



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA
VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA
PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE
NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO
RURAL**

P R E S E N T A:

MICHELL ALEXANDER RIOS LIRA

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Víctor López Martínez

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Daniel Perales Rosas

Cuernavaca, Morelos.

Junio de 2026



Caracterización del agente causal, tolerancia varietal y estrategias de control para la pudrición radicular en el cultivo de la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch).

Tesis realizada por **Michell Alexander Ríos Lira** bajo la Dirección del Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y DESARROLLO RURAL

COMITÉ REVISOR

Director: _____
Dr. Víctor López Martínez

Codirector: _____
Dr. Daniel Perales Rosas

Revisor: _____
Dr. Irán Alía Tejacal

Revisor: _____
Dra. María Claudia Rueda Barrientos

Revisor: _____
Dr. Porfirio Juárez López

Revisor: _____
Dr. Óscar Gabriel Villegas Torres

Revisor: _____
Dra. Erika Román Montes de Oca

Revisor: _____
Dra. Mairel Valle de la Paz

Cuernavaca, Morelos, 16 de junio de 2026.

DEDICATORIA

Om Namah Shivaya. A Shiva, mi Dios y guía espiritual, por ser la fuerza interna que transforma el caos en creación. Gracias por darme la voluntad inquebrantable para recorrer este sendero y por recordarme que, en la danza de la vida, cada final es solo un nuevo comienzo.

Al Dr. Dagoberto Guillén Sánchez (†), mi mentor y motor de este sueño. Gracias por haber sembrado en mí la semilla de la curiosidad y por motivarme a iniciar este doctorado. Mi mayor aspiración profesional es honrar su legado, trabajando con la misma entrega y excelencia que él me enseñó; espero algún día llegar a ser el ser humano y el profesional que él fue.

A mi madre, Leticia Lira Álvarez, mi pilar inamovible. Gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, sin soltarme jamás. Desde el primer día de este doctorado, tu apoyo fue la base sobre la cual construí este éxito; gracias por creer en mí cuando el camino se ponía difícil.

A mi padre, Miguel Ríos, por la lección más valiosa de mi vida. Nunca olvido que desde que era una niña me enseñaste el valor de la responsabilidad y la importancia de cumplir con integridad y puntualidad. Esas enseñanzas son las que me han permitido llegar hasta aquí y siguen siendo mi brújula en cada proyecto que emprendo.

A mi hermana, Jocelyn Ríos, a quien amo con todo mi corazón. Te admiro profundamente por tu valentía y por todo lo que has logrado tú sola, abriéndote paso con esa fuerza que te caracteriza. Eres mi orgullo y mi inspiración constante.

A mi esposo, Joel Moreno Martínez, mi compañero de vida. Gracias por tu paciencia infinita, por estar presente en cada desvelo y por confiar en mi capacidad incluso más que yo misma. Este título también es fruto de tu amor y de tu apoyo incondicional.

A mis amados Chino y Raja, mis hijos de cuatro patas. Gracias por desvelarse conmigo noche tras noche, por sus juegos que me devolvían la calma y por ser la motivación más pura para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero otorgado Núm. 1001048.

A mi Comité Tutoral, quienes coadyuvaron en el logro de los objetivos y pulieron el trabajo.

Al Dr. Víctor López Martínez, por su dirección, orientación y apoyo incondicional durante todo el desarrollo de esta investigación.

A los productores cooperantes de los viveros de Morelos, Ciudad de México y Puebla, por facilitar el acceso a sus instalaciones y material vegetal.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY	vi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Hipótesis	5
Literatura citada	6
CAPÍTULO II. Primer registro de <i>Fusarium oxysporum</i> causante de marchitez vascular en nochebuena (<i>Euphorbia pulcherrima</i>) en México	9
Resumen	10
Introducción	11
Materiales y métodos	13
Resultados y discusión	19
Conclusiones	28
Literatura citada	29
CAPÍTULO III. Tolerancia varietal de nochebuena (<i>Euphorbia pulcherrima</i>) a la marchitez vascular inducida por <i>Fusarium oxysporum</i>	36
Resumen	37
Introducción	38
Materiales y métodos	39
Resultados y discusión	41
Conclusiones	45
Literatura citada	46
CAPÍTULO IV. Control <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> de <i>Fusarium oxysporum</i> en nochebuena con tratamientos alternativos	49
Resumen	50
Introducción	51
Materiales y métodos	53
Resultados	55
Discusión	60
Conclusiones	61
Literatura citada	62

CAPÍTULO V. Efecto de diferentes fuentes de ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum in vitro</i>	67
Resumen.....	68
Introducción	70
Materiales y métodos	71
Resultados	73
Discusión.....	76
Conclusiones	77
Literatura citada	78
CONCLUSIONES GENERALES	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 (Cap. III). Efecto de la inoculación con <i>F. oxysporum</i> sobre variables morfológicas, biomasa y contenido de clorofila en variedades de nochebuena .	44
Cuadro 2 (Cap. III). Incidencia y severidad de la marchitez vascular en tres variedades de nochebuena.....	44
Cuadro 3 (Cap. IV). Concentraciones utilizadas en los tratamientos evaluados <i>in vitro</i>	54
Cuadro 4 (Cap. IV). Concentraciones, volúmenes y frecuencias de aplicación <i>in vivo</i>	55
Cuadro 5(Cap. IV). Efecto de tratamientos sobre el crecimiento micelial <i>in vitro</i>	56
Cuadro 6 (Cap. IV). Efecto de tratamientos sobre el crecimiento vegetativo	58
Cuadro 7 (Cap. IV). Incidencia y severidad bajo diferentes tratamientos	59
Cuadro 1 (Cap. V). Fuentes y concentraciones de SA evaluadas.....	72
Cuadro 2 (Cap. V). Efecto de diferentes fuentes de SA sobre crecimiento micelial	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 (Cap. II). Expresión diferencial de síntomas de marchitamiento severo en tres cultivares de nochebuena	20
Figura 2 (Cap. II). Caracterización cultural y microscópica de cepas de <i>F. oxysporum</i>	22
Figura 3 (Cap. II). Prueba de patogenicidad en plantas de nochebuena (<i>Euphorbia pulcherrima</i>). Se observan los síntomas de marchitez progresiva y clorosis en las plantas inoculadas con <i>Fusarium oxysporum</i> , en comparación con el desarrollo normal del tratamiento testigo.....	23
Figura 4 (Cap. II). Árbol filogenético bayesiano basado en ITS basado en secuencias de la región ITS, mostrando la posición de los aislados F1, F2 y F3 dentro del <i>Fusarium oxysporum</i> species complex (FOSC).	25
Figura 5 (Cap. II). Árbol filogenético bayesiano basado en TEF-1 α demostrando la resolución de los aislados F1, F2 y F3 dentro del clado del <i>Fusarium oxysporum</i> species complex (FOSC).	27
Figura 1 (Cap. III).Efecto de tratamientos químicos, biológicos y naturales sobre el crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> en condiciones <i>in vitro</i> . De izquierda a derecha y de arriba a abajo: ácido salicílico 100, 150 y 500 ppm; tiofanato de metilo 50 ppm; neem 250 ppm; tiofanato de metilo 150 ppm; <i>Trichoderma harzianum</i> 100 y 60 ppm; tiofanato de metilo 100 ppm; neem 500 ppm; <i>Trichoderma harzianum</i> 30 ppm y testigo sin tratamiento.	57
Figura 2(Cap. III). Efecto de tratamientos sobre el desarrollo de <i>Euphorbia pulcherrima</i> inoculada con <i>Fusarium oxysporum</i> en condiciones de invernadero. Se observa el vigor conservado en plantas tratadas con ácido salicílico 150 mg L ⁻¹ , <i>Trichoderma harzianum</i> 2.0 g L ⁻¹ , tiofanato de metilo 1.5 g L ⁻¹ y neem 100 mL L ⁻¹ , en contraste con el colapso total del testigo y el severo deterioro del testigo sin tratamiento 900 mL L ⁻¹	60
Figura 1 (Cap. V) Efecto de diferentes fuentes y concentraciones de ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> en condiciones <i>in vitro</i> . Fila superior de izquierda a derecha: testigo, Aspirina® 150 ppm, Aspirina® 50 ppm, Sedarine® 150 ppm y Sedarine® 50 ppm. Fila inferior: Aspirina® 100 ppm, Sedarine® 100 ppm, SA puro 50 ppm, SA puro 150 ppm y SA puro 100 ppm. Se observa la inhibición progresiva del crecimiento micelial conforme aumenta la pureza de la fuente, con la colonia más pequeña en SA puro 100 ppm	75

RESUMEN

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es una de las plantas ornamentales de mayor importancia económica en México, donde su producción en viveros se ve severamente afectada por la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*. Sin embargo, la identificación precisa del agente causal, la respuesta diferencial de las variedades comerciales y las alternativas de control sostenible han sido escasamente documentadas en el país. El objetivo general de esta investigación fue identificar morfológica y molecularmente al agente causal de la pudrición radicular en nochebuena, evaluar la tolerancia varietal y desarrollar estrategias de control integrado. En el Capítulo II se identificó mediante caracterización morfológica, pruebas de patogenicidad y análisis filogenéticos bayesianos (ITS y TEF-1 α) a *F. oxysporum* species complex (FOSC) como agente causal, constituyendo el primer registro formal en México. En el Capítulo III se evaluó la susceptibilidad de tres variedades comerciales (Prestige Red, Freedom Red y Sorbet White); Prestige Red mostró la mayor susceptibilidad (90% incidencia, 75% severidad), mientras que Sorbet White destacó por su alta tolerancia (20% incidencia, 10% severidad). En el Capítulo IV se evaluaron tratamientos químicos, biológicos y extractos vegetales; el ácido salicílico a 150 mg L⁻¹ fue el más efectivo, reduciendo la incidencia a 30% y la severidad a 20%. En el Capítulo V se compararon tres fuentes de ácido salicílico; el SA puro grado USP a 100 ppm alcanzó 75% de inhibición micelial, superando significativamente a Sedarine® y Aspirina®. Estos resultados aportan información fundamental para el manejo fitosanitario integrado de la fusariosis en nochebuena.

Palabras clave: *Fusarium oxysporum*, nochebuena, marchitez vascular, tolerancia varietal, ácido salicílico, control biológico, filogenia

SUMMARY

Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) is one of the most economically important ornamental plants in Mexico, where nursery production is severely affected by vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum*. However, precise identification of the causal agent, differential response of commercial varieties, and sustainable control alternatives have been scarcely documented in the country. The general objective of this research was to morphologically and molecularly identify the causal agent of root rot in poinsettia, evaluate varietal tolerance, and develop integrated control strategies. In Chapter II, *F. oxysporum* species complex (FOSC) was identified through morphological characterization, pathogenicity tests, and Bayesian phylogenetic analyses (ITS and TEF-1 α), constituting the first formal record in Mexico. In Chapter III, the susceptibility of three commercial varieties (Prestige Red, Freedom Red, and Sorbet White) was evaluated; Prestige Red showed the highest susceptibility (90% incidence, 75% severity), while Sorbet White exhibited high tolerance (20% incidence, 10% severity). In Chapter IV, chemical, biological, and botanical treatments were evaluated; salicylic acid at 150 mg L⁻¹ was the most effective, reducing incidence to 30% and severity to 20%. In Chapter V, three salicylic acid sources were compared; pure USP-grade SA at 100 ppm achieved 75% mycelial inhibition, significantly outperforming Sedarine® and Aspirin®. These results provide fundamental information for integrated phytosanitary management of fusariosis in poinsettia.

Key words: *Fusarium oxysporum*, poinsettia, vascular wilt, varietal tolerance, salicylic acid, biological control, phylogenetic

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es una planta de contenedor que ocupa un lugar preponderante en la industria florícola mundial, estrechamente vinculada a la temporada navideña. Se estima que anualmente se producen alrededor de 61 millones de plantas en Estados Unidos y cerca de 40 millones en Europa (Islam *et al.*, 2013), mientras que en 2024 las ventas en el mercado estadounidense alcanzaron los 209 millones de dólares (USDA-NASS, 2024). La especie es nativa de México, se distingue por sus vistosas brácteas coloreadas, cuya pigmentación se debe a la acumulación de antocianinas regulada por el fotoperiodismo bajo condiciones de día corto (Vilperte *et al.*, 2019). El principal atractivo estético y comercial de la nochebuena reside en las características de la bráctea: su color, su forma y su tamaño (Canul-Ku *et al.*, 2017), y la disponibilidad de distintas formas, colores y tamaños de contenedor estimula continuamente la demanda del consumidor (Posadas *et al.*, 2023).

La diversidad de colores presente en las variedades actuales es fruto de décadas de trabajo en mejoramiento genético, tanto por cruzamiento clásico como por mutagenesis con radiación (Vilperte *et al.*, 2019). A nivel molecular, el gen DFR ha sido identificado como promotor de la acumulación de antocianinas durante la transición de hojas verdes a brácteas rojas (Gu *et al.*, 2018). Empresas como Ecke Ranch, Selecta One, Dümmer Orange y Syngenta Flowers han liderado los programas de mejora, enfocándose en obtener variedades con mejor retención de hojas y brácteas, hábito compacto, mayor ramificación, floración más temprana y una paleta más amplia de colores (Ecke *et al.*, 2004).

En México, la nochebuena posee un significado que trasciende lo meramente económico, pues está profundamente arraigada en la cultura y tradiciones del país. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en 2024 se sembraron 422.89 hectáreas en siete entidades, con una producción de 29,514,739 plantas y un valor de producción de 1,124,983,500 pesos (SIAP, 2024). Morelos encabeza la producción nacional con 8,748,438 plantas en 145 hectáreas y un valor

de 375 millones de pesos, seguido de Michoacán con 11,340,258 plantas en 144 hectáreas, Ciudad de México con 3,260,291 plantas, Puebla con 3,102,944 plantas, Jalisco con 1,876,117 plantas, Estado de México con 1,163,302 plantas y Oaxaca con 23,387 plantas (SIAP, 2024). Un aspecto que merece atención es que la producción nacional está basada en más de 60 variedades comerciales, todas generadas fuera de México (Canul-Ku *et al.*, 2017), situación que genera dependencia varietal y eleva los costos por concepto de regalías (Márquez-Márquez *et al.*, 2017).

No obstante la importancia del cultivo, la producción de nochebuena en viveros e invernaderos enfrenta diversos problemas fitosanitarios que pueden comprometer seriamente su calidad y rentabilidad. Las condiciones de alta humedad en el sustrato, propias de estos sistemas de producción intensiva, favorecen la aparición de enfermedades causadas por patógenos del suelo (Garibaldi *et al.*, 2016). Al ser una especie leñosa propagada vegetativamente, la nochebuena resulta susceptible a un amplio espectro de enfermedades: desde problemas foliares como el tizón por *Botrytis*, el mildiú polvoriento, la mancha bacteriana por *Xanthomonas* y la antracnosis, hasta enfermedades de raíz y tallo causadas por *Pythium*, *Phytophthora*, *Thielaviopsis*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* (Daughtrey, 2016). El manejo de este conjunto de enfermedades demanda un enfoque integrado que combine resistencia varietal con estrategias culturales, biológicas y químicas (Gullino *et al.*, 2015).

Entre los patógenos fúngicos que representan una amenaza para la nochebuena, el complejo de especies *Fusarium oxysporum* (FOSC) merece atención particular. Se trata de un hongo habitante del suelo, económicamente importante, que alberga tanto cepas patógenas como no patógenas. Su clasificación taxonómica ha resultado compleja, pues en su concepto actual *F. oxysporum* constituye un complejo de numerosas especies crípticas cuya delimitación se ve dificultada por la falta de material tipo vivo de referencia y la coexistencia de múltiples sistemas de clasificación subespecíficos (Lombard *et al.*, 2019). Las cepas patógenas penetran a través de las raíces e invaden el sistema vascular colonizando el xilema, lo que provoca la obstrucción del flujo de agua y nutrientes (Gordon, 2017). Como consecuencia, las plantas desarrollan síntomas característicos: amarillamiento del follaje —

frecuentemente unilateral—, marchitez progresiva, decoloración parda de los tejidos vasculares, defoliación y, en última instancia, la muerte (Gullino *et al.*, 2015). Dado que la morfología resulta insuficiente para distinguir las especies dentro del FOSC, su identificación precisa exige el empleo de análisis filogenéticos basados en marcadores moleculares como el factor de elongación de la traducción 1- α (TEF-1 α), la región del espaciador transcrito interno (ITS) y la subunidad mayor de la ARN polimerasa II (RPB2) (O'Donnell *et al.*, 1998; Lombard *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2022).

En lo que respecta específicamente a la nochebuena, la marchitez y pudrición de tallo asociadas al FOSC han sido documentadas en Europa en años recientes. Orlikowski *et al.* (2007) describieron por primera vez la pudrición por *Fusarium* como una enfermedad nueva en nochebuena en Polonia. Posteriormente, Tilocca *et al.* (2019) reportaron en Italia el primer hallazgo de un miembro del FOSC afectando a *E. pulcherrima*, con síntomas que se originaron a nivel del cuello y progresaron hasta provocar el colapso completo del tallo. En México, Osuna-Cañizalez *et al.* (2018) evaluaron el biocontrol de la pudrición de raíz de nochebuena con *Trichoderma* spp. en viveros de Morelos, aunque la identificación del agente causal se limitó al nivel de género. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de realizar una identificación precisa del patógeno mediante herramientas moleculares, así como de generar información sobre la respuesta diferencial de las variedades comerciales y las alternativas de control sostenible disponibles.

