo et al., 2020, Pires et al., 2022). La selección y empleo de aislamientos más agresivos de FOP y FSP es clave en el cribado e identificación de especies o desarrollo de variedades de pasifloras resistentes a estos patógenos

Con base en estas consideraciones, el objetivo de este trabajo fue estandarizar un método de infección artificial para calificar el grado de la resistencia genética en diferentes especies de pasifloras y establecer diferencias en la agresividad de algunos aislamientos de *Fusarium* spp.

Materiales y métodos

Localización.

Los experimentos se llevaron a cabo de octubre del 2023 a enero del 2024 en el Laboratorio de Microbiología Agrícola y en los invernaderos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Nataima (Espinal, Tolima) Colombia, durante los experimentos la temperatura promedio fue de 34.00°C (± 1.41), con una humedad relativa de 31.78% (± 9.61).

Material vegetal

Para el estudio, se emplearon plantas de *P. edulis* f *flavicarpa* ASOPROFRUG y *P. maliformis* obtenidas a partir de semillas colectadas en el municipio de Suaza (Huila), las semillas se acondicionaron y sembraron en sustrato turba PINDSTRUP ORANGE más vermiculita en proporción (2:1), hasta que alcanzaron una edad entre 16 a 20 semanas de edad. Las plantas fueron mantenidas en un invernadero con una temperatura promedio 34.00°C (± 1.41) y humedad relativa de 31.78% (± 9.61).

Aislamiento e identificación molecular del hongo

Se colectó material de pasifloras con síntomas de fusariosis en plantaciones comerciales de maracuyá en los municipios de Suaza, La Plata y Rivera (Huila). El aislamiento y purificación del hongo se realizó mediante la metodología descrita por Texeira et al. (2017). Cada aislamiento fue purificado e identificado a especie mediante caracteres morfométricos con claves taxonómicas (Leslie & Summerell, 2007) y confirmados utilizando los marcadores moleculares ITS1, TEF-FU3, TEF-S4 y RPB2 (Parihar et al., 2025). Se obtuvieron siete aislamientos y los aislamientos SEC012, SEC053 y SEC114 fueron recibidos del C.I Tibaitata-AGROSAVIA.

Preparación y multiplicación del inóculo

El sustrato para multiplicar el inóculo, se preparó de acuerdo con Porter et al. (2015) con algunas modificaciones, se realizó una mezcla de 250 g de arroz y 120 ml de caldo de papa destroxa que fue depositada en una bolsa de polipropileno resistente a la autoclave de 500 g y esterilizada dos veces bajo presión (1.1 atm) durante 20 min con intervalo de 24 h. Después de la esterilización, se realizó la inoculación con 10 discos de micelio de 5 mm de FS- Aislamiento HU-1 crecido en medio PDA durante siete días a 28 °C (± 1 °C). Posteriormente, los empaques se incubaron durante 21 días a 28 °C (± 1 °C), bajo luz continua, con homogeneización manual cada tres días. Al finalizar el periodo de incubación se diluyó 1 g del inoculante en 10 mL de agua destilada estéril y se determinó la concentración de esporas con cámara de Neubauer.

Inoculación del material vegetal

El sustrato inoculado, se preparó mezclando 150 g de turba PINDSTRUP ORANGE humedecida (1.5 L de agua por cada 10 K) con 100 gr de vermiculita y diferentes cantidades del inóculo para obtener las concentraciones requeridas 1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 conidios/g de sustrato. También se incluyó un grupo control sin inocular (plantas sin *Fusarium*) para el análisis comparativo. Posteriormente las plantas de *P. edulis* y *P. maliformis* fueron trasplantadas, para esto cada bolsa de 500 g se llenó dos tercios de su capacidad con turba

humedecida y en el centro se realizó un orificio para introducir la plántula. Seguidamente, la bolsa se llenó completamente con la mezcla de turba humedecida y sustrato de arroz colonizado, asegurando que el inóculo se distribuyera uniformemente y estuviera en contacto con la base del tallo de la plántula. Se implementó un régimen de nutrición dos veces por semana aplicando soluciones de Hoagland y Arnon (Hoadgland & Arnon, 1950). El estado sanitario de las plantas se monitoreó continuamente.

Evaluación de métodos de inoculación y cribado de materiales por tolerancia

Se evaluaron cuatro tratamientos, tres por infección al sustrato con diferentes concentraciones (1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 conidios / g de sustrato) y un tratamiento de inoculación por incisión al tallo empleando un disco de micelio de 5 mm. El aislamiento HU-1 FS fue empleado debido a su alta agresividad previamente establecida.

El ensayo se estableció en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos, siete repeticiones y dos especies de pasifloras para un total de 56 unidades experimentales (UE).

