

Capítulo 3

***Fusarium oxysporum* causante de la pudrición de raíces en *Fragaria x ananassa Duch* en el valle de Culiacán**

Gilda Abigail Valenzuela Tirado¹⁵

María Alejandra Payán Arzapalo¹⁶

Guadalupe Alfonso López Urquídez¹⁷

Pedro Iván López Cuén¹⁸

Carlos Alfonso López Orona¹⁹

Lorena Molina Cárdenas²⁰

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000213>



¹⁵ Estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias, adscrita a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

¹⁶ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México, mariapayan@uas.edu.mx.

¹⁷ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

¹⁸ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

¹⁹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

²⁰ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Km. 17.5, carretera Culiacán-Eldorado C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México.

Resumen

El cultivo de fresa es de importancia económica en México; no obstante, su productividad se ve limitada por distintas enfermedades que afectan el sistema radicular y provocan pérdidas en rendimiento. Entre estas enfermedades, destaca la pudrición de raíces y la marchitez vascular asociadas a especies del género *Fusarium*. A pesar del crecimiento reciente de la producción de fresa en el Valle de Culiacán, Sinaloa, la información sobre los agentes causales específicos de estas enfermedades en la región es escasa. El objetivo del estudio fue identificar y caracterizar a *Fusarium oxysporum* como agente causal de la pudrición de raíces en plantas de fresa en el Valle de Culiacán. Se recolectaron plantas de fresa de la variedad Camino Real que presentaban síntomas típicos de marchitez, retraso en el crecimiento y disminución de la producción, en cuatro lotes productivos.

Los aislamientos fúngicos se obtuvieron a partir de tejidos radiculares y se cultivaron en medio papa-dextrosa-agar (PDA). La identificación morfológica se realizó mediante la observación microscópica de estructuras reproductivas, incluyendo macroconidias, microconidias, clamidosporas y esporodoquios, conforme a claves taxonómicas. La identificación molecular se efectuó mediante la amplificación y secuenciación de la región TEF-1 α , comparando las secuencias obtenidas con las bases de datos GenBank y Fusarium ID. Adicionalmente, se construyó un árbol filogenético utilizando el método Neighbor-Joining con análisis de *bootstrap*.

Los resultados morfológicos y moleculares confirmaron la identidad de los aislamientos como *Fusarium oxysporum*, los cuales se agruparon estrechamente con secuencias de referencia de esta especie en el análisis filogenético. La prueba de patogenicidad, realizada en condiciones controladas de invernadero, reprodujo los síntomas característicos de la enfermedad y permitió el reisolamiento del patógeno, cumpliendo con los

postulados de Koch. Este estudio constituye el primer registro detallado de *F. oxysporum* asociado a la pudrición de raíces en fresa en la zona del centro de Sinaloa.

Introducción

El cultivo de fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) representa una actividad agrícola de importancia económica y social a nivel mundial, debido a su alto valor comercial y generación de empleo. México se ha ubicado dentro de los cinco principales países productores de fresa a nivel mundial (SIAP, 2023), con un promedio de 624 000 toneladas, en tan solo el periodo de 2017 a 2022. Los mayores estados productores de fresa en México son Michoacán, Guanajuato y Baja California, que en conjunto aportan alrededor del 96 % de la producción nacional (SIAP, 2025). Por otro lado, aunque Sinaloa no aparece entre los estados con mayor producción a nivel nacional, en el valle de Culiacán existe una producción importante, especialmente enfocada para el uso de consumo en fresco y la industria de repostería.

En los últimos años, el cultivo de fresa ha ido en aumento tanto en Culiacán como en zonas centro-norte del estado, incorporando tecnologías que le permiten al productor obtener rendimientos de hasta 40 t ha⁻¹ en condiciones óptimas del cultivo. Sin embargo, este cultivo se enfrenta a limitantes que merman su producción, como enfermedades que afectan el sistema radical, las cuales provocan pérdidas significativas en rendimiento y calidad, así como la muerte prematura de plantas. Dentro de este complejo de enfermedades, la pudrición de raíces y la marchitez vascular asociadas a especies del género *Fusarium* destacan por su amplia distribución, persistencia en el suelo y dificultad de manejo (Juárez-García et al., 2021; Hassan y Chang, 2022; Zhang et al., 2025).

