VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Patogenicidad y virulencia de cepas de *Fusarium* spp. en lechuga (*Lactuca sativa*)

Pathogenicity and virulence of *Fusarium* spp. strains in lettuce (Lactuca *sativa*)

Juan Manuel Mejía Acalco, Diana Sanzón Gómez, Ilse Alejandra Huerta Arredondo, Manuel Darío Salas Araiza
Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.
jm.mejiaacalco@ugto.mx, diana.sanzon@ugto.mx, ilse.huerta@ugto.mx, salasm@ugto.mx

Resumen

La lechuga es una de las hortalizas más importantes en el estado de Guanajuato y uno de sus problemas fitosanitarios es la marchitez vascular. En un estudio previo se aislaron dos cepas de *Fusarium* spp. a partir de plantas con síntomas de marchitez vascular. El objetivo de este experimento fue determinar la patogenicidad y virulencia de esas dos cepas (M4 y R5) en plántulas de lechuga de la variedad Toscanas RZ de cinco hojas verdaderas. En la prueba de patogenicidad, las plántulas fueron dañadas en la raíz principal e inoculadas con un disco de medio de cultivo con micelio y se cultivaron durante 10 días en sustrato estéril. Se tuvieron 12 repeticiones para cada cepa y un testigo. De las plántulas que presentaron síntomas de marchitez se aisló e identificó el agente causal. Para la prueba de virulencia, las lechugas, ya plantadas, se dañaron en la raíz principal y se inocularon con 1.0 mL de una suspensión de conidios. Las suspensiones probadas fueron $1x10^4$, $1x10^5$ y $1x10^6$ conidios/mL por cepa y un testigo. Se tuvieron cinco repeticiones por tratamiento y se determinó el porcentaje de lechugas con síntoma de marchitez durante 20 días. Se comprobó la patogenicidad de las cepas de *Fusarium* R5 y M4. Las lechugas mostraron síntomas de marchitez en el follaje y de necrosis en la raíz. También se observaron micelio y estructuras microscópicas con las características del género *Fusarium*. R5 mostró una mayor virulencia en comparación a M4 bajo las condiciones experimentales. A los 12 días después de la inoculación (ddi) la suspensión de $1x10^6$ conidios/mL de R5 indujo la marchitez del 100% de las lechugas. M4 a la misma suspensión presentó hasta los 20 ddi la marchitez de todas las plantas.

Palabras clave: patogenicidad, virulencia, *Fusarium*, *Lactuca sativa*.

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una de las hortalizas de hoja verde más conocidas y utilizadas en la alimentación a nivel mundial y es rica en compuestos fitoquímicos nutracéuticos, farmacéuticos y antioxidantes (Lal *et al*., 2024). Es una de las más importantes hortalizas producidas en el estado de Guanajuato, México. En el año agrícola 2024 se tuvo una superficie cultivada de 6,605 ha y una producción de 142,589 t (Sistema de Información Agronómica y Pesquera [SIAP], 2026). Algunos de sus problemas fitosanitarios más importantes son los ocasionados por hongos fitopatógenos como *Sclerotinia sclerotiorum* y *Fusarium* spp., llegando a reducir su calidad y rendimiento (Subbarao *et al*., 2017; Macioszek *et al*., 2023).

Dentro del género *Fusarium*, la especie *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* se ha reportado induciendo marchitez vascular en lechuga en varios países (Gilardi *et al*., 2017; Murray *et al*., 2020; Claerbout *et al*., 2023; Nayak *et al*., 2025). También se ha documentado que existen varias razas de este fitopatógeno con diferentes niveles de virulencia, variedades de lechuga con diferentes grados de susceptibilidad o resistencia, así como condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de la marchitez vascular (Gilardi *et al*., 2017; Claerbout *et al*., 2023; Nayak *et al*., 2025). En los últimos años se ha presentado una mayor incidencia de este síntoma en plantaciones de lechuga en Guanajuato, lo que ha llevado a identificar el factor causal y a verificar su patogenicidad y virulencia para implementar un adecuado manejo integrado de esta enfermedad. El objetivo de este proyecto fue determinar la patogenicidad y virulencia de dos cepas de *Fusarium* spp. aisladas de lechuga.