Las variables registradas semanalmente fueron: incidencia o de afectación de las plantas por enfermedad empleando la fórmula Arauz (2011).

$$Incidencia = \frac{\text{Número de plantas con síntomas}}{\text{Número total de plantas en la muestra}} \times 100$$

La severidad en hojas (SH) y en el cuello de raíz (SCR) fue medida utilizando una escala de calificación propuesta por Martínez-Lemus et al. (2023). El periodo de incubación (PI) o Y inicial fue establecido como el tiempo en días desde la infección hasta la aparición de síntomas visibles de la enfermedad. El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC, por sus siglas en inglés) fue determinado por integración trapezoidal para las variables SCR, SH y PI (Madden, Hughes & van den Bosch, 2007). Las variables fueron medidas por un tiempo aproximado de 100 días después de la infección (DDI).

$$AUDPC = \sum_{i=9}^n \left\{ \left(\frac{y_i + y_{i+9}}{2} \right) (t_{i+9} - t_i) \right\}$$

Cuando se identificaron síntomas típicos de marchitez por *Fusarium*, se tomaron muestras del sistema radicular y parte del tallo de cada planta y se llevaron al laboratorio, donde se realizó el re-aislamiento del hongo empleando medios PDA y agar Komada (Komada, 1975). Las colonias aisladas se evaluaron después de cinco días para identificar macro y microconidios (Parihar et al., 2025).

Variabilidad en la agresividad de aislamientos de *Fusarium* spp.

Se evaluó la agresividad de cinco aislamientos de cinco aislamientos de *Fusarium* (Tabla 1), se inocularon plantas de 20 semanas de edad de *Passiflora edulis* f *flavicarpa* - ASOPROFRUG y *P. maliformis* por infección al sustrato con una concentración de 1×10^6 conidios/g.

El ensayo se estableció en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con dos especies de pasifloras, cinco aislamientos y siete repeticiones por tratamiento, para un total de 70 unidades experimentales (UE). Se evaluaron las mismas variables empleadas en

el experimento de evaluación de métodos de infección en nueve lecturas durante 96 días posteriores a la inoculación.

Cuando se identificaron plantas con síntomas típicos por *Fusarium*, se colectaron sustrato y raíces para re-aislamiento del hongo en PDA y agar Komada Komada, (1975) y observación de macro y microconidios del hongo en el microscopio de luz (Parihar et al., 2025).

Análisis estadístico

Con el fin de determinar si los datos seguían una distribución normal, se realizó una prueba de Shapiro para cada variable utilizando la función *shapiro.test* de R (R Core Team, 2024) y gráficos descriptivos como boxplot, QQ-plots e histograma de frecuencias. Como las variables no siguieron una distribución normal ni las distribuciones de probabilidad conocidas (e.g., normal, uniforme, exponencial, logística, beta, lognormal o gamma) validado por la función R *descdist* del paquete *fitdistrplus* (Delignette-Muller & Dutang, 2015), se procedió a un análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba Kruskal-Wallis o Man-Whitney, además del test de comparaciones múltiples de Dunn, utilizando un script-R personalizado con el paquete *ggstatsplot* (Patil, 2021).

Resultados y discusión

Colección e identificación de aislamientos

En total se obtuvieron 10 aislamientos de *Fusarium* spp. (Tabla 1), tres aislamientos fueron identificados como FS (HU-1, SEC114 y FUS4.1), seis como FO (HU-5, HU-2.1, HU-4, FUS4.2, FUS2 y SEC012) y uno como FOP (SEC053).

Tabla 1. Aislamientos de *Fusarium* spp colectados e identificación molecular

Código	Georeferenciación	ITS	Accesión*	%	TEF-FU3	Accesión	%	RPB2	Accesión	%
HU-1•	1°52'35.47"N 75°48.5'58.93" W	<i>F. solani</i>	OQ818167.1	99,12	<i>F. solani</i>	HQ731056.1	99,51	<i>F. solani</i>	KT884078.1	92,03
SEC053	2° 19' 52.342" N 75° 55.39' 1.67" W	<i>F. oxysporum</i>	JX045827.1	100	<i>F. oxysporum</i> f. <i>sp.passiflorae</i>	MW716462.1	100	<i>F. oxysporum</i>	MN45786.1	98,71
HU-5	2° 46' 55.369" N 75° 14.39' 282 "W	<i>F. oxysporum</i>	KX834820.1	99,6	<i>F. oxysporum</i>	OP272558.1	99,75			
HU-2.1•	2°23'13.107" N 75° 54.4' 2.85 "W	<i>F. oxysporum</i>	OP6811424.1	97,58	<i>F. oxysporum</i>	MT078489.1	99,5			
FUS2•	1°52'35.47"N 75°48.5'58.93" W				<i>F. oxysporum</i>	MN180671.1	99,75	<i>F. oxysporum</i>	KY637064.1	98,25
HU-4	2° 43' 45.690" N 75° 18.50' 650 "W	<i>F. oxysporum</i>	OR399526.1	100	<i>F. oxysporum</i>	MT163655.1	99,75	<i>F. oxysporum</i>	MN457543.1	99,66
FUS4.2	1°56'34.47"N 75°50.9'28.98" W	<i>F. oxysporum</i>	MN153518.1	100	<i>F. oxysporum</i>	DQ435356.1	99,49			
SEC012		<i>F. oxysporum</i>	KY817522.1	99,77	<i>F. oxysporum</i>	MT163655.1	99,75	<i>F. oxysporum</i>	OR248161.1	92,14
SEC114•	2° 46' 55.369" N 75° 14.39' 282 "W	<i>F. solani</i>	JN411816.1	99,46	<i>F. solani</i>	PP823893.1	100	<i>F. solani</i>	OP272134.1	96,3
FUS4.1•	1°52'35.47"N 75°48.5'58.93" W	<i>F. solani</i>	MH9998333.1	100	<i>F. solani</i>	LN827961.1	100	<i>F. solani</i>	MN892290.1	100

*Número de accesión en el GenBank. • Aislamientos en el ensayo de variabilidad en la agresividad de aislamientos.