Diversos estudios realizados han señalado a *Fusarium oxysporum* como uno de los patógenos más frecuentes y agresivos asociados a estos síntomas, particularmente por su capacidad de colonizar los tejidos vasculares y radicales, interfiriendo con el transporte de agua y nutrientes (Mariscal-Amaro et al., 2017; Ceja-Torres et al., 2024; Payán-Arzapalo et al., 2024; Liu et al., 2025). A pesar de la relevancia del cultivo de

fresa en el Valle de Culiacán, la información científica disponible sobre los agentes causales específicos de la pudrición de raíces en esta región es limitada.

En particular, existe una necesidad de estudios que confirmen la participación de *Fusarium oxysporum* como agente causal predominante, mediante una correcta caracterización morfológica y molecular, ya que un diagnóstico preciso es fundamental para comprender la epidemiología de la enfermedad, así como para el diseño de estrategias de manejo integradas y sostenibles. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo identificar y caracterizar a *Fusarium oxysporum* como agente causal de la pudrición de raíces en plantas de fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, contribuyendo al conocimiento de la problemática fitosanitaria regional y proporcionando bases científicas que permitan el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes para este patógeno de importancia agrícola.

Material y métodos

Se realizó la colecta de plantas de fresa en el ejido Bachigualato en Culiacán, de la variedad Camino real en cuatro lotes (media hectárea por lote) que presentaban síntomas típicos de marchitez, retraso en el crecimiento y disminución en la producción. Se tomaron plantas completas, incluyendo hojas, raíces y muestras de suelo. El material vegetal fue trasladado al Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía para su procesamiento y diagnóstico. Cada fragmento de los tallos y raíces fue aislado en cajas Petri que contenían medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). La identificación morfológica de los aislamientos se realizó mediante la observación microscópica de los cultivos puros, utilizando las claves taxonómicas de Leslie y Sumerel (2006). Mediante un microscopio óptico se observaron las microconidias, macroconidias ($n = 50$), número de septos, forma, disposición de las células conidiógenas, así como la presencia o ausencia de esporodoquios y clamidosporas. Para la medición de las estructuras fúngicas ($n = 50$), se utilizó un microscopio óptico equipado con una cámara acoplada al software DinoCapture versión 2.0. La identificación molecular de los aislamientos se efectuó

mediante la amplificación de la región de TEF1- α (Factor de Elongación de la Traducción 1-alfa) y TEF 1/2, las cuales permiten confirmar la pertenencia a las especies de *Fusarium* (O'Donnell et al., 1998).

El producto del PCR fue secuenciado y se comparó con las bases de datos GenBank del NCBI (National Center for Biotechnology Information) y BLAST de *Fusarium* ID para confirmar su identidad y buscar similitud. Para la construcción de un árbol filogenético se utilizó el programa MEGA con el método Neighbor-Joining, con distancias calculadas mediante el modelo de Jukes y Cantor y un soporte de 1000 réplicas de *bootstrap*. Asimismo, la prueba de patogenicidad se llevó a cabo con plantas de fresa de la variedad Camino Real producidas bajo sistema hidropónico, cultivadas en recipientes de plástico de un litro con vermiculita estéril. Se inocularon diez plantas ($n = 10$) mediante la aplicación de 20 mL de una suspensión conidial de *Fusarium oxysporum* ajustada a una concentración de 1×10^5 UFC mL⁻¹, obtenida a partir de esporas recolectadas de los asilamientos cultivados anteriormente en PDA utilizando 10 mL de una solución salina isotónica, la cual se aplicó al sustrato. Un grupo adicional de diez plantas se mantuvo como control negativo sin inocular. Todas las plantas se conservaron durante un periodo de 60 días bajo condiciones controladas de invernadero. Al finalizar el experimento, se realizó el aislamiento del patógeno a partir de los tejidos sintomáticos, seguido de su identificación mediante criterios morfológicos y análisis molecular, confirmando la identidad del organismo inoculado y cumpliéndose así los postulados de Koch. El experimento se realizó por duplicado.