Ante este panorama, el ácido salicílico (SA) ha despertado un creciente interés como alternativa para el manejo de enfermedades fúngicas. Se trata de una fitohormona que desempeña un papel central en la inmunidad de las plantas, particularmente en la activación de la resistencia sistémica adquirida (SAR), un mecanismo de defensa duradero y de amplio espectro (Vlot *et al.*, 2009). Lo especialmente atractivo del SA es su mecanismo de acción dual: fortalece las defensas de la planta y, simultáneamente, puede actuar directamente sobre el patógeno. Morsy *et al.* (2022) demostraron que la aplicación exógena de SA inhibe el crecimiento micelial, la producción de esporas y la patogenicidad de *F. oxysporum* al interferir con la ruta de señalización TOR del hongo. Abou-Zeid *et al.* (2018) reportaron niveles de severidad de apenas 21.6 % en plantas

de pimiento tratadas con SA, lo que subraya el potencial de este compuesto como herramienta dentro del manejo integrado.

De manera complementaria, los agentes de biocontrol del género *Trichoderma* han sido ampliamente estudiados por su capacidad para combatir patógenos habitantes del suelo. *Trichoderma harzianum* ha mostrado resultados destacados en el control de la marchitez vascular por *F. oxysporum* en cultivos diversos, mediante mecanismos que incluyen la producción de enzimas líticas, competencia por espacio y nutrientes, parasitismo directo sobre las hifas del patógeno, inducción de resistencia y promoción del crecimiento vegetal (Woo *et al.*, 2014). Yadav *et al.* (2024) reportaron inhibición micelial *in vitro* de hasta 64 % y Kumari *et al.* (2020) evidenciaron su efectividad en el manejo de la marchitez en campo, resultados que posicionan a *T. harzianum* como un componente clave en las estrategias de manejo integrado.

Considerando los vacíos de información existentes en México sobre la etiología precisa de la marchitez vascular en nochebuena, la respuesta diferencial de las variedades comerciales frente al patógeno y la limitada evaluación de alternativas de control sostenible, la presente investigación se diseñó con el propósito de generar información que contribuya a la protección integral de este cultivo.

OBJETIVO GENERAL

Identificar el agente causal de la enfermedad, determinar la tolerancia varietal y evaluar la eficacia de alternativas de control químico y biorracional de la pudrición radicular en plantas de nochebuena cultivadas en viveros del centro de México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el agente causal de la pudrición radicular en plantas de nochebuena cultivadas en viveros del centro de México, mediante caracterización morfológica y molecular, para confirmar la etiología de la enfermedad
- Evaluar la tolerancia varietal de tres cultivares comerciales de nochebuena mediante inoculación controlada condiciones de invernadero para determinar su nivel de susceptibilidad ante el patógeno identificado.
- Evaluar la eficacia de tratamientos químicos, biológicos y extractos vegetales en plantas de nochebuena, mediante mediante ensayos *in vitro* e *in vivo* para determinar alternativas viables de manejo de la pudrición radicular.
- Comparar el efecto de diferentes fuentes de ácido salicílico, mediante pruebas de inhibición del crecimiento micelial *in vitro*, para establecer su potencial como agente antifúngico contra el patógeno asociado.

HIPÓTESIS GENERAL

La susceptibilidad varietal y la aplicación de tratamientos químicos y biorracionales influirán en el desarrollo y control del agente causal de la pudrición radicular en la nochebuena.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La caracterización mediante técnicas morfológicas y moleculares permitirá identificar al agente causal de la pudrición radicular en plantas de nochebuena.
- Al menos un cultivar comercial de nochebuena presentará una tolerancia a la enfermedad significativamente superior al resto.

- Los tratamientos químicos, biológicos y botánicos evaluados presentarán una eficacia sobresaliente para el control del patógeno bajo condiciones *in vitro* e *in vivo*.
- La fuente de obtención del ácido salicílico influirá directamente en su capacidad de inhibición sobre el crecimiento del patógeno

Literatura citada

- Abou-Zeid, M. N., Mahmoud, N. y Saleh, R. (2018). Effect of biotic and abiotic applications on control of Fusarium wilt of pepper plants. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 46(1), 1–18.
- Canul-Ku, J., García-Pérez, F., Barrios-Gómez, E. J., Rangel-Estrada, S. E., Ramírez-Rojas, S. y Osuna-Canizalez, F. J. (2017). Variación generada mediante recombinación genética en *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. *Agroproductividad*, 10(8), 13–17.
- Daughtrey, M. L. (2016). Diseases of poinsettia. En R. J. McGovern y W. H. Elmer (Eds.), *Handbook of Florists' Crops Diseases* (pp. 1–28). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39670-5_39
- Ecke, P., III, Faust, J. E., Williams, J. A. y Higgins, A. (2004). *The Ecke poinsettia manual*. Ball Publishing.
- Garibaldi, A., Gilardi, G. y Gullino, M. L. (2016). *Fusarium oxysporum* as a pathogen of ornamental plants. *Journal of Plant Pathology*, 98(1), 25–34.
- Gordon, T. R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095919>
- Gu, Z., Chen, H., Yang, R. y Ran, M. (2018). Identification of DFR as a promoter of anthocyanin accumulation in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex

- Klotzsch) bracts under short-day conditions. *Scientia Horticulturae*, 236, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.028>
- Gullino, M. L., Daughtrey, M. L., Garibaldi, A. y Elmer, W. H. (2015). *Fusarium* wilts of ornamental crops and their management. *Crop Protection*, 73, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.003>
- Islam, M. A., Lütken, H., Haugslien, S., Blystad, D. R., Torre, S., Rolcik, J., ... y Clarke, J. L. (2013). Overexpression of the AtSHI gene in poinsettia, *Euphorbia pulcherrima*, results in compact plants. *PLoS ONE*, 8(1), e53377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053377>
- Kumari, M., Sharma, K. y Sharma, O. (2020). Biointensive management of wilt disease of lentil through biocontrol agents. *Journal of Biological Control*, 34(2), 112–118.
- Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C. y Crous, P. W. (2019). Epitypification of *Fusarium oxysporum* clearing the taxonomic chaos. *Persoonia*, 43, 1–47. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>
- Márquez-Márquez, J. M., Canul-Ku, J., Sánchez-Abarca, C., Barrios-Gómez, E. J., García-Pérez, F. y López-Herrera, E. (2017). Evaluación de progenies de crusa doble de flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos, México. *Interciencia*, 42(6), 388–392.
- Morsy, S. M., Drgham, A. S. y Mohamed, G. M. (2022). Salicylic acid fights against *Fusarium* wilt by inhibiting target of rapamycin signaling pathway in *Fusarium oxysporum*. *Journal of Advanced Research*, 37, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.10.006>
- O'Donnell, K., Kistler, H. C., Cigelnik, E. y Ploetz, R. C. (1998). Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(5), 2044–2049.

- Orlikowski, L. B., Skrzypczak, C., Valiuskaite, A. y Sroczynski, M. (2007). Fuzaryjna zgnilizna – nowa choroba poinsecji w Polsce *Fusarium* rot – new disease of poinsettia in Poland Postępy w Ochronie Roślin/Progress in Plant Protection, 47, 212–215.
- Osuna-Cañizalez, F. de J., Moreno-López, M. F., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S. y Canul-Ku, J. (2018). Biocontrol de la pudrición de raíz de nochebuena de interior con *Trichoderma* spp. Revista Mexicana de Fitopatología, 36(2), 233–245.
- Posadas, B. C., Coker, C. E. H., Jackson, C., Knight, P. R., DelPrince, J. M., Langlois, S. A. y Ryals, J. B. (2023). Online survey of consumer preferences for poinsettia cultivars. Horticulturae, 9(4), 449. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040449>
- SIAP. (2024). Cierre de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tilocca, B., Cao, A., Migheli, Q. y Cacciola, S. O. (2019). First report of a member of the *Fusarium oxysporum* species complex on *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch in Italy. Journal of Plant Pathology, 101(3), 793. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00327-4>
- USDA-NASS. (2024). Quick Stats: Flowering plants, potted – sales, measured in \$. United States Department of Agriculture. <https://quickstats.nass.usda.gov/>
- Vilperte, V., Lucaciu, C. R., Halbwirth, H., Boehm, R., Gishi, G., Stich, K. y Rensing, S. A. (2019). Hybrid de novo transcriptome assembly of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) bracts. BMC Genomics, 20, 900. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6247-3>
- Vlot, A. C., Dempsey, D. A. y Klessig, D. F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. Annual Review of Phytopathology, 47, 177–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>

- Wang, M., Crous, P. W., Sandoval-Denis, M., Han, S.-L., Liu, F., Liang, J., ... y Cai, L. (2022). *Fusarium* and allied genera from China: Species diversity and distribution. *Persoonia*, 48, 1–53. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2022.48.01>
- Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., ... y Lorito, M. (2014). *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, 8, 71–76.
- Yadav, J., Singh, R., Singh, S., Maurya, M. y Kumar, J. (2024). Bio-efficacy of different plant leaf extracts and bio-control agents *against Fusarium oxysporum*. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(3), 215–221.

CAPÍTULO II

PRIMER REGISTRO DE *Fusarium oxysporum* CAUSANTE DE MARCHITEZ VASCULAR EN NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) EN MÉXICO

Michell Alexander Ríos-Lira¹, Víctor López-Martínez^{1*}, Daniel Perales-Rosas², Iran Alia-Tejacal¹, Hilda Victoria Silva-Rojas³, Óscar Gabriel Villegas-Torres¹, Dagoberto Guillén-Sánchez¹

Resumen

Se identificó morfológica y molecularmente el agente causal de la pudrición radicular en nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch, Euphorbiaceae) en viveros del centro de México. A partir de plantas sintomáticas se obtuvieron aislamientos fúngicos que en medio PDA desarrollaron micelio blanco algodonoso y pigmentos difusibles de color rosa a violeta. Microscópicamente se observaron microconidios hialinos ovalados en falsas cabezas sobre monofiálides cortas, macroconidios falcados multiseptados y clamidosporas esféricas intercalares. Las pruebas de patogenicidad *in vivo* confirmaron la virulencia del aislamiento al reproducir marchitez vascular en plantas sanas, cumpliendo los postulados de Koch. Los análisis filogenéticos bayesianos basados en las regiones ITS y TEF-1 α agruparon los aislados dentro del *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC), evidenciando el marcador TEF-1 α mayor resolución y diversidad genética interna. Este es el primer registro de *F. oxysporum* causando pudrición radicular en nochebuena en México.

Palabras clave: fitopatología, marchitez vascular, viveros ornamentales, filogenética bayesiana, ITS

Abstract

The causal agent of root rot in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) was identified morphologically and molecularly from nurseries in central Mexico. Fungal isolates obtained from symptomatic plants developed cottony white mycelium and pink-to-violet diffusible pigments on PDA. Microscopically, oval hyaline microconidia in false heads on short monophialides, falcate multiseptate macroconidia, and intercalary spherical chlamydospores were observed. In vivo pathogenicity tests confirmed the virulence of the isolate by reproducing vascular wilt in healthy plants, fulfilling Koch's postulates. Bayesian phylogenetic analyses based on ITS and TEF-1 α regions grouped the isolates within the *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC), with the TEF-1 α marker providing greater resolution and revealing high internal genetic diversity. This is the first record of *F. oxysporum* causing root rot in poinsettia in Mexico.

Keywords: phytopathology, vascular wilt, ornamental nurseries, Bayesian phylogenetics, ITS

Introducción

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch, Euphorbiaceae) es una de las plantas de maceta con mayor importancia económica a nivel mundial y un símbolo de la temporada navideña (Ecke *et al.*, 2004). Su valor ornamental se debe principalmente a la diversidad de colores de sus brácteas, lo que ha impulsado programas de mejoramiento genético para desarrollar nuevas variedades comerciales (Ecke *et al.*, 2004). A nivel internacional, este cultivo representa un sector importante dentro de la industria florícola, con valores de producción elevados en países como Estados Unidos (USDA-NASS, 2024). En México, la nochebuena tiene gran relevancia económica y social, especialmente en estados productores como Morelos, Michoacán, Ciudad de México y Puebla, donde su cultivo genera empleo y abastece la demanda nacional durante la temporada decembrina (SIAP, 2024).

Sin embargo, su producción en viveros se ve afectada por diversas enfermedades de origen fúngico que ocasionan pérdidas económicas significativas. Dentro de estos patógenos, *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC) destaca por su alta diversidad genética y ecológica, así como por su especificidad hacia determinados hospederos (Lombard *et al.*, 2019). Dada la similitud morfológica entre especies de este complejo, su identificación precisa requiere el uso de marcadores moleculares como las regiones ITS y TEF-1 α (Wang *et al.*, 2022).

En nochebuena, *F. oxysporum* causa marchitez y pudrición radicular en Europa (Orlikowski *et al.*, 2007; Tilocca *et al.*, 2019). En México, aunque se han reportado síntomas similares asociados a *Fusarium* spp. en viveros de Morelos (Osuna-Cañizalez *et al.*, 2018), la identificación frecuentemente se ha limitado al nivel de

género. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar morfológica y molecularmente el agente causal de la pudrición radicular en plantas de nochebuena cultivadas en viveros el centro de México.

Material y métodos

Se recolectaron plantas de nochebuena (*E. pulcherrima*) de las variedades Prestige Red, Red Glitter y Subjibi con síntomas de marchitez, decaimiento general y necrosis en raíces, en tres viveros comerciales del centro de México: Vivero y Follaje de Morelos, Cuautla, Morelos (18°75'98" N, 98°95'46" O); Vivero San Marcos, Xochimilco, Ciudad de México (19°25'50" N, 99°10'35" O), y Viveros Hermanos León, Atlixco, Puebla (18°54'14" N, 98°54'53" O). Se seleccionaron 10 plantas por variedad en cada sitio (n = 90). Las raíces se lavaron con agua corriente para eliminar el sustrato adherido y se cortaron fragmentos de 5 mm en la zona de transición entre tejido sano y necrótico con bisturí estéril. Los fragmentos se desinfectaron superficialmente mediante inmersión en hipoclorito de sodio al 1% durante 1 min, se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril y se secaron sobre papel filtro estéril en campana de flujo laminar Purifier Logic (Labconco, Kansas City, Estados Unidos). Los tejidos se sembraron en cajas Petri con medio papa dextrosa agar (PDA; Becton Dickinson, Sparks, Estados Unidos) y se incubaron a 25 °C durante 7 días (incubadora BD115, Binder GmbH, Tuttlingen, Alemania). Se obtuvieron cultivos puros mediante transferencia de puntas de hifa a nuevas cajas Petri con PDA y se conservaron a 4 °C (refrigerador RT18GSSX, Whirlpool Corporation, Benton Harbor, Estados Unidos) (Nelson et al., 1983).

Identificación morfológica

Los aislados se caracterizaron morfológicamente en medio PDA evaluando coloración, textura, margen y patrón de crecimiento de la colonia (Leslie & Summerell, 2006). Para la observación microscópica se colocaron fragmentos de micelio activo en portaobjetos con una gota de agua destilada estéril, se cubrieron con cubreobjetos y se observaron al microscopio óptico CX23 (Olympus Corporation, Tokio, Japón) a 10× y 40×, registrando morfología de hifas, conidios, conidióforos y estructuras de resistencia (Nelson et al., 1983). La identificación preliminar integró los caracteres culturales y microscópicos conforme a literatura especializada (Crous et al., 2024).

Prueba de patogenicidad

Se seleccionaron plantas sanas de las variedades Prestige Red y Red Glitter en etapa vegetativa de 20 a 30 cm de altura con 8 a 12 hojas verdaderas, establecidas en macetas con sustrato comercial. Las plantas se trasplantaron a macetas con sustrato esterilizado compuesto por turba y perlita (2:1 v/v), esterilizado en autoclave a 121 °C durante 60 min en dos ciclos separados por 24 h. El inóculo se preparó a partir de cultivos en PDA; los conidios se recuperaron con agua estéril y la suspensión se ajustó a 1×10^6 conidios mL⁻¹ mediante cámara de Neubauer (Crous et al., 2024). Se inocularon 10 plantas por variedad (n = 20) mediante lesión superficial de raíces y aplicación de 10 mL de la suspensión en la zona radical. Como testigo se utilizaron 10 plantas por variedad (n = 20) tratadas con agua destilada estéril. Las plantas se mantuvieron en invernadero semicerrado con riego uniforme y se registró la aparición de síntomas durante 21 días. La patogenicidad se confirmó mediante reaislamiento del hongo a partir de raíces de plantas inoculadas con síntomas (Mathre & Grey, 2013).

Extracción de ADN

Cada aislado se cultivó en PDA durante 10 días a temperatura ambiente. El micelio se maceró en 1 mL de solución de lisis compuesta por Triton X-100 al 2%, SDS al 1%, NaCl 100 mM y Tris-HCl 10 mM (pH 8.0), con 10 µL de proteinasa K (10 mg mL⁻¹), e incubado para facilitar la digestión de proteínas (Pilo et al., 2021). Se transfirieron 600 µL del extracto a tubos de 2.0 mL y el ADN se resuspendió en 50 µL de tampón TE (10 mM Tris-HCl pH 8.0; 1 mM EDTA). La calidad del ADN se verificó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% en tampón TAE con bromuro de etidio, visualizado en sistema Gel Doc XR+ (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos) (Green & Sambrook, 2012).

Amplificación de la región ITS

La región ITS se amplificó con los cebadores ITS6 e ITS4 en un volumen final de 25 µL que incluyó 100 ng de ADN genómico, buffer de reacción (KCl 50 mM; Tris-HCl 10 mM), dNTPs (0.2 mM cada uno), MgCl₂ (2.0 mM), 1 U de GoTaq Flexi DNA Polymerase (Promega Corporation, Madison, Estados Unidos) y 0.4 µM de cada cebador. El perfil térmico consistió en desnaturalización inicial a 95 °C por 3 min, seguida de 35 ciclos de 95 °C por 30 s, alineamiento a 55 °C por 30 s y extensión a 72 °C por 60 s, con extensión final a 72 °C por 10 min (Schoch et al., 2012).