Materiales y Métodos

Material vegetal e inóculo de *Fusarium*

Las plántulas de lechuga de la variedad Toscanas RZ, de la empresa Rijk Zwaan, de cinco hojas verdaderas fueron producidas en un invernadero comercial, libres de fungicidas y microorganismos de control biológico.

Las cepas M4 y R5 de *Fusarium* spp., en un experimento previo, fueron aisladas y purificadas (cultivo monospórico) a partir de lechugas con síntomas de marchitez vascular y colectadas en San Diego de la Unión, Guanajuato (ubicación 101° 51' 31" longitud oeste y 21° 01' 07" latitud norte, y 1752 msnm). El aislamiento y purificación se realizaron en el laboratorio de Fitopatología de la División de Ciencias de la Vida (DICIVA) del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato. Para este experimento, las cepas se cultivaron en medio agar papa-dextrosa y se incubaron a 25 °C por 21 días.

Prueba de patogenicidad

Con una aguja de disección se realizaron cinco punciones en la raíz principal (figura 1a). Sobre la zona dañada se colocó un disco de 6 mm de diámetro de medio de cultivo con micelio de *Fusarium* y se cubrió con un pequeño cuadro de sanita húmeda estéril (figura 1b y 1c). Las plántulas se cultivaron en charolas de plástico con cavidades de 50 mL y una mezcla (esterilizada por 1.5 h a 15 psi) de sustrato Sunshine No.3 y vermiculita en proporción 9:1 (figura 2). Se mantuvieron bajo malla sombra durante 10 días. Se regaron diariamente con agua purificada para beber y se fertilizaron cada cuatro días con 10 g/L de agua de la fórmula soluble 18-18-18. Se tuvieron 12 repeticiones por cepa y un testigo. Las lechugas con síntomas de marchitez se procesaron para reaislar el agente causal. La raíz fue lavada para eliminar el sustrato y se realizaron cortes transversales en la zona de las punciones y necrosis. Los cortes con necrosis y tejido sano fueron desinfestados con hipoclorito de sodio al 1% durante 1 min y se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril, posteriormente se colocaron en cajas Petri con agar papa-dextrosa y se incubaron a 25 °C durante siete días. Se realizó la preparación en portaobjetos con glicerina al 50% para identificar los hongos que crecieron con las claves taxonómicas de Barnett y Hunter (1998).

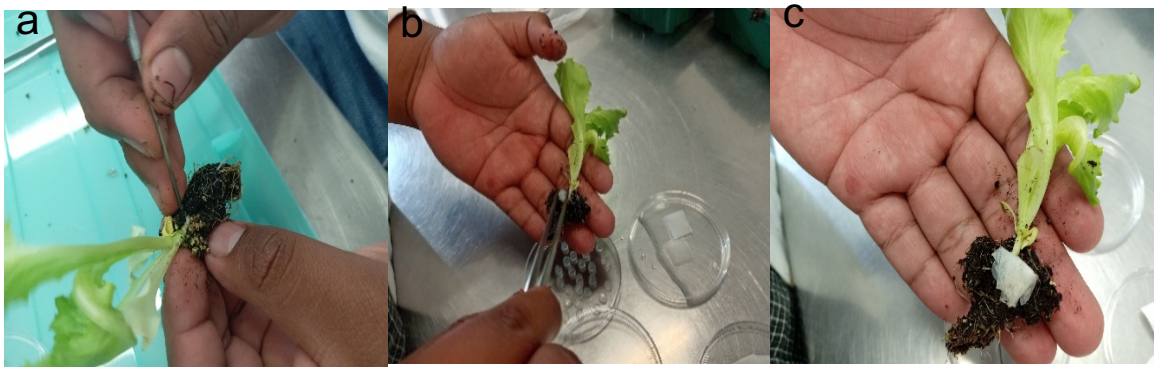

Figura 1. Inoculación de plántulas de lechuga con cepas de Fusarium spp.: a) punción con aguja de disección en la raíz, b) círculo de medio con micelio, c) sanita húmeda estéril.