Resultados y discusión

Se observaron colonias características del género *Fusarium*, con crecimiento algodonoso, pigmentaciones blanco-rosadas y tonalidades violáceas (Figura 1a-b). Tras la purificación mediante cultivo monospórico, se obtuvieron colonias homogéneas que permitieron continuar con la caracterización morfológica y molecular. Los aislados mostraron estructuras reproductivas compatibles con *Fusarium* spp. En agar hoja de clavel (CLA) se observaron: macroconidias falcadas, de 3 a 5 septos,

microconidias ovaladas o elípticas, generalmente sin septos (Figura 1c). Las variaciones morfológicas registradas fueron concordantes con diferentes especies dentro del género *Fusarium*, lo que sugirió la coexistencia de varias especies en las muestras analizadas. Las características morfológicas fueron similares a las reportadas por Leslie y Sumerell (2006).

La amplificación de la región TEF-1 α generó fragmentos del tamaño esperado para especies de *Fusarium*. Las secuencias obtenidas mostraron una alta similitud (100 %) al compararse con la base de datos GenBank mediante BLAST y la herramienta *Fusarium* ID. Con base en estos resultados, los aislados fueron identificados como *Fusarium oxysporum*. Las secuencias se registraron con los números de acceso OR878540.1 y OR878539.1. El árbol filogenético construido en MEGA (Figura 2) permitió observar un agrupamiento claro de los aislados dentro de clados correspondientes a las especies identificadas molecularmente. Los aislamientos se agruparon estrechamente con secuencias de referencia de *F. oxysporum* depositadas en GenBank. Los resultados obtenidos muestran la presencia de *F. oxysporum* asociado a síntomas de marchitez en la región centro de Sinaloa. *Fusarium oxysporum* es uno de los patógenos reportados con mayor frecuencia en fresa y destaca por su capacidad de persistir en el suelo mediante la formación de clamidosporas, lo que complica su manejo y favorece la recurrencia de la enfermedad (Kosmidis y Denning, 2017; Summerell, 2019).

Este patógeno ha sido ampliamente relacionado con síntomas que incluyen clorosis foliar, marchitez progresiva, reducción del sistema radical, necrosis de raíces y pudrición de la corona, lo que deriva en una disminución considerable de la productividad y, en casos severos, en la muerte total de la planta. La incidencia y severidad de la pudrición de raíces causada por *F. oxysporum* están estrechamente relacionadas con factores ambientales y de manejo agronómico, tales como la temperatura, la humedad del suelo, el régimen de riego, el tipo de suelo y la susceptibilidad varietal. Estudios previos han demostrado que condiciones de alta humedad, temperaturas moderadas a cálidas y suelos con pobre drenaje favorecen la infección y el desarrollo del patógeno. Asimismo, la expansión de áreas productivas bajo monocultivo continuo y el uso intensivo del suelo han contribuido a la acumulación del inóculo y al au-

mento de la presión de la enfermedad (Williamcon et al., 2012; Silvestro et al., 2013; Koike et al., 2013; Li et al., 2014; Todorović et al., 2023).

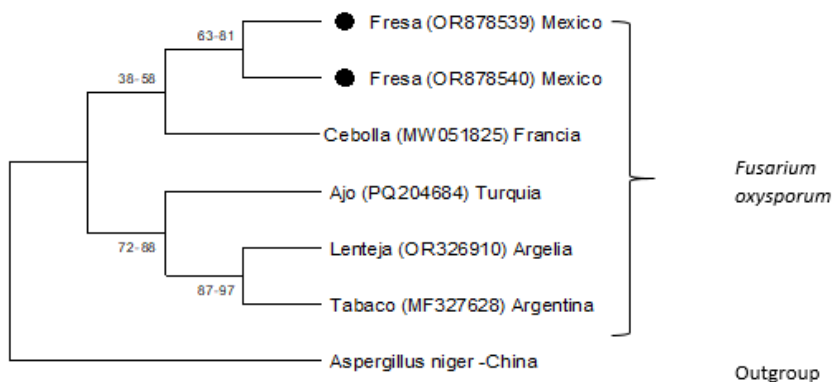
Figura 1

a-b) Crecimiento de la colonia de *Fusarium oxysporum* en PDA, c) Macroconidias ($50\ \mu\text{m bar}$), d-e) pudrición de planta y raíz de fresa causado por *F. oxysporum*, f) planta de fresa sana (control negativo).



Figura 2

Árbol filogenético inferido por Neighbor Joining para secuencias parciales de *EF-1 α* de especies de *Fusarium oxysporum* obtenidos en este estudio (bolita negra), y secuencias de referencia de GenBank (cepa entre paréntesis) Los valores en los nodos representan el soporte de bootstrap basado en 1000 réplicas. Las secuencias OR878539 y OR878540 provienen de este estudio.