Amplificación del gen TEF-1α

El gen TEF-1α se amplificó con los cebadores EF1-728F (5'-ATGGGTAAGGAGGACAAGAC-3') y EF1-986R (5'-GGAGGTACCAGTGCATCATGTT-3') en un volumen final de 50 µL que incluyó 25 µL de GoTaq Green Master Mix (Promega Corporation, Madison, Estados Unidos), 1 µL

(10 μ M) de cada cebador, 2 μ L de ADN ($\approx$ 100 ng) y agua libre de nucleasas hasta completar el volumen. El perfil térmico consistió en 95 °C por 3 min, seguido de 35 ciclos de 95 °C por 30 s, 58 °C por 30 s y 72 °C por 60 s, con extensión final a 72 °C por 10 min (Mohd-Hafifi et al., 2024).

Purificación y secuenciación

Los productos de PCR se verificaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1-1.2% con marcador de 1 kb (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Estados Unidos), documentados bajo luz UV en sistema Gel Doc XR (Bio-Rad Laboratories, Hercules, Estados Unidos). Los amplificados se purificaron con el kit QIAquick PCR Purification Kit (QIAGEN, Hilden, Alemania) siguiendo las instrucciones del fabricante y se enviaron a secuenciación capilar (Applied Biosystems 3730XL, Foster City, Estados Unidos) (Green & Sambrook, 2012).

Secuenciación, edición y análisis filogenético

Las secuencias se editaron por calidad y se ensamblaron a partir de las lecturas forward y reverse para obtener una secuencia consenso por aislado en BioEdit v.7.0.5. Las secuencias consenso ITS y TEF-1 α se compararon mediante BLASTn contra la base de datos de nucleótidos del NCBI, seleccionando como referencias las secuencias con mayor similitud y cobertura (Camacho *et al.*, 2009). Para el análisis filogenético, las secuencias consenso junto con secuencias de referencia de GenBank (Cuadro 1) se alinearon con el algoritmo ClustalW implementado en MEGA v.11. El modelo de sustitución nucleotídica se seleccionó con jModelTest v.2.1 bajo el criterio de información de Akaike (AIC). Los árboles filogenéticos se estimaron bajo inferencia bayesiana con MrBayes v.3.2, con dos corridas independientes de cuatro cadenas

durante 1,000,000 generaciones, muestreando cada 1,000 generaciones. El 25% inicial de los árboles se descartó como burn-in y el árbol consenso se generó a partir de la distribución de probabilidades posteriores (Ronquist et al., 2012). Las secuencias consenso obtenidas fueron depositadas en la base de datos del NCBI GenBank bajo los números de acceso OP872891.1, OR249301.1 y OM489312.1 (ITS) y OP954312.1, OR351290.1 y OM502189.1 (TEF-1 α).

Resultados y discusión

Durante el muestreo en campo, las plantas de nochebuena de las variedades Subjibi, Freedom Red y Prestige Red mostraron síntomas severos de marchitez, pérdida de turgencia foliar y deterioro del vigor (Figura 1), coincidentes con la sintomatología descrita para infecciones por *Fusarium* en viveros de nochebuena a nivel internacional (Orlikowski et al., 2007; Osuna-Cañizalez et al., 2018; Tilocca et al., 2019). Estos síntomas son característicos del daño provocado por patógenos vasculares del suelo que interrumpen el flujo hídrico al colonizar el sistema radicular (Gordon, 2017). La variedad Prestige Red exhibió mayor grado de marchitez y deterioro radicular en comparación con Subjibi y Freedom Red, sugiriendo diferencias en la susceptibilidad intrínseca de cada genotipo frente al patógeno (Osuna-Cañizalez et al., 2018), lo que subraya la necesidad de implementar monitoreo preventivo diferenciado al cultivar esta variedad bajo condiciones de alta humedad en vivero (Gullino et al., 2015).



Figura 1. Expresión diferencial de síntomas de marchitamiento severo en tres cultivares de nochebuena (Subjibi, Freedom Red y Prestige Red) debido a la infección por *Fusarium oxysporum*.

Caracterización morfológica de los aislados

La cepa F1 en medio PDA mostró micelio aéreo abundante de textura algodonosa, coloración blanca con tenue centro rosado y pigmentos difusibles rosados hacia el sustrato. Este morfotipo representa un patrón clásico dentro del género *Fusarium*, cuya plasticidad visual refleja la alta variabilidad natural de las poblaciones fúngicas en medios de cultivo (Leslie & Summerell, 2006). Microscópicamente se identificaron hifas hialinas septadas con monofiálides cortas que sostenían abundantes microconidios unicelulares ovalados agrupados en falsas cabezas (Figura 2). La presencia de monofiálides cortas constituye el criterio morfológico primario para distinguir *F. oxysporum* de otras especies del género (Nelson et al., 1983).

La cepa F2 exhibió márgenes algodonosos blanquecinos con centro fuertemente teñido de violeta a púrpura y masiva acumulación de pigmentos difusibles de color violeta oscuro a borgoña en el reverso (Figura 2). Esta variabilidad fenotípica respecto a F1 refleja la complejidad intrínseca del complejo, ya que la variabilidad morfológica

en cultivo es uno de los principales retos para la delimitación de especies de *Fusarium* (Wang et al., 2022). Microscópicamente destacó la presencia de clamidosporas globosas de pared gruesa en posición intercalar sobre hifas hialinas (Figura 2), estructuras de resistencia que favorecen la persistencia del patógeno en el suelo y dificultan su manejo en cultivos ornamentales (Gordon, 2017; Gullino et al., 2015).

La cepa F3 presentó márgenes algodonosos blanquecinos con zona central de coloración violeta pálida y extensa secreción de pigmentos difusibles de tono violeta oscuro a púrpura en el reverso (Figura 2), patrón fenotípico que evidencia estrecha afinidad con F2 y subraya la importancia de la caracterización cultural para agrupar correctamente a los miembros del FOSC (Lombard et al., 2019). Además de microconidios elipsoidales, se observaron macroconidios falcados multiseptados (Figura 2), estructuras cuyo análisis conjunto con marcadores moleculares es clave para la identificación exitosa de cepas causantes de marchitez (Hoxha et al., 2024).

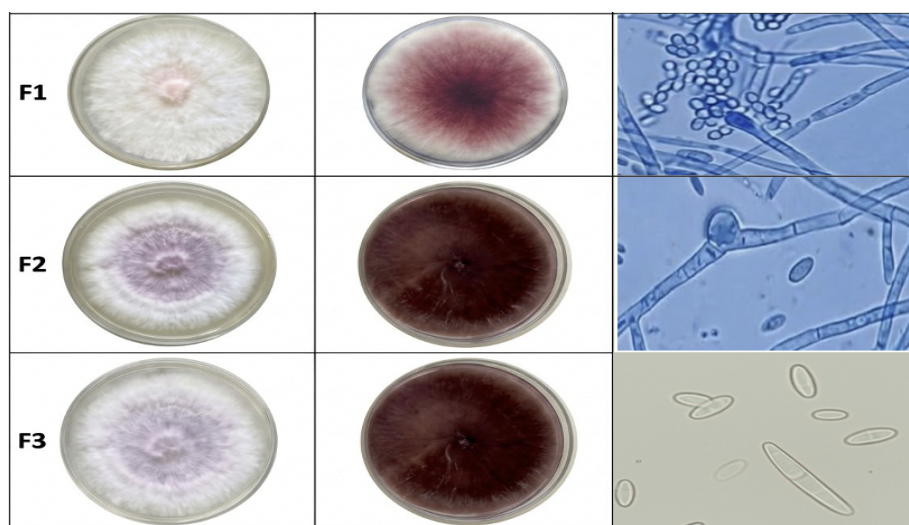


Figura 2. Caracterización cultural y microscópica de cepas de *Fusarium oxysporum* (F1, F2 y F3) patogénicas en *Euphorbia pulcherrima*.

Prueba de patogenicidad

Las plantas inoculadas con la suspensión de conidios desarrollaron síntomas típicos de marchitez vascular dentro del periodo de evaluación, incluyendo colapso foliar, clorosis progresiva y notable reducción del vigor, mientras que las plantas testigo permanecieron completamente asintomáticas (Figura 3). La reproducción fiel de estos síntomas confirmó la capacidad patogénica del aislado *in vivo* y el cumplimiento de los postulados de Koch. Este resultado es consistente con lo reportado por Soleha *et al.*, (2022), quienes observaron síntomas de marchitez y clorosis en plantas inoculadas con *F. oxysporum* en ensayos experimentales con acacia. La colonización del sistema radicular seguida de invasión de los vasos del xilema interrumpe el transporte de agua hacia la parte aérea, provocando la marchitez sistémica observada (Martínez-Soto *et al.*, 2023). Se observó además que la severidad de los síntomas no fue completamente uniforme entre plantas inoculadas, lo cual puede asociarse a diferencias en la susceptibilidad del hospedero y a la variabilidad patogénica intrínseca del aislado (Taylor *et al.*, 2019).

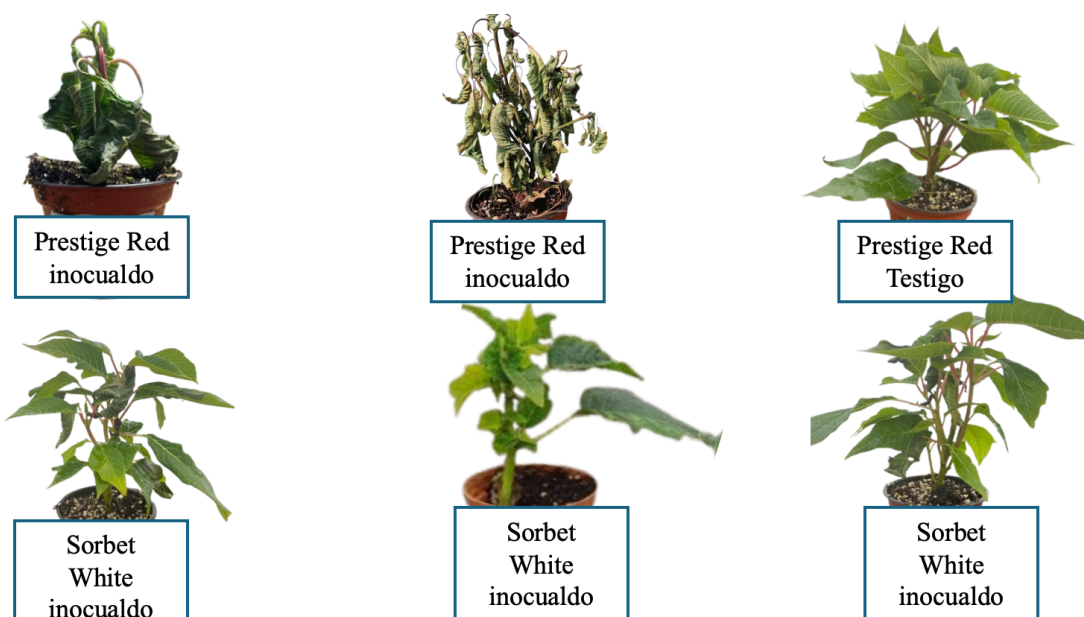


Figura 3. Prueba de patogenicidad en plantas de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*).

Análisis filogenético — región ITS

El análisis filogenético bayesiano basado en secuencias de la región ITS, bajo el modelo de sustitución HKY+G, mostró que los aislados F1, F2 y F3 se agruparon dentro del clado correspondiente al *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC), estrechamente relacionados con secuencias de referencia de *F. oxysporum* y con valores altos de probabilidad posterior en los nodos principales (Figura 4). Los tres aislados se separaron claramente de otros linajes del género como *F. solani*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum* y *F. culmorum*, ubicados en clados externos bien diferenciados. Esta segregación coincide con estudios previos que demuestran que el FOSC se estructura en clados mayores bien soportados que reflejan una historia evolutiva compleja (Achari *et al.*, 2020), y concuerda con lo señalado por Husaini *et al.* (2018), quienes demostraron que su delimitación requiere evidencia filogenética

robusta dado que la morfología por sí sola no distingue adecuadamente los linajes internos.

La proximidad entre F1, F2 y F3 en el árbol ITS indica baja divergencia en esta región, comportamiento congruente con la naturaleza conservada del marcador en miembros estrechamente relacionados del complejo. Como señalan Yu et al. (2023), la región ITS permite ubicar aislamientos dentro de los principales grupos del género, aunque su resolución disminuye al intentar delimitar linajes internos dentro del FOSC, lo que hace necesario el uso de marcadores adicionales con mayor poder discriminatorio. Laurence et al. (2014) destacan además que la relación entre patogenicidad, hospedero y posición filogenética no siempre es lineal, por lo que la agrupación dentro del FOSC confirma la identidad del complejo pero no implica por sí sola la delimitación de una *forma specialis* específica.

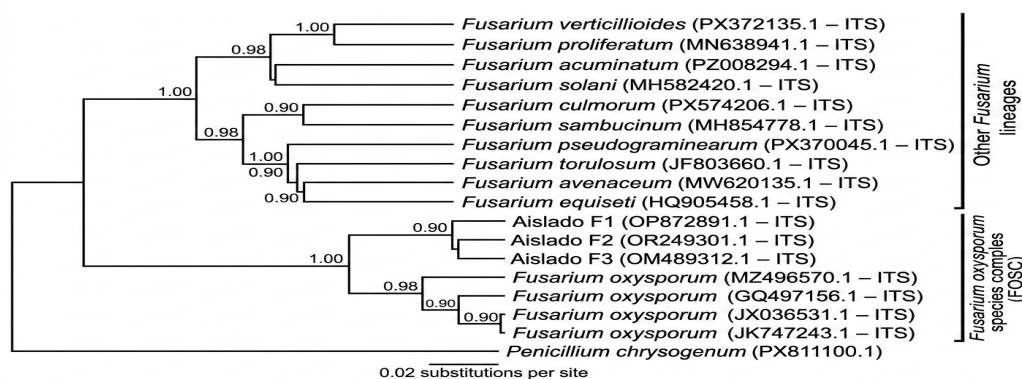


Figura 4. Árbol filogenético bayesiano basado en secuencias de la región ITS.

Análisis filogenético — gen TEF-1 α

El análisis bayesiano basado en el gen del factor de elongación de la traducción 1- α (TEF-1 α) mostró mayor resolución topológica que el árbol ITS, con separación bien definida entre el clado FOSC y otros linajes del género *Fusarium* (Figura 5). A diferencia del árbol ITS, los tres aislados no se agruparon en un único subclado exclusivo: F1 se ubicó en una rama independiente estrechamente relacionada con una secuencia de referencia del complejo, mientras que F2 y F3 formaron un subclado propio con alto soporte de probabilidad posterior. Este patrón indica que, aunque los tres aislados pertenecen inequívocamente al FOSC, presentan cierta diferenciación genética entre sí que el marcador ITS no fue capaz de resolver, evidenciando la superioridad del TEF-1 α para detectar variación genética interna dentro del complejo (Wang *et al.*, 2022).

La separación parcial entre F1 y el subclado F2-F3 concuerda con lo reportado por Achari *et al.* (2020) y Yu *et al.* (2023), quienes demuestran que el FOSC comprende múltiples linajes evolutivos estrechamente relacionados pero no homogéneos. La presencia de esta diversidad genética entre aislados recuperados de viveros geográficamente distintos —Morelos, Ciudad de México y Puebla— ha sido documentada previamente por Gutiérrez-Sánchez *et al.* (2023) y Webb *et al.* (2012), y sugiere la posible existencia de poblaciones genéticamente diversas del FOSC circulando en la región productora de nochebuena en México, con implicaciones directas para el desarrollo de estrategias de manejo fitosanitario. En conjunto, la integración de los resultados de ambos árboles con la caracterización morfológica y las pruebas de patogenicidad constituye el enfoque polifásico actualmente

recomendado para la identificación robusta de miembros del FOSC (Najafzadeh et al., 2020; Summerell, 2019).

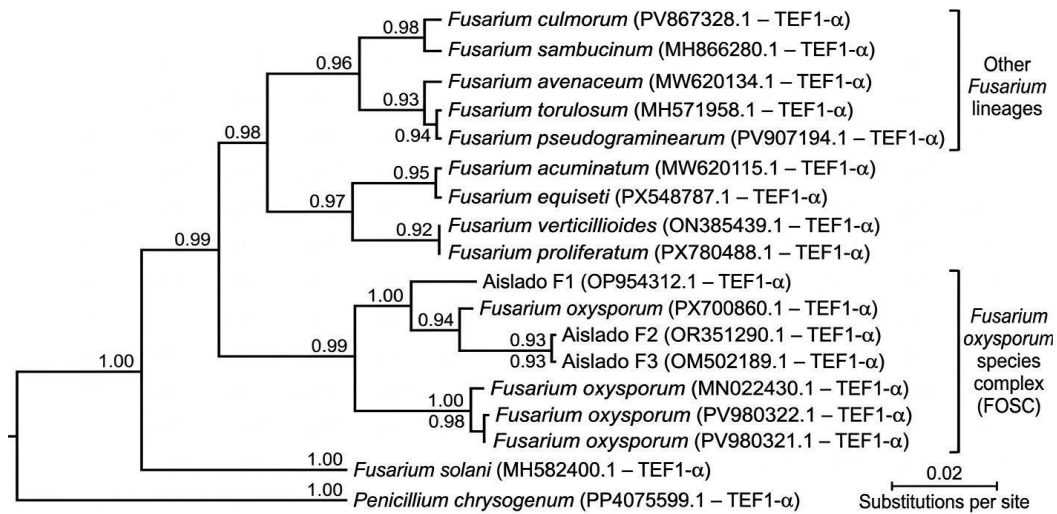


Figura 5. Árbol filogenético bayesiano basado en secuencias del gen TEF-1 α ,

Conclusiones

Mediante un enfoque integrador que incluyó caracterización morfológica, pruebas de patogenicidad *in vivo* y análisis filogenéticos bayesianos, se identificó a *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC) como agente causal de la pudrición radicular en plantas de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) cultivadas en viveros del centro de México. Los aislados F1, F2 y F3 presentaron las estructuras diagnósticas del género microconidios ovalados, macroconidios falcados multiseptados y clamidosporas intercalares y reprodujeron los síntomas de marchitez vascular en plantas sanas, cumpliendo los postulados de Koch. Los análisis filogenéticos basados en ITS y TEF-1 α agruparon consistentemente a los aislados dentro del FOSC, con el marcador TEF-1 α evidenciando mayor resolución y diversidad genética interna entre ellos. Este trabajo constituye el primer registro de *F. oxysporum* como agente causal de pudrición radicular en *E. pulcherrima* en México, aportando información etiológica fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo fitosanitario orientadas a la protección de este cultivo ornamental de alto valor económico.