Los resultados obtenidos en esta investigación corroboraron a *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* y *F. solani* como las especies asociadas a la enfermedad en maracuyá. Aunque la cantidad de aislamientos colectados fue baja (10) se observó que el 70% correspondieron a la especie FO y solo el 30% a FS, por lo que es importante incrementar las regiones y puntos de colecta para obtener un mayor número de aislamientos de estas especies fúngicas, que ayudará a realizar estudios de mayor envergadura sobre la diversidad genética de los *Fusarium* que atacan las pasifloras, susceptibilidad a los fungicidas, biocontroladores, micorrizas u otras alternativas para su control, entre otros posibles aspectos a estudiar.

En el país investigaciones anteriores, indicaron la presencia de diferentes especies de *Fusarium* asociados con las diferentes especies de pasifloras, en el caso de la marchitez vascular en maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*), en la región del Valle del Cauca, fueron identificadas las especies *F. incarnatum*, *F. proliferatum* y *F. solani* como causantes de la enfermedad, donde la especie *F. incarnatum* presentó mayor ocurrencia (Henao-Henao et al., 2018); en gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) en la región del Sumapaz fueron identificadas las especies *F. solani* y *F. oxysporum* como causantes de la enfermedad (Ortiz, 2012, Ortiz et al., 2014); en granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) estudios recientes asocian a *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* como el agente causal de la enfermedad (Salazar-Gonzalez et al., 2022, Osorio et al., 2020).

Este estudio propone continuar con la evaluación de los genes SIX para identificar la patogenicidad de los aislamientos de FO ya que las especies patógenas de *Fusarium* secretan proteínas únicas o efectores, "secretadas en la xilema" (SIX) que contribuyen a patogenicidad específica en maracuyá (Gamboa-Becerra et al., 2021, Thangavel et al., 2021). Los genes de patogenicidad SIX son objetivos atractivos para el diagnóstico molecular, ya que pueden descartar aislamientos ambientales que pueden coexistir en el mismo nicho (Lievens, Houterman & Rep, 2009) y rara vez se detectan en aislamientos no patógenos del complejo de especies de *Fusarium oxysporum* (FOSC) (Thangavel et al., 2021).

Estandarización del método de inoculación artificial

El progreso de la enfermedad fue mayor con el método de inoculación por incisión al tallo, con un comportamiento similar a nivel estadístico para la concentración 1×10^8 conidios/g de sustrato en la totalidad de las variables estudiadas (Tabla 2). Los valores más bajos de incidencia, SCR, SH se observaron en el método de inoculación 1×10^6 y estadísticamente diferentes de la incisión al tallo y 1×10^8 conidios/g de sustrato (Tabla 2).

La concentración 1×10^7 conidios/g de sustrato presentó un comportamiento intermedio en el progreso de síntomas de la enfermedad, por lo que se plantea su uso en el cribaje de materiales por respuesta a la infección con FS (Tabla 2).

Tabla 2. Medianas de incidencia, periodo de infección (PI), síntomas en hojas (SH), síntomas en el cuello de la raíz y plantas muertas por inoculación artificial en tres métodos de infección de sustrato y un método incisión al tallo en cholupa -criolla y maracuyá-ASOPROFRUG.

Métodos inoculación artificial	Incidencia	PI	SH	SCR	Mortalidad
1×10^8 conidios/g de sustrato	100 a	8.0 b	11.50 a	19 bc	2.5 a

1x10 ⁷ conidios/g de sustrato	100 a	8.0 b	2.50 b	11.75 ab	0 b
1x10 ⁶ conidios/g de sustrato	57.14 b	8.0 b	1 b	7 a	0 b
Incisión al tallo	100 a	7.0 a	29.75 a	28.25 c	5.0 a
<i>X</i> ² _{Kruskal-Wallis}	18.98	13.16	20.72	25.50	54.20
<i>P</i> valor	2.76 e-04**	4.3 e-03**	1.21 e-04**	1.21 e-05**	1.02 e-11**

Medianas con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$). Incidencia en porcentaje, Periodo de infección (PI) en días, SH y SCR en área bajo la curva del desarrollo de la enfermedad sin unidades y mortalidad de plantas en número.

La incidencia de plantas enfermas fue del 100% en el método de inoculación por incisión, 1X10⁸ y 1x10⁷ conidios/g de sustrato ($p=2.76$ e-04), mientras que 1x10⁶ presento una incidencia 42.86 % menor (Tabla 2). Un comportamiento similar se observó en la aparición de los síntomas de la enfermedad (PI) que fue un día menor para la incisión al tallo ($p=4.3$ e-03) comparado con las inoculaciones al sustrato a 1x10⁶, 1x10⁷ y 1x10⁸ conidios/g (Tabla 2).

