

## Morfología y patogenicidad de *Fusarium* aislado de pino en viveros de Durango

Homero Sarmiento-López<sup>1,2</sup>

David Alejandro Hernández-Marín<sup>3</sup>

Abelardo Chávez-Montes<sup>1</sup>

José Leonardo García-Rodríguez<sup>2</sup>

José Ángel Sigala-Rodríguez<sup>2</sup>

Eduardo Sánchez-García<sup>1,5</sup>

1 Facultad de Ciencias Biológicas-Universidad Autónoma de Nuevo León. Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. CP. 66450. (homero.sarmientolpz@uanl.edu.mx; abelardo.chavezmn@uanl.edu.mx).

2 Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Carretera Durango-El Mezquital km 4.5, Durango, México. CP. 34170. (garcia.leonardo@inifap.gob.mx; sigala.jose@inifap.gob.mx).

3 Centro de Ciencias Básicas-Departamento de Microbiología-Benemérita Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad Núm. 940, Aguascalientes, México. CP. 20100. (david-cure@hotmail.com).

Autor para correspondencia: eduardo.sanchezgrc@uanl.edu.mx.

### Resumen

El damping-off, es una enfermedad que se presenta en viveros forestales durante la etapa de establecimiento de las plántulas y es causada principalmente por hongos. El objetivo fue realizar el aislamiento, caracterización morfológica y pruebas de patogenicidad de hongos en cinco viveros forestales del estado de Durango en el año 2018. Los aislados fúngicos se obtuvieron de plántulas de *Pinus engelmannii*, *P. durangensis*, *P cooperi* y *P. arizonica* de aproximadamente 45 días de edad, las cuales se seleccionaron con base en la presencia de síntomas característicos de la enfermedad. Las muestras se sembraron en placas de Petri conteniendo PDA suplementado con antibiótico. Las características macroscópicas y microscópicas se registraron a partir de colonias y estructuras producidas en los medios PDA, CLA y SNA La patogenicidad se evaluó inoculando una suspensión de conidios en la semilla, y evaluando el porcentaje, índice y velocidad de germinación, así como la severidad de la enfermedad, análisis de supervivencia con curvas Kaplan-Meier y también se determinó el ajuste de modelos epidemiológicos del progreso de la enfermedad. Se encontró que los aislados fúngicos que producen el problema de damping-off de forma preemergente y poseemergente obtenidos a partir de plántulas de *Pinus* spp., en los viveros forestales del estado de Durango fueron morfológicamente semejantes a aislados pertenecientes a los complejos de especies *F. fujikuroi* y *F. oxysporum*. Además, se observaron diferencias en la severidad de la enfermedad producida por los aislados y se ajustaron al modelo Gompertz y al modelo monomolecular.

### Palabras clave:

*F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *Pinus* spp., germinación, supervivencia.

## Introducción

El cultivo de plántulas en vivero es una de las actividades más relevantes de los programas de reforestación. Para considerar una plántula apta para dichos programas, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) considera ciertas características que deben cumplir con la norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016). En Durango, para el año 2018 se produjeron 8 291 544 plantas y se reforestaron 4 680.80 ha (CONAFOR 2019a, 2019b) que correspondió a 9.6% de la superficie y a 11% de la planta producida en el país, por lo que lo sitúa como el estado con mayor cantidad de planta producida y superficie reforestada.

En un estudio realizado por Prieto *et al.* (2009), reportaron que el 100% de los viveros estudiados presentaron problemas provocados por hongos fitopatógenos causantes de la enfermedad del almácigo, también conocida damping-off.

La enfermedad se presenta de dos formas: la primera denominada pre-emergente, donde se ven afectadas las semillas en proceso de germinación y el pos-emergente que ataca plántulas jóvenes que no han lignificado del tallo (Landis *et al.*, 1989; Dar *et al.*, 2011). Esta enfermedad, se presentó frecuentemente en semillas y plántulas de muchas especies forestales y de otros cultivos y es causada por un complejo de microorganismos el cual incluye oomicetos y hongos que ven favorecido su desarrollo principalmente por condiciones de alta humedad (Fajardo-Mejía *et al.*, 2016).