Literatura citada

1. Achari, S. R., Kaur, J., Dinh, Q., Mann, R., Sawbridge, T., Summerell, B. A., & Edwards, J. (2020). Phylogenetic relationship between Australian *Fusarium oxysporum* isolates and resolving the species complex using the multispecies coalescent model. *BMC Genomics*, 21, 248. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6640-y>
2. Camacho, C., Coulouris, G., Avagyan, V., Ma, N., Papadopoulos, J., Bealer, K., & Madden, T. L. (2009). BLAST+: Architecture and applications. *BMC Bioinformatics*, 10, 421. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-10-421>
3. Crous, P. W., Jurjević, Ž., Balashov, S., De la Peña-Lastra, S., Mateos, A., Pinruan, U., ... & Groenewald, J. Z. (2024). Fungal Planet description sheets: 1614–1696. *Fungal Systematics and Evolution*, 13(1), 183–440. <https://doi.org/10.3114/fuse.2024.13.11>
4. Ecke, P., Faust, E. J., Williams, J., & Higgins, A. (2004). *The Ecke poinsettia manual*. Ball Publishing.
5. Gordon, T. R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 23–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095919>

6. Green, M. R., & Sambrook, J. (2012). *Molecular cloning: A laboratory manual* (4th ed.). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
7. Gu, Z., Chen, H., Yang, R., & Ran, M. (2018). Identification of DFR as a promoter of anthocyanin accumulation in poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) bracts under short-day conditions. *Scientia Horticulturae*, 236, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.028>
8. Gullino, M. L., Daughtrey, M. L., Garibaldi, A., & Elmer, W. H. (2015). *Fusarium* wilts of ornamental crops and their management. *Crop Protection*, 73, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.003>
9. Gutiérrez-Sánchez, A., Plasencia, J., Monribot-Villanueva, J. L., Rodríguez-Haas, B., Ruíz-May, E., Guerrero-Analco, J. A., & Sánchez-Rangel, D. (2023). Virulence factors of the genus *Fusarium* with targets in plants. *Microbiological Research*, 277, 127506. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127506>
10. Hoxha, A., Kallço, I., & Xhafa, K. (2024). Morphological and molecular identification of *Fusarium oxysporum* as the main cause of wilt disease of tomatoes grown in greenhouses in Albania. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 11(3), 1655–1665.
11. Husaini, A. M., Sakina, A., & Cambay, S. R. (2018). Host–pathogen interaction in *Fusarium oxysporum* infections: Where do we stand? *Molecular Plant-*

Microbe Interactions, 31(9), 889–898. <https://doi.org/10.1094/MPMI-12-17-0302-CR>

12. Laurence, M. H., Summerell, B. A., Burgess, L. W., & Liew, E. C. Y. (2014). Genealogical concordance phylogenetic species recognition in the *Fusarium oxysporum* species complex. *Fungal Biology*, 118(4), 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.02.002>
13. Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.
14. Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C., & Crous, P. W. (2019). Epitypification of *Fusarium oxysporum* — clearing the taxonomic chaos. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 43, 1–47. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.01>
15. Martínez-Soto, D., Yu, H., Allen, K. S., & Ma, L.-J. (2023). Differential colonization of the plant vasculature between endophytic versus pathogenic *Fusarium oxysporum* strains. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 36(1), 4–13. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-22-0166-SC>
16. Mathre, D. E., & Grey, W. E. (2013). Naughty peat: A case study in plant pathology, with emphasis on Koch's postulates and disease etiology. *The*

American Phytopathological Society (APS). <https://doi.org/10.1094/PHI-T-2002-0301-01>

17. Mohd-Hafifi, A. B., Mohamed Nor, N. M. I., Zakaria, L., & Mohd, M. H. (2024). Molecular phylogeny and genetic diversity of *Fusarium oxysporum* from various hosts in Malaysia. *Scientific Reports*, 14, 29708. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-29708-0>
18. Najafzadeh, M. J., Dolatabadi, S., de Hoog, S., Esfahani, M. K., Haghani, I., Aghili, S. R., ... & Al-Hatmi, A. M. S. (2020). Phylogenetic analysis of clinically relevant *Fusarium* species in Iran. *Mycopathologia*, 185(3), 515–525. <https://doi.org/10.1007/s11046-020-00460-x>
19. Nelson, P. E., Toussoun, T. A., & Marasas, W. F. O. (1983). *Fusarium species: An illustrated manual for identification*. Pennsylvania State University Press.
20. Orlikowski, L. B., Skrzypczak, C., Valiuškaitė, A., & Sroczyński, M. (2007). *Fusarium* rot — new disease of poinsettia in Poland. *Progress in Plant Protection*, 47, 212–215.
21. Osuna-Cañizalez, F. J., Moreno-López, M. F., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S., & Canul-Ku, J. (2018). Biocontrol de la pudrición de raíz de nochebuena de interior con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(2), 233–245.

22. Pilo, P., Tiley, A. M. M., Lawless, C., Karki, S. J., Burke, J., & Feechan, A. (2021). A rapid fungal DNA extraction method suitable for PCR screening fungal mutants, infected plant tissue and spore trap samples. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 116, 101758. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101758>
23. Redkar, A., Gimenez-Ibanez, S., Sabale, M., Zechmann, B., Solano, R., & Di Pietro, A. (2022). *Marchantia polymorpha* model reveals conserved infection mechanisms in the vascular wilt fungal pathogen *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist*, 234, 227–241. <https://doi.org/10.1111/nph.17909>
24. Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., ... & Huelsenbeck, J. P. (2012). MrBayes 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic Biology*, 61(3), 539–542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
25. Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A., & Chen, W. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241–6246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>

26. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). *Producción agrícola: Nochebuena (Euphorbia pulcherrima)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>
27. Soleha, S., Muslim, A., Suwandi, S., Kadir, S., & Pratama, R. (2022). The identification and pathogenicity of *Fusarium oxysporum* causing acacia seedling wilt disease. *Journal of Forestry Research*, 33, 711–719. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01355-3>
28. Summerell, B. A. (2019). Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. *Annual Review of Phytopathology*, 57, 323–339. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>
29. Taylor, A., Armitage, A. D., Handy, C., Jackson, A. C., Hulin, M. T., Harrison, R. J., & Clarkson, J. P. (2019). Basal rot of narcissus: Understanding pathogenicity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *narcissi*. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2905. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02905>
30. Tilocca, B., Cao, A., Migheli, Q., & Cacciola, S. O. (2019). First report of a member of the *Fusarium oxysporum* species complex on *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch in Italy. *Journal of Plant Pathology*, 101(3), 793. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00327-4>

31. USDA-NASS. (2024). *Quick Stats: Flowering plants, potted – sales, measured in \$*. United States Department of Agriculture. <https://quickstats.nass.usda.gov/>
32. Wang, M., Crous, P. W., Sandoval-Denis, M., Han, S.-L., Liu, F., Liang, J., ... & Cai, L. (2022). *Fusarium* and allied genera from China: Species diversity and distribution. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 48, 1–53. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2022.48.01>
33. Webb, K. M., Covey, P. A., & Hanson, L. E. (2012). Pathogenic and phylogenetic analysis of *Fusarium oxysporum* from sugarbeet in Michigan and Minnesota. *Journal of Sugar Beet Research*, 49(1–2), 38–56. <https://doi.org/10.5274/jsbr.49.1.38>
34. Yu, H., Ayhan, D. H., Martínez-Soto, D., Cochavi, S. M., & Ma, L. J. (2023). Accessory chromosomes of the *Fusarium oxysporum* species complex and their contribution to host niche adaptation. En B. Scott & C. Mesarich (Eds.), *Plant relationships* (The Mycota, Vol. 5). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16503-0_16

CAPÍTULO III

Tolerancia varietal de nochebuena(*Euphorbia pulcherrima*) a la marchitez vascular inducida por *Fusarium oxysporum*

Michell Alexander Ríos-Lira¹, Víctor López-Martínez^{1*}, Daniel Perales-Rosas², Iran Alia-Tejacal¹, Hilda Victoria Silva-Rojas³, Óscar Gabriel Villegas-Torres¹, Dagoberto Guillén-Sánchez

ABSTRACT

Objective: To evaluate the susceptibility of three poinsettia varieties (*Euphorbia pulcherrima*) to vascular wilt induced by *Fusarium oxysporum* under greenhouse conditions. **Design/methodology/approach:** A completely randomized design was used with three varieties (Prestige Red, Freedom Red, Sorbet White), two treatments (inoculated, control), and 10 replicates. Roots were inoculated with 1×10^6 conidia mL^{-1} of *F. oxysporum*. Height, diameter, biomass, chlorophyll content (SPAD), incidence, and severity were evaluated and analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). **Results:** Significant differences were found; Prestige Red was highly susceptible (90% incidence, 75% severity) with severe reductions in biomass and SPAD. Freedom Red showed intermediate behavior. Sorbet White exhibited high tolerance (20% incidence, 10% severity), maintaining its morphophysiological integrity compared to the control under predisposing conditions (temperature $>28^\circ\text{C}$, humidity $>85\%$). **Limitations on study/implications:** The evaluation was restricted to three commercial cultivars in a controlled environment. Results imply that varietal selection is crucial for productive success against soil-borne pathogens. **Findings/conclusions:** A differential varietal response was evidenced. Sorbet White demonstrated efficient tolerance, constituting a viable agronomic alternative to reduce *Fusarium* wilt losses in intensive production. **Keywords:** ornamental cultivars, wilt, biomass, SPAD, phytosanitary management.

RESUMEN

Objetivo: Se evaluó la susceptibilidad de tres variedades comerciales (Prestige Red, Freedom Red y Sorbet White) de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch,) a la marchitez vascular inducida por *Fusarium oxysporum* bajo condiciones de invernadero.

Diseño/metodología/aproximación: Se utilizó un diseño completamente al azar con tres variedades comerciales (Prestige Red, Freedom Red y Sorbet White), dos tratamientos (inoculado y testigo) y 10 repeticiones por tratamiento, totalizando 60 unidades experimentales. Las plantas fueron inoculadas mediante heridas radiculares e inmersión de raíces en una suspensión de 1×10^6 conidios mL^{-1} de *Fusarium oxysporum* durante cinco minutos. Se evaluaron parámetros morfológicos (altura de planta, diámetro de tallo), de biomasa (peso fresco y seco aéreo y radical), fisiológicos (contenido relativo de clorofila con medidor SPAD) e incidencia y severidad de síntomas. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados: Se encontraron diferencias significativas entre variedades, Prestige Red mostró la mayor susceptibilidad con 90% de incidencia y 75% de severidad, acompañada de reducciones severas en biomasa y contenido relativo de clorofila (SPAD). Freedom Red exhibió un comportamiento intermedio. En contraste, Sorbet White destacó por su alta tolerancia con apenas 20% de incidencia y 10% de severidad, conservando su integridad morfofisiológica respecto a su testigo incluso bajo temperaturas superiores a 28 °C y humedad relativa superior a 85%.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Evaluación restringida a tres cultivares en ambiente controlado. Los resultados implican que la selección varietal es determinante para el éxito productivo ante patógenos edáficos.

Hallazgos/conclusiones: Se evidenció una respuesta diferencial varietal. Sorbet White demostró una tolerancia eficiente, constituyendo una alternativa agronómica viable para reducir pérdidas por fusariosis en producción intensiva

Palabras clave: cultivares ornamentales, susceptibilidad, biomasa, SPAD, manejo fitosanitario

INTRODUCCIÓN

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es una de las plantas ornamentales en contenedor, de mayor importancia económica a nivel mundial, tan solo en 2024 Estados Unidos reportó ventas por 209 millones de dólares (USDA National Agriculture Statistics, 2024). La disponibilidad de distintas formas y colores de las brácteas y tamaños de contenedor (Posadas *et al.*, 2023) estimulan su demanda en temporadas navideñas, facilitada por su producción intensiva en viveros e invernaderos (Daughtrey, 2016).

Las condiciones de alta humedad en el sustrato favorecen la aparición de enfermedades causadas por patógenos del suelo, entre los que destaca *Fusarium oxysporum*, capaz de afectar severamente la calidad y supervivencia de las plantas (Garibaldi & Gullino, 2016; Osuna-Canizalez *et al.*, 2016), el conocimiento sobre la respuesta diferencial de las variedades comerciales frente a este patógeno es escaso. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia varietal de nochebuena a la marchitez vascular inducida por *Fusarium oxysporum*, con el fin de generar información que contribuya al desarrollo de estrategias de manejo integrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero tipo túnel con estructura metálica galvanizada, cubierta de polietileno traslúcido y ventilación natural provista de malla antiáfidos, ubicado en Cuautla, Morelos, México (18°51'18.1" N, 98°58'40.0" O). Se emplearon plantas de los cultivares Prestige Red, Freedom Red y Sorbet White adquiridas del Vivero Nochebuena y Follajes de Morelos, localizado en Cuautla, Morelos, México (18°51'35.6" N, 98°58'45.7" O). Al momento de la inoculación, las plantas se encontraban en etapa reproductiva, caracterizada por la presencia de brácteas pigmentadas, condición relevante ya que el estado fenológico puede influir en la respuesta de la planta frente a patógenos vasculares (Garibaldi & Gullino, 2016).

Sustrato y monitoreo ambiental. Las plantas se desarrollaron en macetas de plástico rígido de 15 cm de diámetro (aproximadamente 6 pulgadas). Las plantas se

establecieron en sustrato compuesto por tierra de hoja (70%), tezontle grueso (15%), tezontle fino (10%) y agrolita (5%), en proporción v/v. El sustrato fue esterilizado en autoclave vertical automático modelo FE-398 (Felisa, Zapopan, México) a 121 °C durante 60 min en dos días consecutivos, siguiendo metodología estándar para la eliminación de patógenos del suelo (Leslie & Summerell, 2006). La esterilidad se verificó mediante siembra en medio PDA. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa fueron registradas con un data logger GSP-6 (Elitech Technology Inc., Shenzhen, China).

Obtención y preparación del inóculo. *Fusarium oxysporum* se aisló a partir de tejidos radiculares con síntomas de necrosis recolectados en tres viveros comerciales: Vivero Nochebuena y Follaje de Morelos (Cuautla, Morelos 18°51'35.3" N, 98°58'45.5" O), Vivero San Marcos (Xochimilco, Ciudad de México; 19°15'31.1" N, 99°06'12.6" O) y Viveros Hermanos León (Atlixco, Puebla; 18°53'20.4" N, 98°24'57.2" O). Las raíces se lavaron con agua corriente, se cortaron fragmentos de 5 mm en la zona de transición entre tejido sano y necrótico con bisturí estéril, se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 1% durante 1 min, se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril y se sembraron en cajas Petri con PDA (Becton Dickinson, Sparks, Estados Unidos) e incubadas a 25 °C durante 7 días. Se obtuvieron cultivos puros mediante transferencia de puntas de hifa y se conservaron a 4 °C (Nelson *et al.*, 1983). La identificación se basó en características morfológicas conforme a Leslie & Summerell (2006). Para la preparación del inóculo, se desarrollaron cultivos en PDB en agitador orbital MaxQ 4000 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Estados Unidos) a 120 rpm durante 72 h. La concentración se ajustó a 1×10^6 conidios mL⁻¹ mediante cámara de Neubauer Marienfeld Superior.

Diseño experimental e inoculación. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres variedades, dos tratamientos (inoculado y testigo) y 10 repeticiones por tratamiento, con un total de 60 unidades experimentales, siendo un contenedor (maceta de 6 pulgadas) una unidad experimental. La inoculación se realizó mediante heridas radiculares de 5 mm y posterior inmersión de las raíces en la suspensión fúngica durante cinco minutos. Las plantas testigo fueron tratadas con agua destilada estéril. Se aplicó riego diario de 50 mL por planta y fertilización con NPK 20-20-20.

Variables evaluadas. Morfología: la altura de planta se midió con regla graduada y el diámetro de tallo con calibrador Vernier digital Serie 500 (Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japón), registrados como indicadores del efecto del patógeno sobre el crecimiento vegetal (Andersen *et al.*, 2018).

Biomasa: peso fresco y seco de la biomasa aérea y radical se determinó en balanza analítica Explorer EX224 (Ohaus Corp., Parsippany, Estados Unidos). Para la obtención del peso seco, las muestras se deshidrataron en estufa de aire forzado modelo UN55 (Memmert GmbH + Co. KG, Schwabach, Alemania) a 65 °C hasta alcanzar peso constante (Gullino *et al.*, 2015).

Fisiología: el contenido relativo de clorofila se evaluó con medidor digital SPAD-502Plus (Konica Minolta, Inc., Sakai, Japón) como indicador del estado fisiológico bajo infección (Abi Saad *et al.*, 2022).

Incidencia y severidad: la incidencia (I) se determinó como el porcentaje de plantas con síntomas visuales de marchitez o necrosis mediante: $I (\%) = (n / N) \times 100$. La severidad (S) se evaluó semanalmente empleando una escala ordinal de seis niveles: 0 = planta sana sin síntomas; 1 = marchitez leve en menos del 25% del follaje; 2 =

marchitez moderada en 25-50% del follaje; 3 = marchitez severa en 50-75% del follaje con inicio de clorosis; 4 = colapso generalizado con necrosis en más del 75% del follaje; 5 = planta muerta. El índice de severidad se cuantificó mediante la fórmula de McKinney: $S (\%) = [\Sigma(v \times n) / (V \times N)] \times 100$.