Conclusiones

Se identificó morfológica, molecularmente y mediante análisis filogenético a *Fusarium oxysporum*, causante de la pudrición de raíces en fresa en el Valle de Culiacán. La combinación de métodos morfológicos, moleculares y filogenéticos permitió una identificación precisa y confiable de los aislados. Estos resultados representan el primer registro detallado para la zona centro de Sinaloa y constituyen la base científica para el desarrollo de estrategias de manejo y control dirigidas a disminuir el impacto de esta enfermedad en la producción de fresa.

Referencias

Hassan, O. y Chang, T. (2022). Morphological and molecular characteristics of fungal species associated with crown rot of strawberry in South Korea. *Molecular Biology Reports*, 49(1), 51-62. DOI: 10.1007/s11033-021-06841-9

- Koike S. T., Gordon T. R., Daugovish O., Ajwa H., Bolda M. y Subbarao K. (2013). Recent developments on strawberry plant collapse problems in California caused by *Fusarium* and *Macrophomina*. *International Journal of Fruit Science*, 13(1-2), 76-83. DOI: 10.1080/15538362.2012.697000
- Kosmidis, C. y Denning D. W. (2017). Opportunistic and systemic fungi. In: *Infectious diseases*, Elsevier, pp. 1681-1709. DOI: 10.1016/B978-0-7020-6285-8.00189-1
- Leslie J. F. y Summerell B. A. (2006). *Manual de laboratorio de Fusarium*. John Wiley & Sons. 416 p. ISBN: 0470276460.
- Li Y., Mao L., Yan D., Ma T., Shen J., Guo M., Cao, A. (2014). Quantification of *Fusarium oxysporum* in fumigated soils by a newly developed real-time PCR assay to assess the efficacy of fumigants for *Fusarium* wilt disease in strawberry plants. *Pest management science*, 70(11), 1669-1675. DOI: 10.1002/ps.3700.
- Liu A., Jing Y., Li, X., Shi X., Mu W., Li B. y Liu F. (2025). Root rot of strawberry caused by *Fusarium citri* in China and use of *Streptomyces rhizosphaericus* as a biological control. *Biological Control*, 105872. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2025.105872
- Mariscal-Amaro L. A., Rivera-Yerena, A., Dávalos-González, P. A., y Ávila-Martínez, D. (2017). Situación actual de hongos asociados a la secadera de la fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) en Guanajuato, México. *Agrociencia*, 51(6): 673-681.
- Payán-Arzapalo M. A., López-Cuén P. I., Vega-Gutiérrez T. A., Molina-Cárdenas L., López-Orona C. A., Valenzuela-Tirado, G. A. y Tirado-Ramírez M. A. (2024). First report of *Fusarium falciforme* causing root rot and wilt on strawberry in Sinaloa, Mexico. *Plant Disease*, 108(7), 2223. DOI: 10.1094/PDIS-02-24-0343-PDN ISSN:0191-2917
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). (2023). Panorama Agroalimentario 2023 Edición, 2023.
- Silvestro L. B., Stenglein S. A., Forján H., Dinolfo M. I., Arambarri A. M., Manso L. y Moreno M. V. (2013). Occurrence and distribution of soil *Fusarium* species under wheat crop in zero tillage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11. ISSN: 1695-971-X. DOI: 10.5424/2013111-3081.

- Summerell, B. A. (2019). Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. *Annu. Rev. Phytopathol.* 57, 323–339. DOI: 10.1146/annu-rev-phyto-082718-100204
- Todorović I., Moëgne-Loccoz Y., Raičević V., Jovičić-Petrović J. y Muller D. (2023). Microbial diversity in soils suppressive to *Fusarium* diseases. *Frontiers in plant science*, 14, 1228749. DOI: 10.3389/fpls.2023.1228749
- Williamson M., Fernández-Ortuño D. y Schnabel G. (2012). First report of *Fusarium* wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum* in South Carolina. *Plant Disease*, 96(6), 911-911. ISSN:0191-2917. DOI: 10.1094/PDIS-02-12-0164-PDN.
- Zhang Y., Song M., Zhu S. y Si Y. (2025). Comprehensive analysis of *Fusarium* spp. associated with red stele root rot of strawberry (*Fragaria ananassa*) in northern Zhejiang, China. *Biological Control*, 105876. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2025.105876