El progreso de los síntomas de la enfermedad SCR y SH presentaron un comportamiento estadístico similar, los valores más altos fueron para la inoculación al tallo y 1X10⁸ conidios/g de sustrato (Tabla 2). Un comportamiento intermedio fue observado para 1x10⁷.

El total de plantas muertas los valores más altos fueron para inoculación al tallo y 1X10⁸ conidios/g de sustrato con valores de 5 y 2.5 respectivamente ($p=1.02$ e-11), lo que sugiere que la presencia de herida, en los tejidos del cuello o en los puntos de formación de raíces laterales, juega un papel importante en el progreso de esta enfermedad. Esto es debido a que la germinación de las esporas de *Fusarium* es estimulada por la secreción de exudados de las raíces, presencia de sitios de emergencia de las raíces laterales o de lesiones en la planta huésped; tras la germinación, se inicia el desarrollo de la hifa de infección que penetra la epidermis de la raíz en la punta (Sowmya et al., 2024).

Fischer et al. (2005) reportaron que el trasplante de plantas de maracuyá conduce inevitablemente a daños en las raíces y lesiones en el tallo, que aumenta su susceptibilidad a *Fusarium*, en nuestra investigación solo la concentración 1x10⁸ conidios /g de sustrato logro causar muerte dentro de los 96 DDI que se realizaron las observaciones, indicando la necesidad de ampliar la duración del periodo de evaluación.

Cribado por tolerancia

La cholupa-criolla exhibió mayor tolerancia a *F. solani* (HU-1) comparada con el maracuyá-ASOPROFRUG, con valores menores en incidencia, PI, progreso de síntomas en hoja (SH) y en cuello de la raíz (SCR), Tabla 3.

Tabla 3. Medianas de incidencia, Periodo de infección (PI), síntomas en hojas (SH), síntomas en el cuello de la raíz y plantas muertas en cholupa- criolla y maracuyá-ASOPROFRUG.

Genotipo	Incidencia	PI	SH	SCR	Mortalidad
Cholupa	85.71 b	8.0 b	1.5 b	10.5 b	0
Maracuyá	100 a	7.0 a	5.75 a	17.75 a	0
<i>W</i> _{mann-Whitney}	863.00	593.50	558.50	514.00	719.00

<i>P_{valor}</i>	5.75 e-03**	1.50 e-04**	5.89 e-03**	0.05*	0.38 ns
--------------------------	-------------	-------------	-------------	-------	---------

Medianas con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$). Incidencia en porcentaje, Periodo de infección (PI) en días, SH y SCR en área bajo la curva del desarrollo de la enfermedad sin unidades y mortalidad en número.

La cholupa-criolla presentó menor incidencia de plantas enfermas que el maracuyá-ASOPROFRUG ($p=5.75-03$) con valores de mediana de 85.71% y 100% respectivamente (Tabla3). La tolerancia de la cholupa (*P. maliformis*) a *F. solani* ya había sido previamente observada, su utilización como portainjerto en plantas de maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*) disminuyó la incidencia de pudrición del cuello con relación a las plantas no injertadas (Espinal et al. (2023). En ensayos de inoculación artificial con FS en *P. maliformis*, sugieren que desde estados fenológicos tempranos esta especie tiende a adquirir niveles de resistencia/tolerancia al ataque del patógeno, reflejados en la reversión de los síntomas a través de la emisión de rebrotes basales y la formación de geles en vasos del xilema (Forero et al., 2015).

La aparición de los síntomas (PI) fue un día mayor en cholupa-criolla ($p=1.50$ e-04) que en maracuyá-ASOPROFRUG, indicando un efecto mínimo en esta variable, contrario a lo reportado por Tamayo (1999), sobre detección de resistencia a *F. solani* en *P. maliformis*, demoraron la expresión y desarrollo de síntomas prologando la duración del ciclo de vida del patógeno indicando posiblemente la presencia de resistencia horizontal o poligénica en esta especie.

La escasa mortalidad en las plantas de las dos especies de pasifloras pudo ser debida al corto tiempo de evaluación del progreso de la enfermedad [96 días después de la inoculación (DDI)], estudios previos de infección con FS en *Passiflora edulis*, observaron que todos los aislamientos el hongo causaron la enfermedad, pero el progreso de los síntomas fue lento y superó los 100 días para causar muerte de plantas (Ortiz & Hoyos-Carvajal, 2016). Estudios de inoculación artificial con FS y FO en *P. edulis*, presentaron largos periodos de incubación, indicando que la variación de los factores ambientales (suelo y el clima) podrían modular el progreso de la enfermedad (Ortiz & Hoyos-Carvajal, 2016). En este sentido Lima et al. (2019) realizaron evaluaciones de resistencia a FOP en plantas de pasifloras sometidas a en condiciones de déficit hídrico controlado seguido de rehidratación, encontrando que se requiere un periodo mínimo de 150 DDI bajo estas condiciones para tener un cálculo más acerado de la mortalidad y supervivencia de las plantas. Esto puede ser debió a que el estrés hídrico aumenta la capacidad de colonización del tejido y la agresividad de FO y FS como fue observado en plantas de café (Gamboa-Becerra et al., 2021).