Los géneros más comunes de hongos que causan el problema de damping-off son *Fusarium* y *Rhizoctonia*, de los cuales *Fusarium* es el más importante por su ubicuidad (Dumroese y James, 2005). Una de las principales metas de la fitopatología es lograr el conocimiento de los agentes que causan enfermedades en las plantas cultivadas y mediante la aplicación de técnicas y herramientas adecuadas reducir la severidad e incidencia de las enfermedades y así disminuir las pérdidas provocadas por éstas (Solano-Bonilla y Brenes-Chacón, 2012).

El objetivo del presente estudio fue aislar hongos de plántulas de pino con síntomas de la enfermedad en viveros forestales del estado de Durango, para identificarlos y caracterizarlos utilizando microscopía óptica de campo claro; así como, mediante el uso de pruebas de patogenicidad y determinar el daño ocasionado a la planta, la función de supervivencia y el ajuste a modelos epidemiológicos.

## Materiales y métodos

Se realizó un muestreo en cinco viveros distribuidos en el estado de Durango en septiembre de 2018. Vivero INIFAP (23° 59' 23.2" latitud norte y 104° 37' 26.2" longitud oeste 1879 msnm), vivero General Francisco Villa (25° 58' 19.7" latitud norte y 104° 35' 51.6" longitud oeste 1 878 msnm), vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango (24° 00' 48.3" latitud norte y 104° 41' 03.2" longitud oeste 1 899 msnm) y dos viveros ubicados en el municipio de Santiago Papasquiaro: vivero General Emiliano Zapata (25° 03' 40" latitud norte y 105° 26' 17" longitud oeste 1 756 msnm) y vivero San Nicolás (24° 56' 57" latitud norte y 105° 25' 02.8" latitud oeste 1 806 msnm).

El muestreo consistió en extraer plántulas de 45 días de edad aproximada con síntomas de damping-off, se homogenizaron con solución amortiguadora de fosfatos pH 7.2, se realizaron diluciones decimales seriadas y de las diluciones  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  y se sembraron con la técnica de extensión en placa en medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) por duplicado. Las placas se incubaron a 28 °C por siete días en una incubadora (Quincylab® 12-140). Al terminar el periodo de incubación, se registró el aspecto de las colonias fúngicas (Gabrekiristos *et al.*, 2020). Para conseguir el cultivo axénico, se realizaron transferencias consecutivas por punta de hifa en PDA.

Para observar las características microscópicas generales, cada aislado se cultivó con la técnica de microcultivo en PDA (Harris, 1986) y la forma de inoculación que propuso Rosana *et al.* (2014). Las observaciones microscópicas se realizaron con el objetivo 40x del microscopio (Leica® CME) y se midieron los microconidios con el software AmScope® versión 3.7 (calibrado con un micrómetro

Euromex<sup>®</sup> AE 1110 con retícula de 0.01 mm). La identificación a nivel de complejo de especies de cada aislado fúngico se realizó con las descripciones y claves reportadas por Leslie y Summerell (2006).

Para observar las características microscópicas específicas de los aislados, se prepararon cultivos monospóricos con la adaptación de la técnica aplicada por Obanor *et al.* (2013). Finalmente se realizaron transferencias de discos miceliales del borde de una colonia aislada a placas Petri con PDA e incubadas a temperatura ambiente durante siete días con luz continua (Nelson *et al.*, 1983), en medio de cultivo SNA, e incubadas a 25 °C durante siete días (Leslie y Summerell, 2006) y también en medio hojas de clavel agar (CLA) preparado con la técnica descrita por Peluola *et al.* (2020) e incubadas a 25 °C durante siete días, con un fotoperiodo de 12 h de luz ultravioleta (365 nm) y 12 h de luz blanca (Britz *et al.*, 2001).

Se registró la forma y tamaño de microconidios, macroconidios, forma de la célula apical, forma de la célula base, largo, ancho, curvatura dorsiventral y número de septos. Se tomaron 100 mediciones de largo y ancho de macroconidios y microconidios producidos por cada aislado como lo sugieren Rentería-Martínez *et al.* (2019); Robles-Yerena *et al.* (2016); García-Díaz *et al.* (2017).