Confirmación de postulados de Koch: al término del ensayo se tomaron fragmentos de raíces con tejido necrótico de las plantas inoculadas. Las colonias recuperadas fueron evaluadas microscópicamente, confirmando que sus características morfológicas correspondían al aislamiento original de *F. oxysporum*.

Análisis estadístico. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el software SAS v.9.4 (SAS Institute Inc., Cary, Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales. Durante el experimento, se registró temperatura media cercana a 29 °C y humedad relativa de 80-91%, aspectos que favorecen el desarrollo de la enfermedad; ya que ambientes cálidos y húmedos promueven la infección y el avance de *Fusarium* Al-Tuwaijri (2015).

Variables morfológicas y fisiológicas. La inoculación con *Fusarium oxysporum* redujo significativamente el crecimiento, la biomasa y el contenido relativo de clorofila en las variedades evaluadas, evidenciando un efecto negativo directo del patógeno sobre el desempeño morfofisiológico de las plantas (Cuadro 1, Figura 1). Este comportamiento coincide con lo señalado por Husaini et al. (2018), quienes describen que la colonización de raíces y vasos del xilema por *F. oxysporum* interfiere con el transporte de agua y nutrientes, traduciéndose en marchitez, clorosis y reducción del crecimiento.

La respuesta fue significativamente distinta entre variedades: Prestige Red sufrió una reducción del 46% en su peso fresco aéreo (de 12.3 g a 6.6 g) y una disminución del 51% en su peso seco radical. Merms significativamente superiores a las registradas en Sorbet White (Tabla 1).

La altura de planta fue afectada de manera diferencial por la inoculación con *F. oxysporum*. Prestige Red presentó la mayor reducción, pasando de 42.0 cm en el testigo a 28.5 cm en las plantas inoculadas (32%), seguida de Freedom Red con una disminución de 43.5 a 32.0 cm (26%). En contraste, Sorbet White mantuvo valores estadísticamente similares entre plantas inoculadas (45.0 cm) y testigos (46.0 cm). La reducción en altura observada en Prestige Red y Freedom Red es consistente con los efectos descritos por Andersen et al. (2018), quienes señalan que la obstrucción vascular ocasionada por patógenos fúngicos compromete el transporte de agua y nutrientes, lo que se traduce en una menor elongación celular y, consecuentemente, en una reducción del crecimiento longitudinal de la planta. Esta respuesta es característica de hospederos susceptibles, donde la colonización del xilema por el patógeno genera una cadena de eventos fisiopatológicos que afecta el potencial hídrico de la planta. Como señala Michielse & Rep (2009), la invasión de *Fusarium oxysporum* genera una respuesta compleja en el hospedero, caracterizada por la producción de metabolitos secundarios tóxicos y proteínas efectoras que interfieren con los mecanismos de defensa del hospedero. En el caso particular de plantas susceptibles como Prestige Red, esta interferencia es más severa, lo que explica la reducción dramática en altura. La menor elongación observada en Prestige Red

sugiere que, además de la limitación hídrica directa causada por la obstrucción vascular, el patógeno actúa sobre los reguladores del crecimiento, particularmente inhibiendo la síntesis y translocación de giberelinas, fitohormonas críticas para el crecimiento vertical (Tuteja & Sopory, 2008). Este mecanismo es consistente con la hipótesis de que hospederos susceptibles presentan una menor capacidad para activar rutas defensivas que contrarresten el daño vascular ocasionado por el patógeno.

De manera análoga, el diámetro de tallo mostró diferencias significativas entre variedades. En Prestige Red se registró una reducción del 43% (de 1.4 a 0.8 mm) y en Freedom Red del 33% (de 1.5 a 1.0 mm), mientras que Sorbet White conservó valores sin diferencia estadística respecto a su testigo (1.6 vs 1.7 mm). La disminución del diámetro de tallo refleja la limitación en la acumulación de tejido vascular secundario, como consecuencia de la interferencia de *F. oxysporum* en el sistema vascular. Husaini *et al.* (2018) documentaron que la colonización del xilema no solo restringe el flujo hídrico, sino que también altera la señalización hormonal implicada en el crecimiento radial del tallo, particularmente las vías mediadas por auxinas y giberelinas. La preservación del diámetro de tallo en Sorbet White refuerza la hipótesis de una respuesta de defensa eficiente que limita la colonización vascular del patógeno. Desde una perspectiva más amplia, la reducción en el diámetro de tallo es un indicador de deterioro vascular severo, ya que el crecimiento secundario del tallo depende directamente de la integridad del cambium vascular y de la funcionalidad de los elementos vasculares. En hospederos susceptibles como Prestige Red, el patógeno induce la formación de tilosis y la acumulación de gomas en los vasos del xilema, lo que obstruye completamente el transporte hídrico ascendente, privando a los tejidos meristemáticos del tallo del agua necesaria para la expansión celular (Yadeta & Thomma, 2013). Esta obstrucción vascular también reduce significativamente la translocación de nutrientes desde las raíces hacia los órganos aéreos, limitando la disponibilidad de carbohidratos y otros compuestos esenciales para la síntesis de nuevas células. En consecuencia, el cambium vascular produce una menor cantidad de células xilemáticas y floemáticas, reflejándose en un decremento observable del diámetro del tallo. El patrón de respuesta diferencial entre variedades evidencia que la susceptibilidad o tolerancia a *Fusarium* está genéticamente determinada y que variedades como Sorbet White han probablemente desarrollado, a través de la selección natural o artificial, mecanismos de contención del patógeno que restringen su propagación vascular. Estos mecanismos podrían incluir una más rápida activación de respuestas de hipersensibilidad (HR), la acumulación estratégica de compuestos fenólicos antimicrobianos, o una menor susceptibilidad a los factores de virulencia del patógeno codificados por genes SIX (Secreted In Xylem) (Ma *et al.*, 2013). El mantenimiento de un diámetro de tallo cercano al control en Sorbet White, incluso bajo presencia del patógeno, tiene implicaciones comerciales significativas, ya que este parámetro afecta la resistencia mecánica del tallo y su capacidad para soportar el peso de las brácteas pigmentadas sin rizarse o quebrarse.

El sobresaliente desempeño de Sorbet White, que conservó sus valores de biomasa sin diferencias estadísticas respecto a su testigo, sugiere que esta variedad posee mecanismos de tolerancia altamente eficientes. Este hallazgo es congruente con Sakane *et al.* (2024), quienes señalan que la actividad de *Fusarium* depende en gran medida de factores de virulencia como la secreción de proteínas efectoras codificadas

por genes SIX (Secreted In Xylem), cuya interacción con el sistema inmune del hospedero determina la compatibilidad o resistencia de la interacción patosistema.

Cuadro 1. Effect of inoculation with *Fusarium oxysporum* on morphological variables, and chlorophyll content in three poinsettia varieties.

Treatment	Height (cm)	Stem diameter (mm)	Shoot fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	SPAD
Prestige Red (inoculated)	28.5 ± 1.2 d*	0.8 ± 0.1 d	6.6 ± 0.5 d	2.1 ± 0.2 d	21.5 ± 0.8 d
Prestige Red (control)	42.0 ± 1.5 b	1.4 ± 0.1 b	12.3 ± 0.8 b	4.3 ± 0.3 b	32.5 ± 0.9 b
Freedom Red (inoculated)	32.0 ± 1.3 c	1.0 ± 0.1 c	8.5 ± 0.6 c	2.8 ± 0.2 c	25.0 ± 0.9 c
Freedom Red (control)	43.5 ± 1.6 b	1.5 ± 0.1 b	13.0 ± 0.9 b	4.5 ± 0.3 b	33.0 ± 1.0 b
Sorbet White (inoculated)	45.0 ± 1.4 a	1.6 ± 0.1 a	14.5 ± 0.9 a	5.0 ± 0.3 a	33.9 ± 1.0 a
Sorbet White (control)	46.0 ± 1.5 a	1.7 ± 0.1 a	15.0 ± 1.0 a	5.2 ± 0.4 a	34.5 ± 1.1 a
CV	3.5	4.2	5.1	4.8	3.2
LSD	2.1	0.15	1.2	0.4	1.5

*Means followed by different letters within the same column are significantly different ($p < 0.05$, Tukey).

La afectación del estado fisiológico, reflejada en la caída del contenido relativo de clorofila (SPAD), puede analizarse con base en Beccari et al. (2022), quienes señalan que *Fusarium* es capaz de suprimir las defensas vegetales mediante mecanismos moleculares complejos. Prestige Red y Freedom Red mostraron mayor reducción en esta variable con respecto a su testigo sin inoculación; mientras que Sorbet White la infección por este patógeno no alteró los valores de esta variable (Tabla 1).

Cuadro 2.. Incidence and severity of vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* in three commercial poinsettia varieties under greenhouse conditions.

Treatment	Incidence (%)	Severity (%)
Prestige Red inoculated	90.0 ± 2.2 a	75.0 ± 2.0 a
Freedom Red inoculated	60.0 ± 2.0 b	40.0 ± 1.8 b
Sorbet White inoculated	20.0 ± 1.5 c	10.0 ± 1.2 c
Control (all varieties)	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 d
CV	15	20
LSD	12.35	10.12

*Means followed by different letters within the same column are significantly different ($p < 0.05$, Tukey).

Incidencia y severidad. La inoculación con *F. oxysporum* generó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la incidencia y severidad de la marchitez vascular entre las variedades evaluadas (Tabla 2). Las plantas testigo no presentaron síntomas en ninguna variedad, lo que confirma la ausencia de infección natural y valida el método de inoculación empleado. Prestige Red registró la mayor incidencia (90%) y severidad (75%), seguida de Freedom Red con valores intermedios (60% y 40%, respectivamente), mientras que Sorbet White presentó los valores más bajos (20% y 10%), indicando un comportamiento tolerante frente a la infección (Table 2).

Estas diferencias coinciden con lo reportado por Nafula et al. (2021), quienes documentaron variabilidad significativa en la respuesta de distintos cultivares de *Vigna subterranea* L., frente a *F. oxysporum*, atribuyendo este comportamiento a la base genética del hospedero.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio demuestran la existencia de diferencias significativas en la susceptibilidad de tres variedades comerciales de nochebuena a la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*, bajo condiciones de invernadero. Prestige Red resultó altamente susceptible, presentando los valores máximos de incidencia (90%) y severidad (75%), con reducciones drásticas en biomasa, diámetro de tallo y contenido relativo de clorofila. Freedom Red exhibió un comportamiento intermedio frente a la infección. En contraste, Sorbet White destacó por su sobresaliente tolerancia, restringiendo la incidencia al 20% y la severidad al 10%, conservando la integridad de sus parámetros morfofisiológicos, incluso bajo condiciones ambientales predisponentes. Por lo tanto, la selección de genotipos tolerantes como Sorbet White constituye una estrategia agronómica fundamental, económicamente viable y ecológicamente sostenible para el manejo integrado de la fusariosis en zonas productoras con alto riesgo fitosanitario.

REFERENCIAS

1. Abi Saad, C., Masiello, M., Habib, W., Gerges, E., Sanzani, S. M., Logrieco, A. F., Moretti, A., y Somma, S. (2022). Diversity of *Fusarium* species isolated from symptomatic plants belonging to a wide range of agri-food and ornamental crops in Lebanon. *Journal of Fungi*, 8(9), 897. <https://doi.org/10.3390/jof8090897>
2. Al-Tuwaijri, M. M. Y. (2015). Studies on *Fusarium* wilt disease of cucumber. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(2), 110-119. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50216>
3. Andersen, E. J., Ali, S., Byamukama, E., Yen, Y., y Nepal M. P. (2018). Disease resistance mechanisms in plants. *Genes*, 9(7), 339. <https://doi.org/10.3390/genes9070339>

4. Beccari, G., Hao G., y Liu, H. (2022). Editorial: *Fusarium* pathogenesis: Infection mechanisms and disease progression in host plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1020404. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1020404>
5. Daughtrey, M. L. (2016). *Diseases of poinsettia*. En R. J. McGovern y W. H. Elmer (Eds.), *Handbook of Florists' Crops Diseases* (pp. 1–28). Springer.
6. Garibaldi, A., & Gullino, M. L. (2016). *Fusarium* diseases of ornamental plants. En M. L. Gullino, & A. Garibaldi (Eds.), *Diseases of ornamental plants* (pp. 123–145). Springer.
7. Gullino, M. L., Daughtrey, M. L., Garibaldi, A., y Elmer, W. H. (2015). *Fusarium* wilts of ornamental crops and their management. *Crop Protection*, 73, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.003>
8. Husaini A. M., Sakina A., y Cambay, S. R. (2018). Host–pathogen interaction in *Fusarium oxysporum* infections: Where do we stand? *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 31(9), 889-898. <https://doi.org/10.1094/MPMI-12-17-0302-CR>
9. Leslie, J. F., y Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing.
10. Ma, L. J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., ... & Kazmierczak, P. (2013). *Fusarium* pathogenomics. *Annual Review of Microbiology*, 67, 399-416.
11. Michielse, C. B., y Rep, M. (2009). Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 10(3), 311-324. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00538.x>
12. Nafula, W. C., Masinde, I. T., Otieno, O. D., y Wafula, W. V. (2021). Incidence and severity of *Fusarium* wilt on Bambara nut (*Vigna subterranea* L.) landraces in Western Kenya. *African Journal of Biological Sciences*, 3(1), 67-75. <https://doi.org/10.33472/AFJBS.3.1.2021.67-75>
13. Nelson, P. E., Toussoun, T. A., y Marasas W. F. O. (1983). *Fusarium species: An illustrated manual for identification*. Pennsylvania State University Press.
14. Osuna-Canizalez, F. de J., Moreno-López, M. F., García-Pérez, F., Ramírez-Rojas, S., y Canul-Ku, J. (2018). Biocontrol de la pudrición de raíz de

- nochebuena de interior con *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 3(3), 553-564.
15. Posadas, B. C., Coker, C. E. H., Jackson, C., Knight, P. R., DelPrince, J. M., Langlois, S. A., y Ryals, J. B. (2023). Online survey of consumer preferences for poinsettia cultivars. *Horticulturae*, 9(4), 449. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040449>
16. Sakane, K., Ueno, T., Shigyo, M., Sasaki, K., y S.-i. Ito. (2024). Pathogenicity differentiation of *Fusarium* spp. causing Fusarium basal rot and wilt disease in *Allium* spp. *Pathogens*, 13(7), 591. <https://doi.org/10.3390/pathogens13070591>
17. Tuteja, N., & Sopory, S. K. (2008). Chemical signaling under abiotic stress environment in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(5-6), 469-482.
18. USDA National Agriculture Statistics Service. (2024). *Quick Stats. Flowering plants, potted – sales, measured in \$.* usda. <https://quickstats.nass.usda.gov/results/26C37440-5305-3E4F-AA72-F407F450E46D>
19. Yadeta, K. A., & Thomma, B. P. H. J. (2013). The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 4, 97. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00097>

CAPÍTULO IV

Control *in vitro* e *in vivo* de *Fusarium oxysporum* en nochebuena con tratamientos alternativos

Resumen

El cultivo comercial de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es afectado por *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición radicular que provoca graves pérdidas económicas en viveros. Con el objetivo de evaluar la eficacia de tratamientos químicos, biológicos y extractos vegetales para su control, se llevó a cabo una investigación en 2024 bajo condiciones controladas de invernadero utilizando la variedad Prestige Red. Se evaluaron tiofanato de metilo, *Trichoderma harzianum* y extracto acuoso de neem y ácido salicílico, mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*. En pruebas *in vitro* se analizó el crecimiento radial del hongo en medio PDA bajo un diseño completamente al azar con 10 repeticiones. En pruebas *in vivo* se inocularon plantas en etapa vegetativa (20-30 cm de altura, 8-12 hojas verdaderas) con conidios del hongo (1×10^6 conidios mL⁻¹) y se evaluaron semanalmente variables morfológicas y fitopatológicas. Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El ácido salicílico a 150 mg L⁻¹ resultó el tratamiento más efectivo, reduciendo la incidencia a 30 % y la severidad a 20 %, además de promover el crecimiento vegetal. *Trichoderma harzianum* a 2.0 g L⁻¹ y el tiofanato de metilo a 1.5 g L⁻¹ mostraron eficacia comparable. Se concluye que el ácido salicílico representa una alternativa prometedora para el manejo integrado y sostenible de *F. oxysporum* en nochebuena.

Palabras clave: *Trichoderma harzianum*, ácido salicílico, biocontrol, inhibición micelial, manejo integrado.

Abstract

Commercial poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) cultivation is significantly impacted by *Fusarium oxysporum*, the causal agent of root rot, resulting in substantial economic losses in nurseries. To evaluate the efficacy of chemical, biological, and botanical treatments for disease control, a study was conducted in 2024 under controlled greenhouse conditions using the Prestige Red variety. Methyl thiophanate, *Trichoderma harzianum*, and aqueous extracts of neem and salicylic acid were assessed through *in vitro* and *in vivo* assays. *In vitro* tests analyzed fungal radial growth on PDA medium under a completely randomized design with 10 replicates. *In vivo* trials evaluated morphological and phytopathological variables weekly in plants at vegetative stage (20-30 cm height, 8-12 true leaves) inoculated with a conidial suspension (1×10^6 conidia mL⁻¹). Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). Salicylic acid at 150 mg L⁻¹ was the most effective treatment, reducing incidence to 30 % and severity to 20 %, while also promoting plant growth.

Keywords: *Trichoderma harzianum*, salicylic acid, biocontrol, mycelial inhibition, integrated management.