Prueba de virulencia

Para la preparación del inóculo se colocaron cuatro círculos de 2.0 cm de diámetro de micelio de *Fusarium* en matraces Erlenmeyer con 125 mL de agar papa-dextrosa semilíquido (12.8 g/L), previamente esterilizado. Los matraces se colocaron en un agitador a 110 rpm durante siete días a temperatura ambiente y luz natural. Las suspensiones de conidios fueron preparadas filtrando el líquido con gasa estéril triple y se estandarizaron con un hematocitómetro.

Las lechugas fueron plantadas en vasos de unicel de 170 mL con una mezcla (esterilizada por 1.5 h a 15 psi) de sustrato Sunshine No.3 y vermiculita en proporción 9:1. Con una aguja de disección se realizaron cinco punciones en la raíz principal y se inocularon cinco plántulas con 1.0 mL de una de las tres suspensiones $1x10^4$, $1x10^5$ y $1x10^6$ conidios/mL por cepa y un testigo (figura 3). Las lechugas se regaron diariamente con agua purificada para beber y se fertilizaron cada cuatro días con 10 g/L de agua de la fórmula soluble 18-18-18. Se mantuvieron bajo malla sombra durante 20 días y se determinó el porcentaje de lechugas con síntoma de marchitez.



Figura 2. Plántulas de lechuga en charolas de plástico el día de la inoculación.

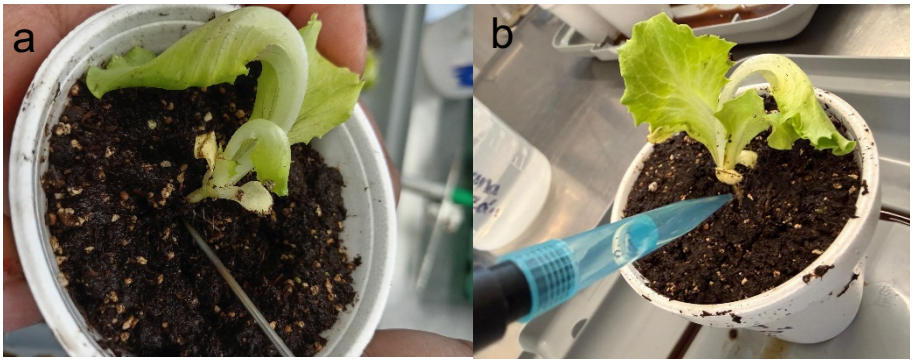

Figura 3. Inoculación de plántulas de lechuga con diferentes suspensiones de conidios de Fusarium spp.: a) punción con aguja de disección en la raíz, b) aplicación de 1.0 mL de suspensión.

Resultados y discusión

Prueba de patogenicidad

A los 10 días después de la inoculación (ddi) el 100% de las plántulas de lechuga con la cepa R5 mostraron síntomas de marchitez vascular, con la cepa M4 el 58%, y las plantas testigo no presentaron síntomas (figura 4). Se lavaron las raíces de las lechugas y se observó tejido necrosado en la zona de la inoculación con las cepas de *Fusarium* (figura 5). Matheron y Koike (2003) mencionan que los síntomas inducidos por *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* en lechuga son amarillamiento y marchitamiento de las hojas, retraso del crecimiento, un necrosamiento en la corteza de la corona y parte superior de la raíz, coincidiendo con lo observado en esta investigación. Esta necrosis provocó el síntoma de marchitez típico de *F. oxysporum* al impedir el flujo de líquidos a la parte aérea (Leyva-Mir *et al*., 2018; Srinivas *et al*., 2019). Aunque las plantas testigo también presentaron tejido necrosado como consecuencia de las punciones, no fue suficiente para desarrollar marchitez (figuras 4 y 5).