La cholupa-criolla presentó diferencia marginalmente significativa ($p=0.05$) en el progreso de los síntomas de cuello y raíz (SCR) con una mediana de 10.50 comparada con 17.75 observada en maracuyá -ASOPROFRUG (Tabla 3). Un comportamiento similar se encontró en los síntomas en hojas ($p=5.89$ e-03) con una mediana de 1.50 en cholupa-criolla frente al 5.75 del maracuyá-ASOPROFRUG.

Tamizaje por agresividad en aislamientos de *Fusarium* spp.

Independiente del aislamiento empleado la cholupa-criolla presentó incidencia 14.29% menor que la observada en maracuyá-ASOPROFRUG ($p=5.58$ e-03) y reducción del 35.48 % en el SCR comparado con maracuyá-ASOPROFRUG ($p=8.93$ e-04); SH y PI con

un comportamiento similar sin diferencias estadísticas significativas (*ns*) independiente del aislamiento empleado (Tabla 4).

Tabla 4. Medianas de incidencia, periodo de infección (PI), síntomas en hojas (SH), síntomas en el cuello de la raíz (SCR) y mortalidad en genotipos de cholupa- criolla y maracuyá-ASOPROFRUG inoculadas con tres aislamientos de FS (HU-1, SEC114 y FUS4.1) y dos aislamientos de FO (HU-2.1 y FUS2).

Genotipo	Incidencia	PI	SH	SCR	Mortalidad
Cholupa	85.71 b	7.0	5.5	10.0 b	0
Maracuyá	100 a	7.0	4	15.50 a	0
<i>W_{mann-Whitney}</i>	1502.00	497.50	642.00	894.50	922.50
<i>P valor</i>	5.58 e-06**	0.33 ns	0.73 ns	8.93 e-04**	0.14 ns

Independiente de la especie de pasiflora evaluada, los aislamientos HU-2.1 (FO) y FUS2 (FS) presentaron valores más altos en SCR y SH (Tabla 5 y 6). A pesar de que el aislamiento HU-2.1 (FO) presentó mayor incidencia total de la enfermedad en ambos genotipos, solo el aislamiento FUS2 (FO) causó muerte de plantas. El PI tuvo diferencias significativas ($p=1.36 \text{ e-}05$) entre aislamientos, donde los aislamientos HU-1(FS), HU-2.1 (FO) y FUS2 (FS) tuvieron los valores más bajos con 7.0 días (Tabla 6). La variabilidad en los resultados obtenidos en SCR e incidencia de *Fusarium* indicaron una amplia variabilidad en la agresividad de los aislamientos (Masachis et al. (2016).

Tabla 5. Medianas de incidencia, periodo de infección (PI), síntomas en hojas (SH), síntomas en el cuello de la raíz (SCR) y mortalidad en genotipos de cholupa- criolla y maracuyá-ASOPROFRUG inoculadas con tres aislamientos de FS (HU-1, SEC114 y FUS4.1) y dos aislamientos de FO (HU-2.1 y FUS2).

Especie	Aislamiento	Especie	SCR	Incidencia	Mortalidad
Maracuya- ASORPROFRUG (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	HU-1	<i>F. solani</i>	15 ab	100 a	0a
	FUS4.1	<i>F. oxysporum</i>	7.50 b	100 a	0a
	HU-2.1	<i>F.oxysporum</i>	15.50 a	100 a	0a
	FUS2	<i>F. solani</i>	16 a	100 a	0a
	SEC114	<i>F.solani</i>	16 a	100 a	0a
<i>X²_{Kruskal-Wallis}</i>			19.27	4.02	8.19
<i>P valor</i>			6.97 e-04**	0.4 ns	0.08 ns
Cholupa-Criolla (<i>Passiflora maliformis</i>)	HU-1	<i>F. solani</i>	8.0 a	85.71 ab	0b
	FUS4.1	<i>F. oxysporum</i>	13.5 a	100 a	0b
	HU-2.1	<i>F.oxysporum</i>	15.0 a	100 a	0b

	FUS2	<i>F. solani</i>	7.50 a	71.43 ab	1a
	SEC114	<i>F.solani</i>	8.0 a	57.14 b	0b
$X^2_{Kruskal-Wallis}$			9.75	20.43	27.08
<i>P valor</i>			0.04 ns	4.10 e-04**	1.92 e-05**

Tabla 6. Medianas de, periodo de infección (PI) y síntomas en hojas (SH), ocasionados por los aislamientos de FS (HU-1, SEC114 y FUS4.1) y dos aislamientos de FO (HU-2.1 y FUS2).