Introducción

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es una de las plantas ornamentales de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a su alta demanda en temporadas festivas y su producción intensiva en viveros e invernaderos (Garibaldi *et al.*, 2016). Estas condiciones favorecen la aparición de enfermedades causadas por patógenos del suelo, entre los que destaca *Fusarium oxysporum*, reconocido como una de las principales limitantes en la producción de ornamentales (Sumera *et al.*, 2023; Akram *et al.*, 2018). La eficacia de los fungicidas convencionales es además variable según el aislamiento del hongo (Jimenez *et al.*, 2018), lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias sostenibles como el uso de *Trichoderma harzianum* (Yadav *et al.*, 2024; Kumari *et al.*, 2020) y extractos vegetales (Khanna *et al.*, 2021; Chanu *et al.*, 2024). El ácido salicílico actúa como inductor de la resistencia sistémica adquirida (SAR), fortaleciendo los mecanismos de defensa de la planta huésped (Abou-Zeid *et al.*, 2018; Rivas-García *et al.*, 2020). El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de estos tratamientos en condiciones *in vitro* e *in vivo*, con el fin de identificar alternativas viables para el manejo integrado de *F. oxysporum* en viveros de nochebuena del centro de México.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en 2024 en un invernadero tipo túnel ubicado en Cuautla, Morelos, México (18°51'18.1" N, 98°58'40.0" O). Se utilizaron plantas de *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch variedad Prestige Red en etapa vegetativa (20-30 cm de altura, 8-12 hojas verdaderas). El sustrato se esterilizó en autoclave a 121 °C durante 60 min en dos días consecutivos, verificando la esterilidad mediante siembras en medio PDA (González-Pérez *et al.*, 2017). El aislado de *Fusarium oxysporum* se obtuvo de raíces sintomáticas de viveros comerciales e identificó por características morfológicas conforme a Leslie y Summerell (2006). El inóculo se ajustó a 1×10^6 conidios mL⁻¹ con cámara de Neubauer.

Ensayos *in vitro*

Se evaluaron cuatro tratamientos: tiofanato de metilo (Topsin® M 70WP), *Trichoderma harzianum* (Triatum-P®), extracto acuoso de neem y ácido salicílico, a tres concentraciones cada uno (Tabla 1), bajo un diseño completamente al azar con 10 repeticiones (n = 120). Los tratamientos se incorporaron al medio PDA antes de solidificarse. Cada caja Petri (90 mm) se inoculó al centro con un disco de cinco mm de micelio activo. El crecimiento radial se midió cada 24 h con vernier digital. El PICM se calculó como: $PICM = [(D_c - D_t) / D_c] \times 100$.

Cuadro 3. Concentraciones utilizadas en los tratamientos evaluados *in vitro* contra *Fusarium oxysporum*.

Tratamiento	Dosis baja (ppm)	Dosis media (ppm)	Dosis alta (ppm)
Tiofanato de metilo	700	1 400	2 800
<i>Trichoderma harzianum</i>	30	60	100
Extracto de neem	250	500	1 000
Ácido salicílico	100	500	1 500

Ensayos *in vivo*

Se utilizaron 72 plantas en etapa vegetativa (20-30 cm de altura, 8-12 hojas verdaderas) distribuidas en 12 tratamientos (cuatro productos × tres concentraciones), con seis plantas por tratamiento (Tabla 2). Las raíces fueron heridas con bisturí estéril e inoculadas por inmersión durante 15 min. Los datos se analizaron con ANOVA y comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) en SAS v.9.1.

Cuadro 4. Concentraciones, volúmenes y frecuencias de aplicación de los tratamientos *in vivo*.

Tratamiento	Dosis	Volumen/maceta	Frecuencia
Tiofanato de metilo	0.5–1.5 g L ⁻¹	500 mL	Cada 15 días
<i>Trichoderma harzianum</i>	0.5–2.0 g L ⁻¹	500 mL	Cada 15 días
Extracto de neem	25–100 mL L ⁻¹	100 mL	Semanalmente
Ácido salicílico	50–150 mg L ⁻¹	200 mL	Cada 15 días

Resultados

Ensayos *in vitro*. Se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en el PICM y diámetro de la colonia de *F. oxysporum* (Tabla 3, Figura 1). El ácido salicílico a 100 ppm fue el más efectivo con 71.23 ± 1.18 % de inhibición y diámetro micelial de 20.00 ± 1.50 mm, en contraste con el testigo (80.00 ± 1.60 mm; 0.20 ± 0.10 %). Las dosis de 150 y 500 ppm mostraron alta eficacia (66.15 % y 64.26 %) sin diferencias estadísticas entre sí. El tiofanato de metilo a 50 ppm alcanzó 65.70 ± 3.65 % con disminución a dosis mayores. *Trichoderma harzianum* mostró comportamiento dependiente de la concentración (máximo 57.75 ± 2.00 % a 100 ppm). El extracto de neem fue más efectivo a 250 ppm (60.71 ± 1.35 %).

Cuadro 5 . Efecto de tratamientos sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*.

Tratamiento	Inhibición micelial (%)	Diámetro micelial (mm)
Ácido salicílico 100 ppm	71.23 ± 1.18 a	20.00 ± 1.50 f
Ácido salicílico 150 ppm	66.15 ± 0.88 ab	21.00 ± 1.40 f
Tiofanato de metilo 50 ppm	65.70 ± 3.65 ab	25.00 ± 1.50 de
Ácido salicílico 500 ppm	64.26 ± 2.00 bc	22.50 ± 1.30 ef
Neem 250 ppm	60.71 ± 1.35 cd	24.00 ± 1.00 de
Tiofanato de metilo 150 ppm	60.54 ± 2.59 cd	28.00 ± 1.70 bcd
<i>Trichoderma harzianum</i> 100 ppm	57.75 ± 2.00 de	29.00 ± 1.50 bcd
<i>Trichoderma harzianum</i> 60 ppm	55.00 ± 3.65 efg	26.00 ± 1.80 cd
Tiofanato de metilo 100 ppm	54.85 ± 2.84 efg	30.00 ± 2.00 b
Neem 500 ppm	53.35 ± 1.90 fg	31.00 ± 1.60 bc
<i>Trichoderma harzianum</i> 30 ppm	50.60 ± 4.30 g	32.00 ± 2.30 b
Neem 1 000 ppm	50.14 ± 1.14 g	33.00 ± 2.10 b
Testigo	0.20 ± 0.10 h	80.00 ± 1.60 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Tukey).

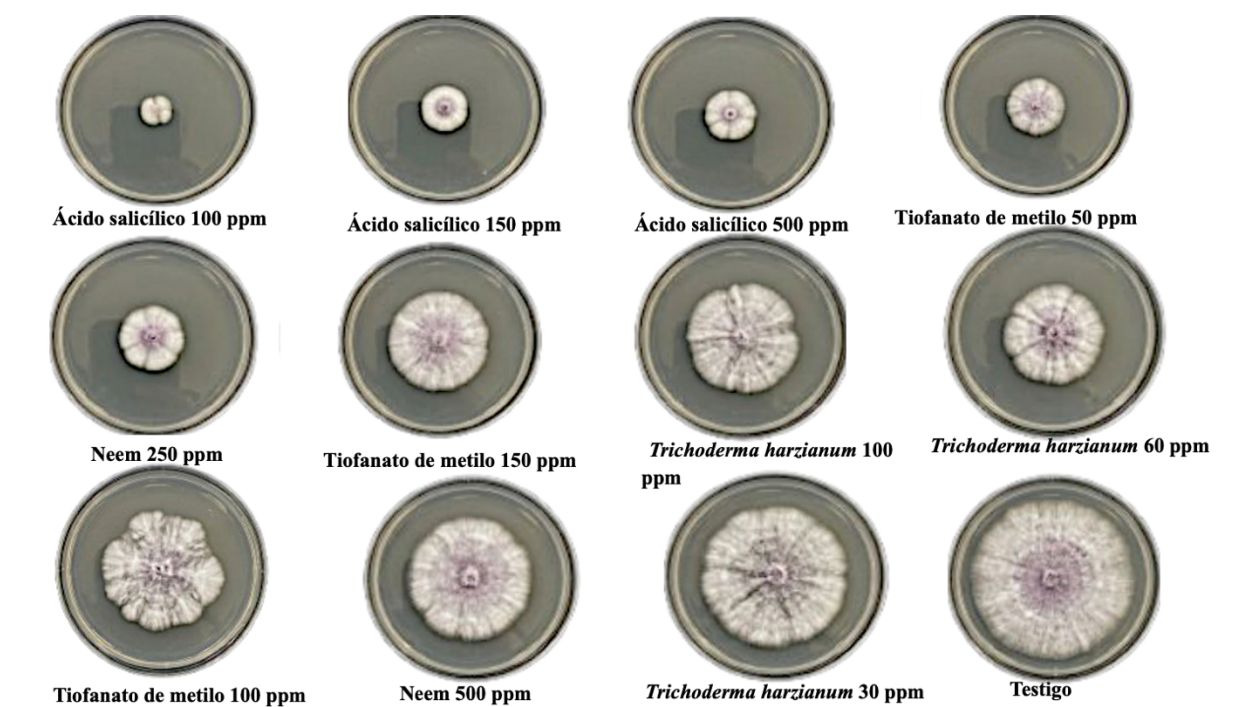


Figura 1. Efecto de tratamientos químicos, biológicos y naturales sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*.

Ensayos *in vivo* — crecimiento vegetativo. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($p < 0.05$) para todas las variables evaluadas (cuadro 6). El mayor crecimiento en altura se observó con tiofanato de metilo a 1.5 g L^{-1} ($50.0 \pm 2.2 \text{ cm}$) y ácido salicílico a 150 mg L^{-1} ($49.5 \pm 2.1 \text{ cm}$). *Trichoderma harzianum* a 2.0 g L^{-1} alcanzó $49.0 \pm 2.1 \text{ cm}$ y área de brácteas de $3100 \pm 150 \text{ cm}^2$. El testigo registró los valores más bajos ($40.0 \pm 1.5 \text{ cm}$).

Cuadro 6. Efecto de tratamientos sobre el crecimiento vegetativo de *Euphorbia pulcherrima* en condiciones de invernadero.

	Altura (cm)	Área foliar (cm ²)	Área de brácteas (cm ²)
Tratamiento			
Tiofanato de metilo 1.5 g L ⁻¹	50.0 ± 2.2 a	2 500 ± 125 a	3 200 ± 160 a
Ácido salicílico 150 mg L ⁻¹	49.5 ± 2.1 a	2 500 ± 120 a	3 200 ± 150 a
Trichoderma harzianum 2.0 g L ⁻¹	49.0 ± 2.1 ab	2 450 ± 120 ab	3 100 ± 150 ab
Tiofanato de metilo 1.0 g L ⁻¹	48.0 ± 2.1 b	2 400 ± 120 b	3 000 ± 150 b
Neem 100 mL L ⁻¹	48.5 ± 2.0 b	2 400 ± 115 b	3 050 ± 145 b
Ácido salicílico 100 mg L ⁻¹	46.5 ± 1.9 b	2 300 ± 110 b	2 950 ± 140 b
Trichoderma harzianum 1.0 g L ⁻¹	47.0 ± 2.0 b	2 350 ± 115 b	2 950 ± 145 b
Testigo	40.0 ± 1.5 e	1 800 ± 90 e	2 500 ± 120 e
CV	1.5	100	120
DMS	3	4	5

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Tukey).

Ensayos in vivo — incidencia y severidad. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Tabla 5, Figura 2). El ácido salicílico a 150 mg L⁻¹ fue el más efectivo, reduciendo la incidencia a 30.0 % y la severidad a 20.0 %, frente al testigo (90.0 % y 80.0 % con colapso total). *Trichoderma harzianum* a 2.0 g L⁻¹ y el tiofanato de metilo a 1.5 g L⁻¹ mostraron eficacia comparable. Los extractos de neem presentaron la menor eficacia.

Cuadro 7. Incidencia y severidad de *Fusarium oxysporum* en *Euphorbia pulcherrima* bajo diferentes tratamientos en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Incidencia (%)	Severidad (%)
Ácido salicílico 150 mg L ⁻¹	30.0 ± 1.1 a	20.0 ± 1.7 a
<i>Trichoderma harzianum</i> 2.0 g L ⁻¹	33.0 ± 1.6 ab	28.0 ± 1.4 ab
Tiofanato de metilo 1.5 g L ⁻¹	34.0 ± 1.7 a	29.0 ± 1.4 a
Ácido salicílico 100 mg L ⁻¹	35.0 ± 1.2 ab	25.0 ± 1.8 ab
Tiofanato de metilo 1.0 g L ⁻¹	40.0 ± 1.5 b	35.0 ± 2.1 b
Ácido salicílico 50 mg L ⁻¹	40.0 ± 1.3 b	30.0 ± 1.9 b
<i>Trichoderma harzianum</i> 1.0 g L ⁻¹	45.0 ± 1.8 bc	37.0 ± 2.2 bc
<i>Trichoderma harzianum</i> 0.5 g L ⁻¹	50.0 ± 1.9 c	40.0 ± 2.3 c
Neem 100 mL L ⁻¹	50.0 ± 1.9 c	40.0 ± 2.3 c
Neem 25 mL L ⁻¹	60.0 ± 2.0 d	50.0 ± 2.5 d
Testigo	90.0 ± 2.2 e	80.0 ± 3.0 e
CV	15	20
DMS	12.35	10.12

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Tukey).

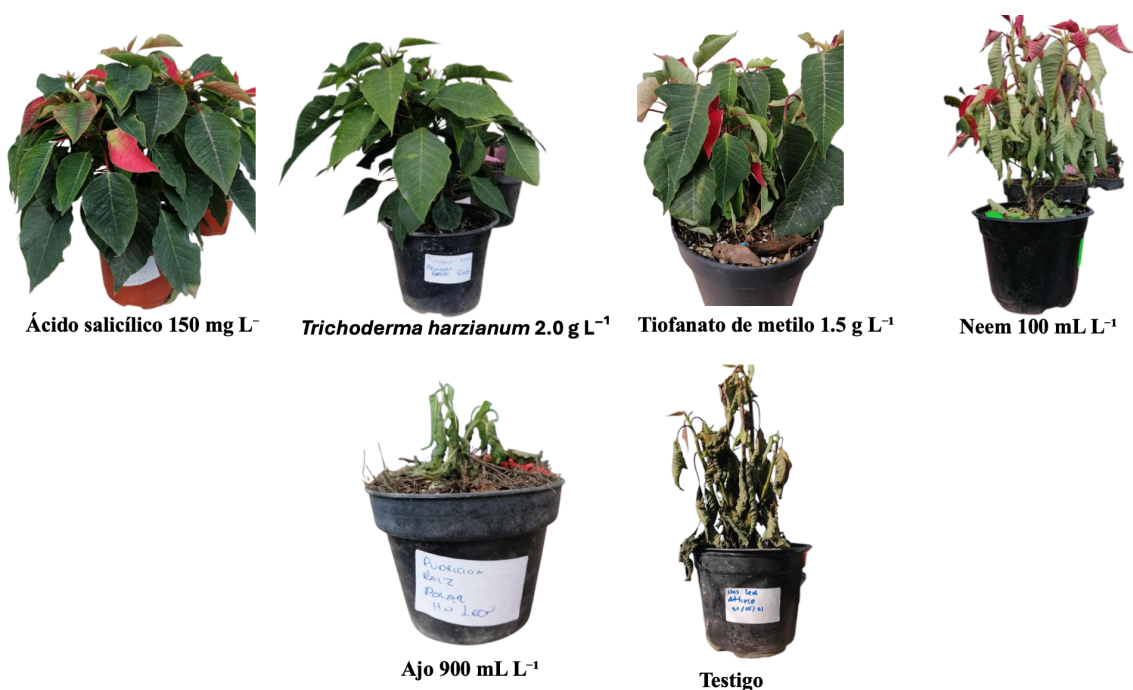


Figura 2. Efecto de tratamientos sobre el desarrollo de *Euphorbia pulcherrima* inoculada con *Fusarium oxysporum* en condiciones de invernadero. Se observa el vigor conservado en plantas tratadas con ácido salicílico 150 mg L⁻¹, *Trichoderma harzianum* 2.0 g L⁻¹, tiofanato de metilo 1.5 g L⁻¹ y neem 100 mL L⁻¹, en contraste con el colapso total del testigo y el severo deterioro del testigo sin tratamiento 900 mL L⁻¹.

Discusión

La superioridad del ácido salicílico puede atribuirse a su función como inductor de la SAR, activando respuestas defensivas como la producción de fitoalexinas y lignificación de tejidos (Rivas-García *et al.*, 2020). Abou-Zeid *et al.* (2018) reportaron severidad de apenas 21.6 % en plantas tratadas con ácido salicílico, consistente con los valores del presente estudio. Zian *et al.* (2019) demostraron que la combinación de ácido salicílico con agentes de biocontrol mejora el control de la enfermedad. Singh *et al.* (2021) documentaron que este compuesto también mejora procesos fisiológicos como la expansión celular y la fotosíntesis, explicando los incrementos en altura y área foliar observados.

La eficacia del tiofanato de metilo concuerda con Mihajlović *et al.* (2021), quienes documentaron hasta 83 % de control en plantas de pimiento. Sin embargo, la disminución de efectividad a dosis altas puede estar relacionada con resistencia de *F. oxysporum* a benzimidazoles (Akram *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2019).

Trichoderma harzianum mostró eficacia dependiente de la concentración comparable al fungicida sintético a la dosis más alta. Yadav *et al.* (2024) reportaron hasta 64 % de inhibición micelial, Massoud *et al.* (2020) documentaron hasta 85 % en laboratorio, y Kumari *et al.* (2020) evidenciaron su efectividad en campo. Los extractos de neem mostraron eficacia moderada (Khanna *et al.*, 2021; Hossain *et al.*, 2013), 2024; Masangcay y Galian, 2021).