Al reaislar el agente causal de las plantas con marchitez se desarrolló un micelio rosado algodonoso en las inoculadas con M4, y un micelio color púrpura con la R5 (figura 6). Estas características coinciden con las reportadas por Mariscal-Amaro *et al*. (2017), quienes mencionan que *Fusarium* spp. en medio agar papa-dextrosa produce micelio de tonalidad blanco, rosa, salmón y violeta. En otra investigación describen colonias rosadas de *F. oxysporum*, las cuales con la edad cambian a una tonalidad violeta (Juárez-García *et al*., 2020). En las preparaciones al microscopio, se observaron en la M4 hifas septadas, delgadas y hialinas, con microconidos unicelulares ovalados y curvos, macroconidios pluricelulares alargados y curvos (figura 7 a y b). En las preparaciones con R5 se observan las mismas características excepto que no se formaron macroconidios (figura 7 c y d). Estas características coinciden con las mencionadas por Barnett y Hunter (1998) para especies del género *Fusarium*.



Figura 4. Lechugas 10 días después de la inoculación con Fusarium spp.: a) Testigo plantas sanas, b) cepa M4 con 58% de las plantas marchitas, c) cepa R5, 100% de plantas con síntoma de marchitez.



Figura 5. Lechugas a los 10 días después de la inoculación con Fusarium: a) Testigo con raíz necrosada solo en la zona de las punciones, b) planta inoculada con la cepa M4 con follaje marchito y necrosis en la raíz, c) planta inoculada con la cepa R5 presenta marchitez y necrosis en la raíz.

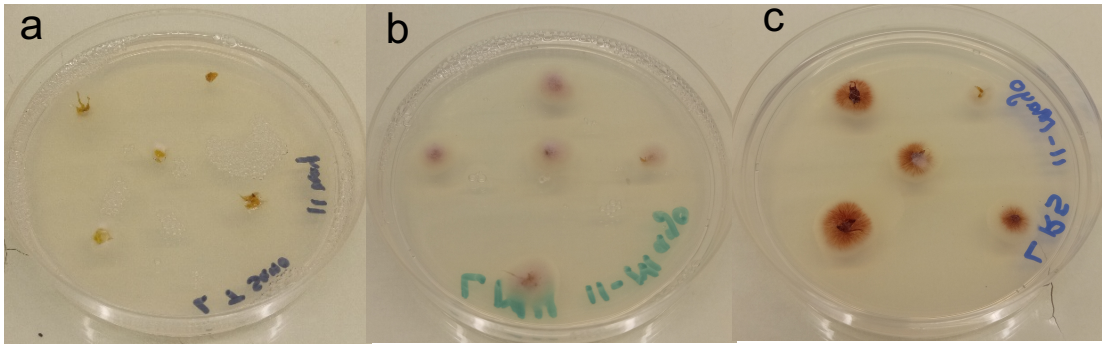

Figura 6. Reaislamiento de hongos de lechugas con síntomas de marchitez y necrosis en raíz: a) Testigo sin micelio, b) plantas con cepa M4 (micelio algodonoso y rosado), c) plantas con cepa R5 (micelio algodonoso y púrpura).