Aislamiento	identificación	PI	SH
HU-1	<i>F. solani</i>	7.0 a	3.0 a
FUS4.1	<i>F. solani</i>	7.0 ab	1.5 a
HU-2.1	<i>F.oxysporum</i>	7.0 b	9.25 b
FUS2	<i>F.oxysporum</i>	12 c	10 b
SEC114	<i>F.solani</i>	12 c	0.25 a
$X^2_{Kruskal-Wallis}$	-	27.82	32.86
<i>P valor</i>		1.36 e-05**	1.27 e-06**

La variabilidad en la agresividad observada entre los aislamientos puede explicarse por las diferencias en las condiciones climáticas de los sitios de donde se colectaron los aislamientos, que favorecen la coevolución genética, independientemente del patógeno (Daami-Remadi 2006). La variabilidad en la agresividad de los aislamientos de *Fusarium* puede estar también asociada con el reconocimiento de exudados radiculares del hospedante (Masachis et al. (2016), producción de toxinas que facilitan la penetración y colonización del tejido (Nirmaladevi et al. (2016), genes asociados con la patogenicidad y virulencia “genes SIX” (Galeana-Sánchez et al., 2017; Ding et al., 2020) que neutralizan los mecanismos de la interacción (Galeana-Sánchez et al. (2017).

En las condiciones experimentales semicontroladas como en las que se realizó este estudio, la variación en la agresividad entre aislamientos es en gran medida, de origen genético. Donde la selección y empleo de los aislamientos más agresivos de *Fusarium* en el cribado de especies y cultivares comerciales, permite una selección más rigurosa del nivel de resistencia presente en los mismos. Estos resultados indicaron que los dos aislamientos más agresivos HU-2.1 (FO) y FUS2 (FS) correspondieron a las dos especies más frecuentemente asociadas como causantes de la marchitez vascular en pasifloras, por lo que es importante ahondar en estudios que permitan identificar la prevalencia de las especies y agresividad en las especies comerciales de pasifloras más importantes para el país.

Conclusión

Los resultados respaldan el empleo de una concentración de inóculo superior (1×10^7) e inoculación al sustrato al presentar valores intermedios en el progreso de la enfermedad constituyéndose en herramientas útil en el cribado y selección de fuentes de resistencia

genética al hongo. El material regional de cholupa -criolla exhibió mayor tolerancia a FS comparado con el observado en maracuyá – ASOPROFRUG. Los aislamientos SEC114 (FS) y FUS2 *Fusarium oxysporum* (FO) fueron los más agresivos.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROASVIA y a la Gobernación del Huila por el financiamiento de este estudio mediante los recursos del SGR, derivados del Convenio Número SGR 2108, " Investigación y desarrollo de estrategias de tolerancia/resistencia a *Fusarium* spp. mediante selección genética para recuperar la productividad de pasifloras (granadilla y maracuyá) en el departamento del Huila", código BPIN 2021000100267".

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Declaración de la contribución de las personas autoras

Todas las personas autoras afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo. El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: E. R. P. 30%, A. G. V. 15%, J. A. M. 15%, L. F. L. 10%, V. V. R. 10%, E. M. R. 10%, E.B.P. 10%.

Declaración de disponibilidad de los datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio serán puestos a disposición por el autor correspondiente E. R. P, previa solicitud razonable.

Referencias

Arauz L. 2011. Fitopatología. Un enfoque agroecológico. 2nd edition. San José de Costa Rica: Universidad de Costa Rica. <https://editorial.ucr.ac.cr/agronomia/item/1906-fitopatologia-un-enfoque-agroecologico.html>.

ASOHOFRUCOL (Asociación Hortifrutícola de Colombia). 2021. Frutas y Hortalizas No. 75 Balance del sector Hortifrutícola 2020. [accesado 2025 Enero 21]. <https://www.asohofrucol.com.co/biblioteca/biblioteca?revistalib=3#revistas>.

Daami-Remadi, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Ayed, F. and El Mahjoub, M., 2006. Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot. *Journal of Agronomy*, 5(2), pp.350–355. <https://doi.org/10.3923/JA.2006.350.355>

Delignette-Muller ML, Dutang C. 2015. fitdistrplus : An R Package for Fitting Distributions. *Journal of Statistical Software*. 64(4). doi:10.18637/jss.v064.i04.

Ding Z, Xu T, Zhu W, Li L, Fu Q. 2020. A MADS-box transcription factor FoRlm1 regulates aerial hyphal growth, oxidative stress, cell wall biosynthesis and virulence in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Fungal Biology*. 124(3–4):183–193. doi:10.1016/J.FUNBIO.2020.02.001.

Espinal Aguilar F. 2021. Evaluación del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener), injertado en cinco especies de *Passiflora* L. Tesis, Máster en Ciencias Agrarias. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84677>.

Fischer IH, de Almeida AM, Fileti M de S, Bertani RM de A, de Arruda MC, Bueno CJ. 2010. Avaliação de Passifloraceas, fungicidas e Trichoderma para o manejo da Podridão-do-colo do maracujazeiro, causada por *Nectria haematococca*. Revista Brasileira de Fruticultura. 32(3):709–717. doi:10.1590/S0100-29452010005000090.

Fischer IH, Lourenço SA, Martins MC, Kimati H, Amorim L. 2005. Seleção de plantas resistentes e de fungicidas para o controle da podridão do colo do maracujazeiro causada por *Nectria haematococca*. Fitopatologia Brasileira. 30(3):250–258. doi:10.1590/S0100-41582005000300006.