Conclusiones

El ácido salicílico a 150 mg L⁻¹ constituyó el tratamiento más efectivo para el control de *Fusarium oxysporum* en nochebuena, reduciendo la incidencia a 30 % y la severidad a 20 %, además de promover el crecimiento vegetal mediante activación de la SAR. *Trichoderma harzianum* a 2.0 g L⁻¹ y el tiofanato de metilo a 1.5 g L⁻¹ mostraron eficacia comparable. Los extractos de neem presentaron actividad antifúngica moderada con potencial de integración en estrategias de manejo integrado.

Literatura Citada

Abou-Zeid M. N., Mahmoud N. y Saleh R. 2018. Effect of biotic and abiotic applications on control of *Fusarium* wilt of pepper plants. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 46(1):1–18.

Akram S., Khan S., Khan M. F., Khan H., Tariq A., Umar U. y Gill A. 2018. Antifungal activity of different systemic fungicides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 30(1):23–30.

Amini J. y Sidovich D. F. 2010. The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Plant Protection Research*. 50(2):172–178.

Bertetti D., Garibaldi A., Rizzo V. y Gullino M. L. 2024. Inoculation techniques for evaluating biocontrol efficacy against *Fusarium* spp. in ornamental crops. *European Journal of Plant Pathology*. 170(1):4–12.

Chanu W. T., Sinha B., Chakrapani K., Thangjam B., Chaurasia N. K. y Singh H. 2024. Eco-friendly management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* using plant extracts. *Journal of Mycopathological Research*. 62(1):45–53.

Contreras-Cornejo H. A., Macías-Rodríguez L., Alfaro-Cuevas R. y López-Bucio J. 2017. *Trichoderma* spp. aumenta la biomasa foliar en plantas ornamentales. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 35(1):45–58.

El-Nagar A., Elzaawely A., El-Zahaby H., Xuan T., Khanh T., Gaber M., El-Wakeil N., El-Sayed Y. y Nehela Y. 2023. Benzimidazole derivatives suppress *Fusarium* wilt disease. *Journal of Fungi*. 9(2):156.

Garibaldi A., Gilardi G. y Gullino M. L. 2016. *Fusarium oxysporum* as a pathogen of ornamental plants. *Journal of Plant Pathology*. 98(1):25–34.

González-Pérez R., Martínez-Luna A., Gómez-Gómez C. y Herrera-Rodríguez J. 2017. Evaluación microbiológica de sustratos mediante siembra en PDA. *Revista Mexicana de Microbiología*. 43(2):105–112.

Harman G. E., Petzoldt R., Comis A. y Chen J. 2019. Plant growth promotion mechanisms by *Trichoderma* spp. *Plant Disease*. 103(2):150–162.

Hossain M., Hossain N., Sultana F., Islam S., Islam M. y Bhuiyan M. K. A. 2013. Integrated management of *Fusarium* wilt of chickpea. *African Journal of Biotechnology*. 12(34):4699–4706.

Jimenez D. R., Ellis M. L., Munkvold G. y Leandro L. 2018. Isolate-cultivar interactions and fungicide sensitivity of *Fusarium oxysporum* isolates on soybean. *Plant Disease*. 102(10):1928–1937.

Khanna A., Raj K. y Kumar P. 2021. Role of plant extracts and bio-agents in *Fusarium* wilt management. *Legume Research*. 44(8):965–971.

Kumari M., Sharma K. y Sharma O. 2020. Biointensive management of wilt disease of lentil through biocontrol agents. *Journal of Biological Control*. 34(2):112–118.

Leslie J. F. y Summerell B. A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing. Iowa, Estados Unidos. 388 p.

López-Bucio J., García-Sánchez J., Cruz-Ramírez A. y Herrera-Estrella L. 2018. Relación entre área foliar y absorción de nutrientes en condiciones de estrés biótico. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 33(2):115–126.

Masangcay T. D. y Galian J. L. 2021. Efficacy of fermented garlic-based biopesticide against *Fusarium* wilt. *Mountain Journal of Science and Interdisciplinary Research*. 81(1):55–64.

Massoud M., Kordy A., Abdel-Mageed A. A., Heflish A. y Sehier M. 2020. Impact of chitosan and *Trichoderma harzianum* against *Fusarium* wilt of strawberry. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 30(1):88.

Mihajlović M., Rekanović E., Hrustić J., Grahovac M. y Tanović B. 2021. *In vitro* and *in vivo* toxicity of fungicides and biofungicides for the control of *Verticillium* and *Fusarium* wilt of pepper. *Pesticidi i fitomedicina*. 36(1):35–44.

Mora-Montes H. M., González-Pedrajo B. y Ortega-Beltrán A. 2021. Mecanismos de acción de *Trichoderma harzianum* frente a *Fusarium* spp. *Fitotecnia Mexicana*. 44(4):399–408.

Rivas-García T., Ramírez-Suárez R., Bautista-Baños S. y Sánchez-Vázquez J. E. 2020. Activación de la resistencia sistémica por ácido salicílico contra *Fusarium oxysporum*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(2):129–136.

Shin S., Jeong Y., Kim S. y Kim H. 2023. Efficacy of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. against root diseases. *Journal of Microbial Biotechnology*. 33(5):455–467.

Singh P., Mishra S. y Tripathi D. K. 2021. Role of salicylic acid in plant growth and stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(3):1285–1301.

Sumera A., Ahmed M., Yousaf M. y Khan A. 2023. Impact of excessive fungicide use on fungal resistance. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 35(1):13–22.

Yadav J., Singh R., Singh S., Maurya M. y Kumar J. 2024. Bio-efficacy of different plant leaf extracts and bio-control agents against *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. 8(3):215–221.

Zhao H., Zhang W., Xie Y. y Xu X. 2019. Mechanisms of *Fusarium oxysporum* resistance to methyl thiophanate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 67(7):1852–1858.

Zian A., El-Gendy H. y Shehata H. 2019. Enhancing biocontrol agents by salicylic acid for controlling wilt diseases. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 47(2):89–102.

CAPÍTULO V

Efecto de diferentes fuentes de ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum in vitro*

Resumen

Fusarium oxysporum es uno de los principales patógenos fúngicos del suelo que afecta el cultivo de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch), provocando pudrición radicular y marchitez vascular con graves consecuencias económicas en viveros. El ácido salicílico (SA) es reconocido como un inductor de resistencia sistémica adquirida (SAR) en plantas y ha mostrado además actividad antifúngica directa. Sin embargo, su eficacia puede variar según la fuente comercial empleada. Con el objetivo de evaluar el efecto de tres fuentes de ácido salicílico —SA puro grado USP, Sedarine® y Aspirina® (Bayer 500 mg)— sobre el crecimiento micelial de *F. oxysporum* en condiciones *in vitro*, se llevó a cabo un experimento bajo un diseño completamente al azar con tres concentraciones (50, 100 y 150 ppm) y 10 repeticiones por tratamiento (n = 100). El SA puro a 100 ppm resultó el tratamiento más efectivo con 75.00 ± 1.2 % de inhibición y diámetro micelial de 22.00 ± 1.3 mm, superando significativamente a las fuentes comerciales. Se concluye que el SA puro grado USP es la fuente más eficaz y económica para inhibir *F. oxysporum in vitro*, con implicaciones relevantes para el manejo fitosanitario de nochebuena.

Palabras clave: *Euphorbia pulcherrima*, inhibición micelial, resistencia sistémica adquirida, Sedarine®, Aspirina®.

Abstract

Fusarium oxysporum is one of the main soil-borne fungal pathogens affecting poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) cultivation, causing root rot and vascular wilt with severe economic consequences in nurseries. Salicylic acid (SA) is recognized as an inducer of systemic acquired resistance (SAR) in plants and has also shown direct antifungal activity; however, its efficacy may vary depending on the commercial source used. To evaluate the effect of three salicylic acid sources —pure USP-grade SA, Sedarine®, and Aspirin® (Bayer 500 mg)— on the mycelial growth of *F. oxysporum* under *in vitro* conditions, an experiment was conducted using a completely randomized design with three concentrations (50, 100, and 150 ppm) and 10 replicates per treatment (n = 100). Pure SA at 100 ppm was the most effective treatment, achieving 75.00 ± 1.2 % inhibition and a mycelial diameter of 22.00 ± 1.3 mm, significantly outperforming commercial sources. It is concluded that pure USP-grade SA is the most effective and cost-efficient source for inhibiting *F. oxysporum* in vitro.

Keywords: *Euphorbia pulcherrima*, mycelial inhibition, systemic acquired resistance, Sedarine®, Aspirin®.

Introducción

La nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) es una de las plantas ornamentales de mayor importancia económica a nivel mundial, con alta demanda durante la temporada navideña y producción intensiva en viveros e invernaderos. No obstante, su cultivo se ve severamente amenazado por enfermedades fúngicas del suelo, entre las que destaca la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*. Este patógeno coloniza el sistema vascular radicular interrumpiendo el transporte de agua y nutrientes, lo que provoca síntomas progresivos de clorosis, marchitez y necrosis que culminan en la muerte de la planta (Garibaldi *et al.*, 2016).

El ácido salicílico (SA) ha emergido como una alternativa de gran interés para el manejo de enfermedades fúngicas en cultivos ornamentales. Su mecanismo de acción dual —activación de la SAR en la planta e inhibición directa del crecimiento fúngico— lo posiciona como una herramienta sostenible frente a patógenos como *F. oxysporum* (Abou-Zeid *et al.*, 2018; Rivas-García *et al.*, 2020). Una consideración práctica relevante es que el SA se encuentra disponible bajo diferentes presentaciones comerciales: SA puro grado USP, formulaciones agrícolas registradas (Sedarine®) y el ácido acetilsalicílico (AAS) presente en la Aspirina® (Bayer). Estas fuentes difieren en su grado de pureza, concentración del principio activo y precio, factores que pueden influir significativamente en su eficacia antifúngica. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de estas tres fuentes a tres concentraciones sobre el crecimiento micelial de *F. oxysporum in vitro*.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de fitopatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Se utilizó un aislado de *Fusarium oxysporum* identificado previamente por características morfológicas conforme a Leslie y Summerell (2006), conservado en medio PDA a 4 °C.

Tratamientos evaluados

Se evaluaron tres fuentes de SA a tres concentraciones (Tabla 1): a) SA puro grado USP (99.5 % de pureza): 50, 100 y 150 mg en 100 mL de agua destilada estéril (Yousif, 2018); b) Sedarine® (10 % de SA activo): 0.50, 1.00 y 1.50 g L⁻¹ equivalentes a 50, 100 y 150 ppm de SA; c) Aspirina® (Bayer 500 mg) (ácido acetilsalicílico, AAS): dosis calculadas con conversión estequiométrica AAS/SA = 180/138 para obtener equivalentes molares de 50, 100 y 150 ppm de SA (≈65, 130 y 196 mg L⁻¹ de AAS, respectivamente) (Rivas-García *et al.*, 2020).

Cuadro 7. Fuentes y concentraciones de SA evaluadas contra *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*.

Fuente	50 ppm	100 ppm	150 ppm
SA puro grado USP	50 mg L ⁻¹	100 mg L ⁻¹	150 mg L ⁻¹
Sedarine®	0.50 g L ⁻¹ (5 mL L ⁻¹)	1.00 g L ⁻¹ (10 mL L ⁻¹)	1.50 g L ⁻¹ (15 mL L ⁻¹)
Aspirina® (Bayer 500 mg)	≈65 mg AAS L ⁻¹	≈130 mg AAS L ⁻¹	≈196 mg AAS L ⁻¹

Preparación del medio e inoculación

Los tratamientos fueron incorporados al medio PDA templado (45 °C) antes de solidificarse y mezclados durante un minuto. La mezcla se distribuyó en cajas Petri de 90 mm. Una vez solidificado, se inoculó al centro de cada caja un disco de cinco mm de micelio activo de *F. oxysporum* de siete días. Las cajas se incubaron a 25 ± 2 °C.

Variables evaluadas y análisis estadístico

El crecimiento radial se midió diariamente con vernier digital (Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japón). El PICM se calculó como: $\text{PICM (\%)} = [(D_c - D_t) / D_c] \times 100$, donde D_c es el diámetro del testigo y D_t el del tratamiento. Se utilizó un DCA con 10 repeticiones por tratamiento ($n = 100$). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) en SAS v.9.1 (SAS Institute Inc., Cary, Estados Unidos), verificando normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk.

Resultados

Se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos en el PICM y el diámetro micelial de *F. oxysporum* (Cuadro 8). El testigo sin tratamiento mostró el mayor crecimiento (85.00 ± 1.6 mm) con inhibición mínima (0.20 ± 0.10 %), confirmando las condiciones óptimas de desarrollo del patógeno.

SA puro grado USP. La dosis de 100 ppm fue la más efectiva con 75.00 ± 1.2 % de inhibición y diámetro micelial de 22.00 ± 1.3 mm (grupo a), seguida de 150 ppm (72.00 ± 0.9 %; 24.00 ± 1.4 mm, grupo a) sin diferencia estadística significativa entre ambas. La dosis de 50 ppm también mostró alta eficacia (68.12 ± 1.5 %; 30.00 ± 1.4 mm, grupo ab).

Sedarine®. La dosis de 100 ppm fue la más efectiva (65.00 ± 1.8 %; 32.00 ± 1.4 mm, grupo b), seguida de 50 ppm (60.00 ± 2.0 %; 36.00 ± 1.5 mm, grupo bc). Notablemente, la dosis alta de 150 ppm presentó la menor inhibición dentro de este grupo (58.00 ± 1.0 %; 38.00 ± 1.6 mm, grupo cd), indicando un efecto no lineal posiblemente relacionado con excipientes de la formulación.

Aspirina® (Bayer). Esta fuente presentó la menor eficacia general. La dosis de 100 ppm fue la más efectiva (60.00 ± 2.0 %; 35.00 ± 1.5 mm, grupo cd), mientras que la dosis alta de 150 ppm mostró el menor PICM de esta fuente (50.00 ± 1.5 %; 42.00 ± 1.8 mm, grupo d). La menor eficacia de Aspirina® respecto al SA puro se atribuye a que su principio activo es el AAS, un profármaco que requiere hidrólisis para liberar SA libre activo, proceso limitado en medios de cultivo abióticos como el PDA.

Cuadro 8. Efecto de diferentes fuentes y concentraciones de ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*.

Tratamiento	Inhibición micelial (%)	Diámetro micelial (mm)
SA puro 100 ppm	75.00 ± 1.2 a	22.00 ± 1.3 d
SA puro 150 ppm	72.00 ± 0.9 a	24.00 ± 1.4 d
SA puro 50 ppm	68.12 ± 1.5 ab	30.00 ± 1.4 c
Sedarine® 100 ppm	65.00 ± 1.8 b	32.00 ± 1.4 c
Sedarine® 50 ppm	60.00 ± 2.0 bc	36.00 ± 1.5 c
Aspirina® 100 ppm	60.00 ± 2.0 cd	35.00 ± 1.5 c
Sedarine® 150 ppm	58.00 ± 1.0 cd	38.00 ± 1.6 b
Aspirina® 50 ppm	55.00 ± 2.2 d	40.00 ± 1.7 b
Aspirina® 150 ppm	50.00 ± 1.5 d	42.00 ± 1.8 b
Testigo (sin tratamiento)	0.20 ± 0.10 e	85.00 ± 1.6 a
CV (%)	5.5	7.0
DMS (0.05)	6.0	4.0

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$, Tukey).

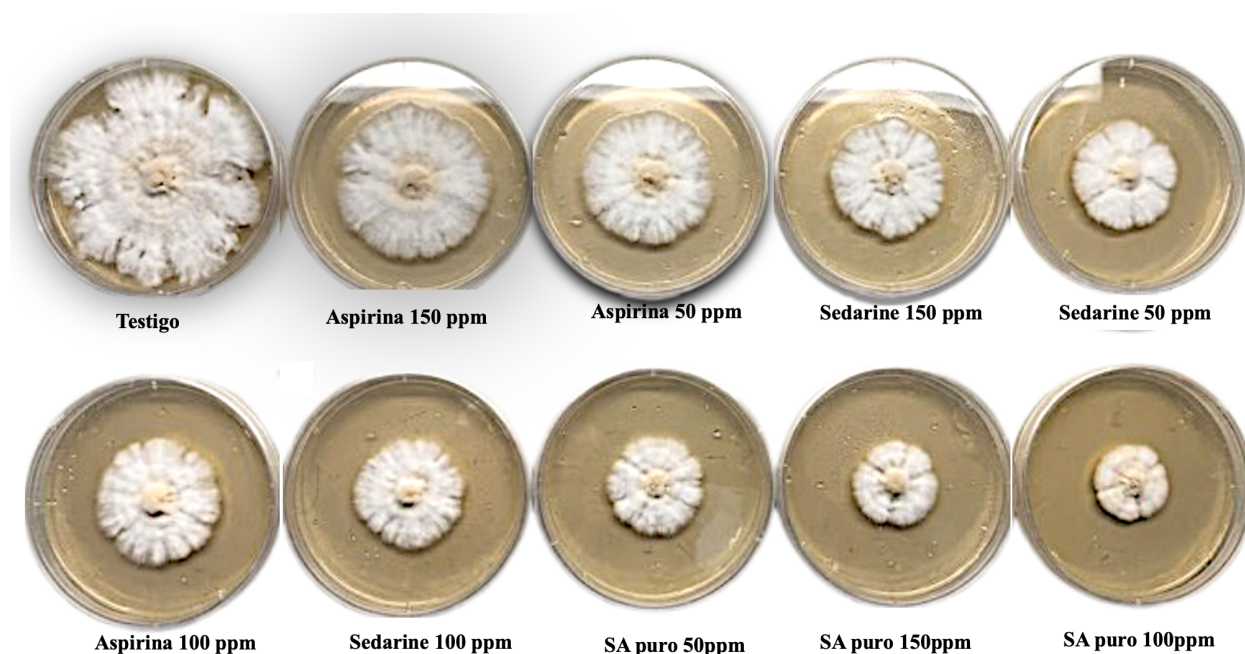


Figura 1. Efecto de diferentes fuentes y concentraciones de ácido salicílico sobre el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*. Fila superior de izquierda a derecha: testigo, Aspirina® 150 ppm, Aspirina® 50 ppm, Sedarine® 150 ppm y Sedarine® 50 ppm. Fila inferior: Aspirina® 100 ppm, Sedarine® 100 ppm, SA puro 50ppm, SA puro 150ppm y SA puro 100ppm.

puro 50 ppm, SA puro 150 ppm y SA puro 100 ppm. Se observa la inhibición progresiva del crecimiento micelial conforme aumenta la pureza de la fuente, con la colonia más pequeña en SA puro 100 ppm.