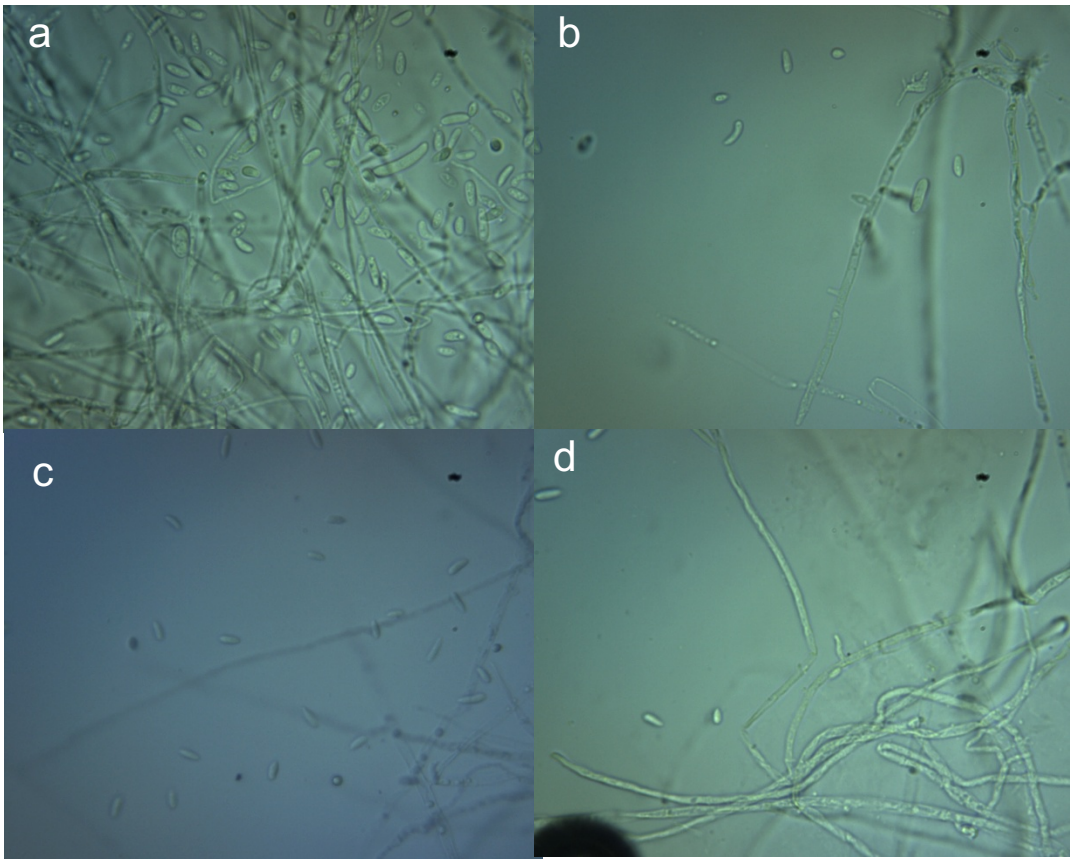

Figura 7. Estructuras microscópicas de Fusarium reaislado de plantas con síntomas de marchitez. a) y b) Hifas, microconidios y macroconidios de cepa M4. b) y c) hifas y microconidios de cepa R5.