Fischer IH, Rezende JAM. 2008. Diseases of Passion Flower (*Passiflora* spp.). Piracicaba, Brazil. [http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0812/PT_2\(1&2\)/PT_2\(1\)1-19o.pdf](http://globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0812/PT_2(1&2)/PT_2(1)1-19o.pdf).

Forero R, Ortiz E, León W de, Gómez JC, Hoyos-Carvajal L. 2015. Análisis de la resistencia a *Fusarium oxysporum* en plantas de *Passiflora maliformis* L. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 9(2):197–208. doi:10.17584/RCCH.2015V9I2.4174/417.

Galeana-Sánchez E, Sánchez-Rangel D, de la Torre-Hernández ME, Nájera-Martínez M, Ramos-Villegas P, Plasencia J. 2017. Fumonisin B1 produced in planta by *Fusarium verticillioides* is associated with inhibition of maize β -1,3-glucanase activity and increased aggressiveness. Physiological and Molecular Plant Pathology. 100:75–83. doi:10.1016/J.PMPP.2017.07.003.

Gamboa-Becerra R, López-Lima D, Villain L, Breitler JC, Carrión G, Desgarennes D. 2021. Molecular and Environmental Triggering Factors of Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* and *F. solani* Isolates Involved in the Coffee Corky-Root Disease. Journal of Fungi (Basel). 7(4). doi:10.3390/JOF7040253. [accessed 2024 Nov 13]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33801572/>.

Garcés-Fiallos FR, de Borba MC, Schmidt ÉC, Bouzon ZL, Stadnik MJ. 2017. Delayed upward colonization of xylem vessels is associated with resistance of common bean to *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. European Journal of Plant Pathology. 149(2):477–489. doi:10.1007/S10658-017-1197-6/FIGURES/6.

González, S.P., 2023. *Contexto de cadena pasifloras*. [online] Mosquera, Colombia. Available at: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37974/Ver_Documento_37974.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Henao-Henao ED, Hernández-Medina CA, Salazar-González C, Velasco-Belacazar ML, Gpomez-López ED. 2018. Identificación molecular de aislamientos de *Fusarium* asociados a maracuyá en el Valle del Cauca, Colombia. Agronomía Mesoamericana. 29(1). doi:10.15517/ma.v29i1.27114.

Junqueira NT, Braga M, Faleiro Fabio Gelape, Peixoto JR, Bernacci LC. 2005. Potencial de espécies silvestres de maracujazeiro como fonte de resistência a doenças. In: Faleiro F.G, Junqueira NTV, Braga MF, editors. Maracujá: Germoplasma e Melhoramento genético. Planaltina, Brazil: Embrapa. p. 80–108.

Komada H. 1975. Development of a Selective Medium for Quantitative Isolation of *Fusarium oxysporum* from Natural Soil. Review of Plant Protection Research.:114–125. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1575681>.

Leslie JF, Summerell BA. 2007. The *Fusarium* Laboratory Manual. The *Fusarium* Laboratory Manual.:1–388. doi:10.1002/9780470278376.

Lievens B, Houterman PM, Rep M. 2009. Effector gene screening allows unambiguous identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races and discrimination from other formae speciales. FEMS Microbiology Letters. 300(2):201–215. doi:10.1111/J.1574-6968.2009.01783.X.

Lima LKS, Jesus ON de, Soares TL, Oliveira SAS de, Haddad F, Girardi EA. 2019. Water deficit increases the susceptibility of yellow passion fruit seedlings to Fusarium wilt in controlled conditions. Scientia Horticulturae. 243:609–621. doi:10.1016/J.SCIENTA.2018.09.017.

Madden Laurence V., Hughes Gareth, van den Bosch Frank. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. Madden L, Hughes G, van den Bosch F, editors. Minnesota, USA: The American Phytopathological Society.

Martínez-Lemus EP, Osorio J, Hio JC, Cruz GN, Aguirre JE, Rojas E, Vergara JA. 2023. Artificial infection with *Fusarium solani* f.sp. *passiflorae* in plants of passion fruit under controlled conditions. Revista de Ciencias Agrícolas. 40(3):e3219–e3219. doi:10.22267/RCIA.20234003.219.

Masachis S, Segorbe D, Turrà D, Leon-Ruiz M, Fürst U, El Ghalid M, Leonard G, López-Berges MS, Richards TA, Felix G, et al. 2016. A fungal pathogen secretes plant alkalizing peptides to increase infection. Nature Microbiology 2016 1:6. 1(6):1–9. doi:10.1038/nmicrobiol.2016.43.

Nirmaladevi D, Venkataramana M, Srivastava RK, Uppalapati SR, Gupta VK, Yli-Mattila T, Clement Tsui KM, Srinivas C, Niranjana SR, Chandra NS. 2016. Molecular phylogeny, pathogenicity and toxigenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Scientific Reports. doi:10.1038/SREP21367.

Ortiz E, Cruz M, Melgarejo LM, Marquinez X, Hoyos-Carvajal L. 2014. Histopathological features of infections caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* in purple passionfruit plants (*Passiflora edulis* Sims). Summa Phytopathologica. 40(2):134–140. doi:10.1590/0100-5405/1910.