Discusión

La superioridad del SA puro grado USP sobre las fuentes comerciales confirma que la pureza y biodisponibilidad del principio activo son factores determinantes en la actividad antifúngica. La inhibición de 75 % obtenida con SA puro a 100 ppm es consistente con lo reportado por Abou-Zeid *et al.* (2018), quienes documentaron inhibición de 40 a 90 % del crecimiento de *F. oxysporum* en función de la concentración de SA *in vitro*. Asimismo, Zian *et al.* (2019) confirmaron la actividad antifúngica directa del SA, atribuyéndola a la interferencia con el metabolismo del ergosterol y la integridad de la membrana celular fúngica.

El comportamiento no lineal observado en Sedarine® y Aspirina® —donde la dosis alta (150 ppm) resultó menos efectiva que la media (100 ppm)— es un hallazgo relevante. En el caso de Sedarine®, la presencia de excipientes y surfactantes podría modificar la difusión del principio activo en el medio PDA a concentraciones elevadas. La menor eficacia de Aspirina® puede explicarse por la naturaleza química del AAS como profármaco que requiere hidrólisis por esterasas para liberar SA libre, proceso limitado en medios de cultivo abióticos (Jawed *et al.*, 2019; Gxasheka *et al.*, 2020). Desde una perspectiva práctica, el SA puro grado USP ofrece ventajas adicionales: permite ajustar concentraciones con precisión, tiene un costo considerablemente

menor que las formulaciones comerciales y garantiza resultados reproducibles (Khanna et al., 2021; Massoud et al., 2020).

Conclusiones

El SA puro grado USP a 100 ppm constituyó la fuente y concentración más efectiva para inhibir el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum in vitro*, alcanzando 75.00 % de inhibición y superando significativamente a las fuentes comerciales Sedarine® y Aspirina®. La mayor eficacia del SA puro se atribuye a su alta pureza y biodisponibilidad, mientras que la menor respuesta de Aspirina® se relaciona con su naturaleza como profármaco. Las tres fuentes mostraron efecto inhibidor significativo respecto al testigo, con respuesta dosis-dependiente en el SA puro y comportamiento no lineal en las fuentes comerciales. Estos resultados justifican el uso preferente del SA puro grado USP en el manejo fitosanitario de nochebuena, tanto por su eficacia superior como por su ventaja económica.

Literatura Citada

1. Abou-Zeid M. N., Mahmoud N. y Saleh R. 2018. Effect of biotic and abiotic applications on control of *Fusarium* wilt of pepper plants. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 46(1):1–18.

2. Chanu W. T., Sinha B., Chakrapani K., Thangjam B., Chaurasia N. K. y Singh H. 2024. Eco-friendly management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* using plant extracts. *Journal of Mycopathological Research*. 62(1):45–53.
3. Degani O. y Kalman B. 2021. Assessment of commercial fungicides against onion basal rot and crown rot pathogens. *Agronomy*. 11(3):419.
4. El-Nagar A., Elzaawely A., El-Zahaby H., Xuan T., Khanh T., Gaber M., El-Wakeil N., El-Sayed Y. y Nehela Y. 2023. Benzimidazole derivatives suppress *Fusarium* wilt disease. *Journal of Fungi*. 9(2):156.
5. Ezrari S., Lazraq A., Modafar C., Hamdache A., Belabess Z., Lahlali R. y Barka E. A. 2022. Evaluating the sensitivity and efficacy of fungicides against *Fusarium* species causing crown and root rot of tomato. *Plants*. 11(9):1197.
6. Garibaldi A., Gilardi G. y Gullino M. L. 2016. *Fusarium oxysporum* as a pathogen of ornamental plants. *Journal of Plant Pathology*. 98(1):25–34.
7. Gxasheka M., Wang J., Tyasi T. L. y Zhao J. 2020. In vitro effect of some commercial fungicides on mycelial growth and spore germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Open Agriculture*. 5(1):276–282.

8. Hossain M., Hossain N., Sultana F., Islam S., Islam M. y Bhuiyan M. K. A. 2013. Integrated management of *Fusarium* wilt of chickpea using microbial antagonist and botanical extract. *African Journal of Biotechnology*. 12(34):4699–4706.
9. Jawed S., Wang B., Yin W. X., Meng X. H. y He Z. F. 2019. Efficacy of different fungicides and bio-control agents against *Fusarium* wilt of watermelon. *Pakistan Journal of Botany*. 51(3):1129–1135.
10. John V., Zacharia S. y Manjula P. 2019. In vitro efficacy of botanical and selected bioagents in the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanilla*. *Journal of Plantation Crops*. 47(2):116–121.
11. Khanna A., Raj K. y Kumar P. 2021. Role of plant extracts and bio-agents in *Fusarium* wilt management. *Legume Research*. 44(8):965–971.
12. Kumari M., Sharma K. y Sharma O. 2020. Biointensive management of wilt disease of lentil through biocontrol agents. *Journal of Biological Control*. 34(2):112–118.
13. Leslie J. F. y Summerell B. A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing. Iowa, Estados Unidos. 388 p.

14. Massoud M., Kordy A., Abdel-Mageed A. A., Heflish A. y Sehier M. 2020. Impact of chitosan and *Trichoderma harzianum* against *Fusarium* wilt of strawberry. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 30(1):88.
15. Maurya S., Rai R., Rai A. C. y Singh M. 2020. Evaluation and efficacy of *Trichoderma* spp., botanicals and fungicides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(4):1528–1533.
16. Mondani L., Chiusa G., Battilani P. y Feligini M. 2021. Chemical and biological control of *Fusarium* species causing ear rot of maize. *Agronomy*. 11(8):1513.
17. Poudel S. y Osti S. 2024. In vitro evaluation of efficacy of fungicides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *International Journal of Research in Agronomy*. 7(3):115–119.
18. Rivas-García T., Ramírez-Suárez R., Bautista-Baños S. y Sánchez-Vázquez J. E. 2020. Activación de la resistencia sistémica por ácido salicílico contra *Fusarium oxysporum*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(2):129–136.
19. Shekhawat A. P. S. y Lal A. 2021. Efficacy of bioagents and botanicals in vitro and in vivo against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Indian Phytopathology*. 74(2):465–472.

20. Singh P., Mishra S. y Tripathi D. K. 2021. Role of salicylic acid in plant growth and stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*. 40(3):1285–1301.
21. Talpur M. S. A., Abro M. A., Rajput N. A., Rajput M. A. y Pathan M. A. 2023. Exploring the effects of plant extracts, biological agents and essential oils against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. *Pakistan Journal of Phytopathology*. 35(1):71–80.
22. Yadav J., Singh R., Singh S., Maurya M. y Kumar J. 2024. Bio-efficacy of different plant leaf extracts and bio-control agents against *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. 8(3):215–221.
23. Yousif D. 2018. Efecto del ácido salicílico sobre el control de *Fusarium* en condiciones de laboratorio. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 35(1):45–52.
24. Zian A., El-Gendy H. y Shehata H. 2019. Enhancing biocontrol agents by salicylic acid for controlling wilt diseases. *Egyptian Journal of Phytopathology*. 47(2):89–102.

CONCLUSIONES GENERALES

- 1) Se identificó mediante caracterización morfológica, pruebas de patogenicidad y análisis filogenéticos bayesianos a *Fusarium oxysporum* species complex (FOSC) como agente causal de la pudrición radicular en nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) en viveros del centro de México. Este constituye el primer registro formal de *F. oxysporum* en este hospedero en el país.
- 2) Existen diferencias significativas en la susceptibilidad de las variedades comerciales de nochebuena a la marchitez vascular. Prestige Red es altamente susceptible (90% incidencia, 75% severidad), Freedom Red presenta comportamiento intermedio, y Sorbet White muestra alta tolerancia (20% incidencia, 10% severidad), constituyendo una alternativa viable para el manejo integrado.
- 3) El ácido salicílico a 150 mg L⁻¹ es el tratamiento más efectivo para el control de *F. oxysporum* en nochebuena, reduciendo la incidencia a 30% y la severidad a 20%, además de promover el crecimiento vegetal. *Trichoderma harzianum* a 2.0 g L⁻¹ y el tiofanato de metilo a 1.5 g L⁻¹ son alternativas complementarias eficaces.
- 4) El ácido salicílico puro grado USP a 100 ppm es la fuente más eficaz y económica para inhibir el crecimiento micelial de *F. oxysporum* *in vitro*, alcanzando 75% de inhibición, lo que justifica su uso preferente sobre fuentes comerciales como Sedarine® y Aspirina® en el manejo fitosanitario.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. IRAN ALIA TEJACAL





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

IRAN ALIA TEJACAL | Fecha:2026-06-08 08:08:52 | FIRMANTE

f2CPdA/f+YL2xlgIVLsVZrFCewlidHjCbszhOvYRNm/oWSKtrK/jHzSPrL/6VITHboArL4Gm6SSWeINsEyksEt1SaLPyNqruxlPufeXswMboDejUutftnSHwGnCSFF4bY5bWpmnjBmK2
UPTJgfZMysdTsv2eEKqf2sC3EejBy5WniAVppsufy1T60pptjsJfYPvee0NTi5UQx2sO8oROPtTZGXsiRYuwF1zPXGmMsYjl1sIr4FpzgXmFZcQRlc+jTUOecRXhwWh4Xw51QJ4D
q2BzeA+I/ADIXpKkW6rS8tj3a5nIVKuFSKGR/q815J06LMv606BoTJxYcHogzJmF9Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



PIATu78I1

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/vZsgj1zDtGWOKH0fqW53liOtGJSD0yBu>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES | Fecha:2026-06-08 23:12:06 | FIRMANTE

gSiDRAsxviEgCNtnQZVxllonIkRPkhC5by2UGR1Da+16PLyc3A197Vagl3WJCGlGd2tUVRTytN05MovKUcYOspCkppCRTc8HbL9zGVyRxPcRfbEKtXwUn4v5Gi7jc3vc4OsKPC4/+RqPoAuMctDOrS/7H7PVZS9VsB2U4QOjDyNXa0IDCsm4tsaNF7PJdg1K3iE2zPMmw312tV75Va8pCdzj4hW7trwIBPDaB6GAszeGFgq0K+e3fzJkp/SYqwOTmBj6fcw33BKXldzYEgcPwWor2LAcc4bCxyvCn+yMvIYSqYtTVfEdpp5M7dcaezLIEAaH9tkAcQvAtYEPcE30EA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[koLjc1se6](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/kt8MtiDcKb7fej8AS4QCgWkkNe6Uk3Cj>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. DANTE VLADIMIR GALINDO GARCÍA

Jefe de Programas Educativos de posgrado
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

PORFIRIO JUAREZ LOPEZ | Fecha:2026-06-08 10:57:55 | FIRMANTE

RMuSshZLYR7LIORYarPcGL0G/bQqNlmQ8jx2lF8k8FPf7MeSV7lbq8oxCKA502J9uVEdwAKe3MPoYRRRe2QInxJ8DMIIbKM65Jp5wDiYZSVCRtTaQKitUY+seka7Gim7rAluIgfLsTxLtKgvvfYu+gplWVfIkmlGZnceiBUcBvpVzvr2CIQbRF4jHSKv8EWmWIGlw3Y2bunRBmB4mF1u9qM0engmmV9VE7rUftHrpoNiCsqaQGs3N0a3/yObBpeDruTKaxDadvu45lK5KqfFxLwbn1M1vahMdG2xSURk1nLCx6MxfMLgI5/DfPT7J970ew6RUSC2Zl+cg6XCtZQvnQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



7iCym9c2N

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/BT7WiMrhcwv6g6Klj9HjM8BolmY0Ebye>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo mi dirección y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DR. VÍCTOR LÓPEZ MARTÍNEZ





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

VICTOR LOPEZ MARTINEZ | Fecha:2026-06-09 14:47:43 | FIRMANTE

axmdZXRBdWPlofsL9b+P4Vq3rAC3PuZlvNcVqgLzecV22wvt9xXKIDTRoSgR4i2Whsd1XY3TPAV3+RY5ma0Cibltva+ZArL+7MHAFV50ZmP/IvIBA/HLum3ic51XsgPwfPWW5j9C
HNpL8GAhOIUUAAbR58FD844qFkHLn8KWctM3qad4J8fklcdkdwC0jKeQMkjiwGkoLFJ7n8f9tyDsrH9P1tb5yRKqZRO130wkwP4YTQIMAQDsDHdLKZC0TL24KQuLKl9x0upt8EzI
YtxMDeWCjw7gJcng+OSGy2JluXIDQMli+aX3ByHGBNORa5HO0hDgLiap6Zovz5L8Mh4cfzA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[Uz9Lb3gmr](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/GzJJBZzJLfUhsSEi8BUclcNA2ZHwY54>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. ERIKA ROMÁN MONTES DE OCA





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

ERIKA ROMAN MONTES DE OCA | Fecha:2026-06-08 09:46:11 | FIRMANTE

IY1vGG9cWjCXSQzzbD9kL0yDLRo9diJx/0l/Ou0vGaTE+zV4jrOwPKqjX1b55yzjpEL3aAlpzWDukeKBHBOj0cN9e49S3CaUs87SB45qo1o2dDAuZRd00J4nWQZD8IRhoA/69vDwygQXY4YDQH4n/NmQNxzIbVHE3OHV97it1cwpT8QXWxPApRvXlJ86Q2dB+Y9g1dJugvyf58YZGkX8rQYodJCPcdsS9DzuWeGfbpUS/DH54X4yB0ln3o9fyu21QyIx/wB9wOX9dcqef3ytufNtA/KzcMt6nM/x0w0DoiYgMzgseOiBBsjyoKajm5ZeO9knJDEzMGRSyaNL/F3F+w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



Mx0YiObDN

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0yXrcHPjOKsf3qHDmtJzKeBn4Om7fhHH>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. MAIREL VALLE DE LA PAZ





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

MAIREL VALLE DE LA PAZ | Fecha:2026-06-08 23:37:47 | FIRMANTE

KVcQd02AlJTOpkhfjUXLvoXhp66k2SVU4tl28FdYLI/MflET7oHVk7l0gqjp5/k6o1z3GosVg0rhZv/BZhe6qIKXppjwthGWYWndhD+SSO4Yze1ebOwvO537+0BUcQTCSDZH/DUo0qd6pbjtfS9tJj2TPNiNYox0NnkEE+IjilFibXk6HnxCUmhvQfCagShy95+EEPjmHB4zpQoMfS2hZwQNUtggspl/OqvOqYqrd/f+qoVvOjmh6cPZdlZWR57YnuBkNzK1u+VE9Do9DzoYR5KDRDcDzhUGKka73s3qYTCfgjuSs0FojRdRYi8RSDLKEvC71UebJH3V+fb9+Yedvg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



PFIfZSOQm

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/oFxJmD3nEeK45r2oAckYQuvCFZpWXQ6M>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dirección
Jefatura de Programas Educativos de Posgrado

Cuernavaca, Morelos, 28 de mayo de 2026

Asunto: voto aprobación de tesis

DR. PORFIRIO JUÁREZ LÓPEZ

Encargado de Despacho de la Dirección
de la Facultad de Ciencias Agropecuarias
P R E S E N T E.

Por medio del presente, le informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis titulado **CARACTERIZACIÓN DEL AGENTE CAUSAL, TOLERANCIA VARIETAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA PUDRICIÓN RADICULAR EN EL CULTIVO DE NOCHEBUENA (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch)** que presenta la estudiante **Michell Alexander Rios Lira**, mismo que fue desarrollado bajo la dirección del **Dr. Víctor López Martínez** y la codirección del **Dr. Daniel Perales Rosas** y que servirá como requisito parcial para obtener el grado de **Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural**, lo encuentro satisfactorio, por lo que emito mi **VOTO DE APROBACIÓN** para que la estudiante continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta

DRA. MARÍA CLAUDIA RUEDA BARRIENTOS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento con firma electrónica UAEM, soportada por el certificado vigente a la fecha de su elaboración y con efectos plenos de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS PUBLICADOS en el ÓRGANO INFORMATIVO UNIVERSITARIO "ADOLFO MENÉNDEZ SAMARÁ" número 117 de fecha 20 de abril de 2021.

Sello electrónico

MARIA CLAUDIA RUEDA BARRIENTOS | Fecha:2026-06-09 21:11:33 | FIRMANTE

eTO+mLGjoFKqKdKSQ2BrBsBHXg7U5qzoxScaQy8CMWxxXjGWIYi/0IfxEHJhGOOtrnAWoUXBkIPXb+gLUAOUwN40v1Ibx/4eL22i5W97/ut4PcOkFvflnIDYdp8+5glqgv7eK7cTx1Feh0R2uLkFFH/U1i0MWCXX8eVUE5h43DmeXPAYtiSvVMCjmFiHesqxd0IgU4okP08rvrFX5wFGjZ3C743B32MW7+MgfgEorwWGUciOQuNdNtvZFIJU9RYnBVnlDnLqYn6FyagligyVrbboYcnIR6nPjyzuOWiOB1nsaMLEnhIbWAHU2wyald/MLZ8fgrhgx0UtCST1oeUNA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



1YuqfNbBK

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/DD6Xvg0Xx9QXcwXeVg7mtqPME6RRWamA>



UAEM
RECTORÍA
2023-2029