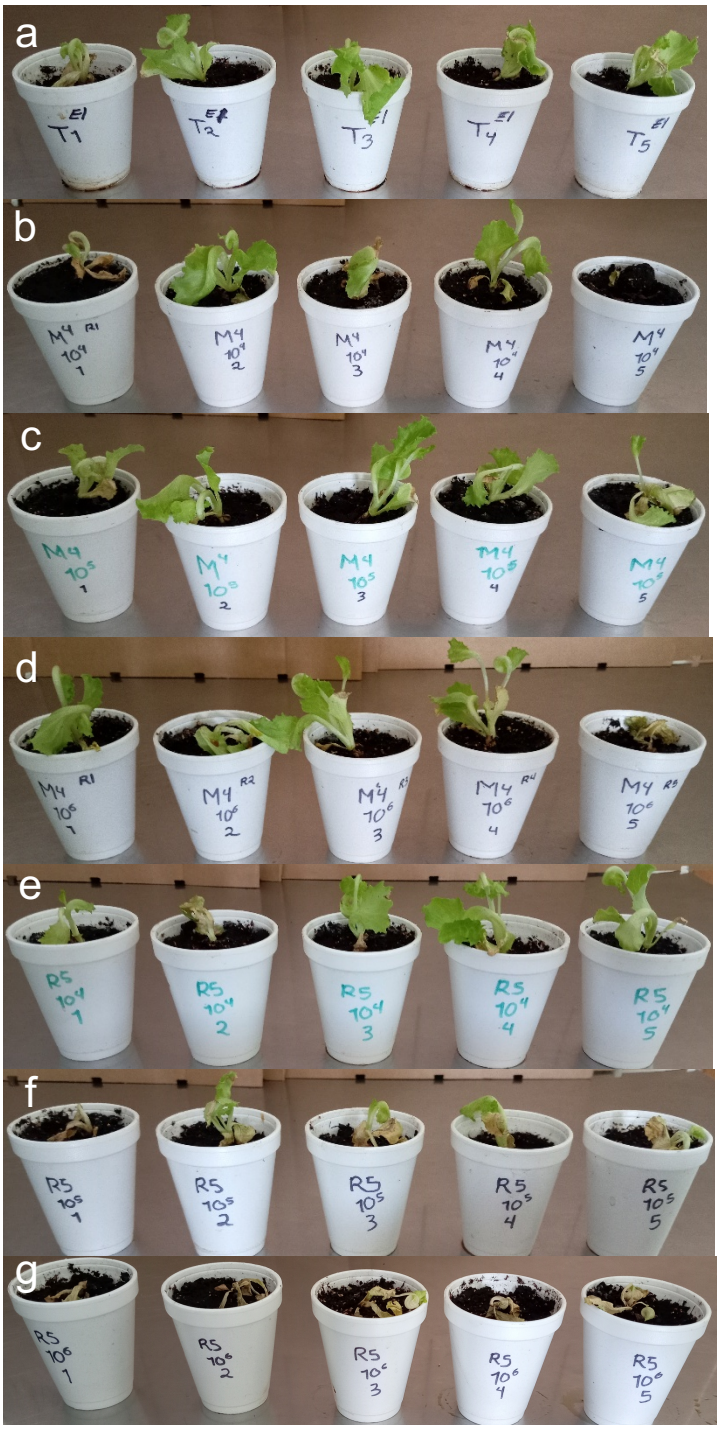

Figura 8. Sintomatología de plantas de lechuga a los 12 días después de la inoculación con dos cepas de Fusarium (M4 y R5) a diferentes suspensiones de conidios por mL. a) Testigo sin conidios, b) M4 a 1x10^4, c) M4 a 1x10^5, d) M4 a 1x10^6, e) R5 a 1x10^4, f) R5 a 1x10^5, g) R5 a 1x10^6.

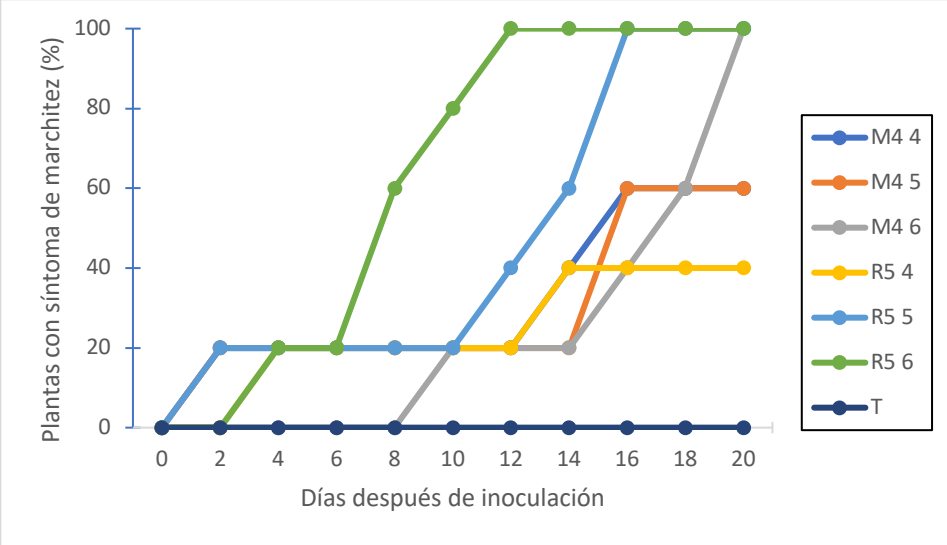

Figura 9. Porcentaje de plantas de lechuga con síntomas de marchitez después de la inoculación con las cepas de Fusarium M4 y R5 a diferentes suspensiones de conidios por mL. T=testigo, 4 =1x10^4, 5=1x10^5, 6=1x10^6.