Ortiz E, Hoyos-Carvajal L. 2016. Standard methods for inoculations of *F. oxysporum* and *F. solani* in *Passiflora*. African Journal of Agricultural Research. 11(17):1569–1575. doi:10.5897/AJAR2015.10448.

Ortiz HE. 2012. Etiología de enfermedades asociadas a fusariosis en el cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) en la región del Sumapaz. Tesis, Mágister en Ciencias Agrarias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9567>.

Osorio, J. A.; Martínez, E. P.; Hio, J. C.; Aguirre, J. E.; Vergara, J. A.; Luque, N. Y.; Rojas, E. D. and Cruz, G. N. (2020). Caracterización sanitaria de los cultivos de granadilla, gulupa y maracuyá en Colombia, con especial referencia a la secadera causada por *Fusarium solani* f. sp. *passiflorae*. Mosquera: Agrosavia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35797>

Parihar TJ, Naik M, Mehraj S, Inam Ul Haq S, Perveen M, Malla IA, Abid T, Gul N, Masoodi KZ. Emergence of *Fusarium incarnatum* and *Fusarium avenaceum* in wilt affected solanaceous crops of the Northern Himalayas. Sci Rep. 2025 Jan 31;15(1):3855. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87668-3>. PMID: 39890856; PMCID: PMC11785773.

Patil I. 2021. Visualizations with statistical details: The “ggstatsplot” approach. Journal of Open Source Software. 6(61):3167. doi:10.21105/joss.03167.

Pereira PPA, Lima LKS, Soares TL, Laranjeira FF, Jesus ON de, Girardi EA. 2019. Initial vegetative growth and survival analysis for the assessment of *Fusarium* wilt resistance in *Passiflora* spp. *Crop Protection*. 121:195–203. doi:10.1016/J.CROPRO.2019.03.018.

Pires RA, de Jesus ON, Lima LKS, Laranjeira FF. 2024. pH range and substrate organic matter levels modulate the sporulation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* under controlled conditions. *European Journal of Plant Pathology*. 169(3):503–514. doi:10.1007/S10658-024-02846-9/FIGURES/3.

Pires RA, Jesus ON, Lima LKS, Silva LN, Laranjeira FF. 2022. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings. *European Journal of Plant Pathology*. 162(2):465–476. doi:10.1007/S10658-021-02417-2/FIGURES/4.

R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>.

Rentería-Martínez ME, Guerra-Camacho MÁ, Ochoa-Meza A, Moreno-Salazar SF, Varela-Romero A, Gutiérrez-Millán LE, Meza-Moller A del C, Rentería-Martínez ME, Guerra-Camacho MÁ, Ochoa-Meza A, et al. 2018. Multilocus phylogenetic analysis of fungal complex associated with root rot watermelon in Sonora, Mexico. *Revista mexicana de fitopatología*. 36(2):233–255. doi:10.18781/R.MEX.FIT.1710-1.

Salazar-Gonzalez C, Yela-Cacedo O, Gomez-Espinoza B, Salazar-Gonzalez C, Yela-Cacedo O, Gomez-Espinoza B. 2022. Molecular characterization of *Fusarium* spp. associated vascular wilt in passion fruit (*Passiflora ligularis* JUSS). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 39(2):33–46. doi:10.22267/RCIA.223902.180.

Silva A dos S, Oliveira EJ de, Haddad F, Laranjeira FF, Jesus ON de, Oliveira SAS de, Costa MAP de C, Freitas JPX de. 2013. Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. *Tropical Plant Pathology*. 38(3):236–242. doi:10.1590/S1982-56762013005000008. [accessed 2024 Nov 13]. <https://www.scielo.br/j/tpp/a/w8yFsjzqgG8tYM38TZrx4Mf/>.

da Silva RM, Ambrósio MM de Q, de Aguiar AVM, Faleiro FG, Cardoso AMS, Mendonça V. 2017. Reação de cultivares de maracujazeiro em áreas com fusariose. *Summa Phytopathologica*. 43(2):98–102. doi:10.1590/0100-5405/2217.

SIOC (Sistema de Información de Gestión y Desempeño de las Organizaciones de Cadenas). 2021. Cadena de Pasifloras Indicadores e instrumentos. Bogotá DC.

Sowmya M, Giridhar K, Priya BT, Lakshmi TV, Kalpana M. Biochemical, histological and molecular investigations of coriander genotypes against *Fusarium* wilt. *Plant Science Today*. 2024; 11(sp3): 339-348. <https://doi.org/10.14719/pST.4211>

Tamayo PJ. 1999. Estudio para el control de la secadera (*Nectria haematococca* Berk. y Br.) de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.): evaluación de patrones existentes y prácticas de manejo integrado. Rionegro. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12252>.

Thangavel R, Pattemore JA, Rebijith KB, Grbavac N, Ganey S, Chan N, Pearson HG, Alexander BJR. 2021. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* infecting passionfruit in New Zealand in a changing taxonomic landscape. *Australasian Plant Pathology*. 50(4):365–377. doi:10.1007/S13313-021-00782-4/FIGURES/5.

UPRA (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria). 2023. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. EVA 2023. [accessed 2025 Jan 21]. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2023.aspx.