Prueba de virulencia

La mayoría de las plantas murieron antes de los 20 ddi, coincidiendo con lo reportado por Murray *et al*. (2020) donde inocularon raíces sin daño de plántulas de lechugas con dos hojas verdaderas por inmersión en una suspensión de 1x10^6 conidios/mL de varios aislados de *F. oxysporum* f. sp. *lactucae*, y la mayoría de las plántulas murieron entre los 10 y 21 ddi.

La cepa R5 a 1x10^6 conidios/mL presentó el 80 y 100% de lechugas con síntomas de marchitez a los 10 y 12 ddi, respectivamente, mostrando el mayor nivel de virulencia (figuras 8 y 9). R5 a 1x10^5 conidios/mL tuvo un 100% de marchitez hasta los 16 ddi. La cepa M4 a 1x10^6 conidios/mL presentó un 100% de marchitez a los 20 ddi y las suspensiones de 1x10^4, 1x10^5 conidios/mL solo alcanzaron un 60% de marchitez, indicando una menor virulencia. Dentro de los factores que parecen participar en la virulencia de *F. oxysporum* f. sp. *lactucae* está una enzima del citocromo P450 (CYP) que pertenece a la familia CYP505, e hidroxila los ácidos grasos saturados que desempeñan un papel en la defensa de la planta (Minerdi *et al*., 2020). Otro factor son los efectores producidos por el patógeno como las proteínas Secretadas en el Xilema (Six) que pueden suprimir las defensas del hospedante alterando sus procesos (Legg *et al*., 2026).

El método de inoculación utilizado pudo tener un efecto sobre la respuesta de las plantas al fitopatógeno. En otras investigaciones las plántulas de lechuga se han inoculado por inmersión de raíces con y sin daño en una suspensión de conidios, con suelo infestado con clamidiosporas, y colocando la suspensión de conidios en la base del tallo (Matheron y Koike, 2003; Scott *et al*., 2010b; Claerbout *et al*., 2023). Lo anterior sugiere repetir el experimento y probar otras formas de inoculación. La temperatura es un factor que se ha propuesto puede causar una enfermedad más severa en condiciones más cálidas debido a un efecto en el crecimiento del patógeno y pueden disminuir la capacidad de la planta para limitar el desarrollo del patógeno (Scott *et al*., 2010a). En este experimento la temperatura fue de 25 a 30 °C, condiciones óptimas para el desarrollo de los patógenos y alta para la lechuga (Scott *et al*., 2010a).

Conclusiones

Las cepas R5 y M4 son patogénicas, indujeron síntomas de marchitez en plántulas de lechuga, fueron reaisladas e identificadas morfológicamente como *Fusarium*. R5 mostró una mayor virulencia en comparación con M4 al provocar síntomas de marchitez en un periodo de días más corto.

Referencias

Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi.* APS Press.

Claerbout, J., Van Poucke, K., Mestdagh, H., Delaere, I., Vandevelde, I., Venneman, S., Decombel A., Bleyaert, P., Neukermans, J., Viaene, N., Heungens, K., & Höfte, M. (2023). *Fusarium* isolates from Belgium causing wilt in lettuce show genetic and pathogenic diversity. *Plant Pathology*, 72, 593–609. https://doi.org/10.1111/ppa.13668

Gilardi, G., Franco Ortega, S., van Rijswick, P. C. J., Ortu, G., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2017). A new race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* of lettuce. *Plant Pathology*, 66, 677-688. https://doi.org/10.1111/ppa.12616

Juárez-García, R. A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L. F., Ruíz-Nieto, J. E., & Hernández-Ruíz, J. (2020). Inhibición del crecimiento in vitro de Fusarium oxysporum Schtdl., con extractos de Argemone ochroleuca Sweet (Papaveraceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6, 1-8. https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/123/45

Lal, B., Bhandari, S., Upadhyay, A., Singh, P., & Singh, V. P. (2024). Lettuce: A dive into its nutritional value and economic significance. *Agricultural and Biological Research*, 40(2): 954-956. DOI: 10.35248/0970-1907.24.40.954-956

Legg, A. D., Vlieger, B. V., Houterman, P., Rep, M., & Clarkson, J. P. (2026). The effector SIX8 contributes to virulence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* race 4 on lettuce. *Molecular Plant Pathology*, 27(6), e70296. https://doi.org/10.1111/mpp.70296

Leyva-Mir, S. G., Gutiérrez-Salazar, J. D., Camacho-Tapia, M., Aguilar-Pérez, L. A., García-López, E., & Tovar-Pedraza, J. M. (2018). *Fusarium oxysporum*, agente causal de la marchitez de estevia en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 245-250. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.863

Macioszek, V. K., Marciniak, P., & Kononowicz, A. K. (2023). Impact of *Sclerotinia sclerotiorum* infection on lettuce (*Lactuca sativa* L.) survival and phenolics content - a case study in a horticulture farm in Poland. *Pathogens*, 12, 1416. https://doi.org/10.3390/ pathogens12121416

Mariscal-Amaro, L. A., Rivera-Yerena, A., Dávalos-González, P. A., & Ávila-Martínez, D. (2017). Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria×ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 51, 673-681. https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1319/1319

Matheron, M. E., & Koike, S. T. (2003). First report of Fusarium wilt of lettuce caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* in Arizona. *Plant Disease*, 87(10), 1265-1265. https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.10.1265C

Minerdi, D., Sadeghi, S. J., Pautasso, L., Morra, S., Aigotti, R., Medana, C., Gilardi, G., Gullino, M. L., & Gilardi, G. (2020). Expression and role of CYP505A1 in pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *BBA - Proteins and Proteomics*, 1868(1), 140268. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2019.140268

Murray, J., Raid, R. N., Miller, C. F., & Sandoya-Miranda, G. (2020). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* causing vascular wilt of lettuce in Florida. *Plant Disease*, 104(11), 3069. https://doi.org/10.1094/PDIS-12-19-2625-PDN

Nayak, S., Richardson, K. L., Putman, A. I., LeBlanc, N. R., Martin, F. N., Li, N., & McCreight, J. D. (2025). Detection of novel pathogenic variants of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* in California. *Plant Pathology*, 74, 295–307. https://doi.org/10.1111/ppa.14019

Scott, J. C., Gordon, T. R., Shaw, D. V., & Koike, S. T. (2010a). Effect of temperature on severity of fusarium wilt of lettuce caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*. *Plant Disease*, 94(1), 13-17. https://doi.org/10.1094/PDIS-94-1-0013

Scott, J. C., Kirkpatrick, S. C., & Gordon, T. R. (2010b). Variation in susceptibility of lettuce cultivars to fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *lactucae*. *Plant Pathology*, 59, 139-146. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02179.x

Sistema de Información Agronómica y Pesquera (SIAP). (2026, 14 de julio). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.

Srinivas, C., Nirmala Devi, D., Narasimha, K., Mohan, C., Chakrabhav, D., Lakshmeesha, T., Singh B., Kalagatur, N., Niranjana, S., Hashem, A., Alqarawi, A., Tabassum, B., Abd_Allah, E., Chandra, S., & Srivastava, R. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. l*ycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315-1324. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002

Subbarao, K. V., Davis, R. M., Gilbertson R. L., & Raid R. N. (2017). *Compendium of Lettuce Diseases and Pests, Second Edition*. The American Phytopathological Society (APS). https://doi.org/10.1094/9780890545782