Se llevó a cabo un ensayo en vivero para verificar la patogenicidad de los aislados (postulados de Koch). El experimento se desarrolló en el vivero forestal del INIFAP-Durango. Se utilizaron contenedores de polietileno rígido de 98 cavidades llenados con una mezcla compuesta por 50% de peat moss, 25% de perlita expandida y 25% de vermiculita con fertilizante de lenta liberación (8 meses) Osmocote<sup>®</sup> de formulación 18-6-12 (N-P-K) a una dosis de 4 g L<sup>-1</sup> de sustrato preparado.

El tamaño de la unidad experimental fue de 18 cavidades, se evaluaron dos tratamientos (testigo absoluto y tratamiento inoculado) con cinco repeticiones y el diseño aplicado fue completamente al azar. Cada aislado fúngico se evaluó sobre la especie de pino de la cual se obtuvo originalmente. Previo a su siembra, la semilla recibió un tratamiento de flotación, se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio comercial y enjuague con agua destilada estéril y se dejó secar durante 10 min (Aoudou *et al.*, 2012).

El testigo absoluto se sembró después de su preparación pre-germinativa colocando una semilla a 1 cm de profundidad en cada cavidad y se tapó con mezcla de sustrato. En lo que respecta a la semilla para el tratamiento inoculado, la inoculación se llevó a cabo siguiendo la metodología de Morales-Rodríguez *et al.* (2018) con algunas modificaciones. Después se depositando una semilla por cavidad a 1 cm de profundidad y se tapó con mezcla de sustrato.

Se hicieron conteos diarios de germinación a partir de la primera plántula emergida y hasta cumplir 50 días después de la siembra (dds). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación y el índice de germinación, con las siguientes fórmulas (González-Zertuche y Orozco-Segovia, 1996).

$$PG = \frac{S_g}{S_s} * 100$$

$$IG = \frac{\sum (n_i t_i)}{N}$$

$$VG = \sum \left( \frac{n_i}{t} \right).$$

Donde: PG= porcentaje de germinación; sg= semillas germinadas; ss= semillas sembradas; IG= índice de germinación; ni= número de semillas germinadas al día i, ti= número de días después de la siembra y N= total de semillas sembradas; VG= velocidad de germinación; y t= tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla. También, a partir de que germinó la primera semilla, se realizaron conteos diarios de plántula muerta por damping-off durante 180 días. Estas plántulas dañadas se extrajeron de la cavidad de crecimiento para su traslado al laboratorio y transferencia a medio de cultivo PDA.

De las colonias desarrolladas se transfirieron a placas preparadas para microcultivo con la metodología de Harris (1986); Rosana *et al.* (2014) y se incubaron a 25 °C durante seis días. Se

realizaron observaciones al microscopio para corroborar el crecimiento y comprobar los postulados de Koch y así determinar el porcentaje de daño en plántulas.

Los datos de germinación y daño fueron sometidos a un análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon, se realizó la prueba Log-Rank a partir de las curvas de Kaplan-Meier para determinar las diferencias de supervivencia entre los tratamientos a los 180 dds. Con los datos del porcentaje de daño de los aislados que presentaron diferencias significativas respecto al testigo, se determinaron curvas de progreso de la enfermedad y su ajuste a modelos epidemiológicos, Gompertz, logístico, exponencial y monomolecular (Campbell y Madden 1990), para definir los parámetros de la ecuación y definir la incidencia de la enfermedad. El análisis estadístico se realizó con ayuda del software InfoStat® versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017) y los gráficos en SigmaPlot® versión 10.0.

## Resultados y discusión

Se encontraron plántulas de estas especies con la sintomatología característica de damping-off: postradas con pérdida de turgencia generalizada, constricción y necrosis en el cuello. De estas plántulas, se obtuvieron aislados fúngicos, y siete de los aislamientos mostraron macroscópicamente la morfología colonial del género *Fusarium*: superficie seca y el micelio semejante al algodón y producción de pigmentos rosa pálido a rosa violáceo (Nelson *et al.*, 1983; Watanabe, 2010).

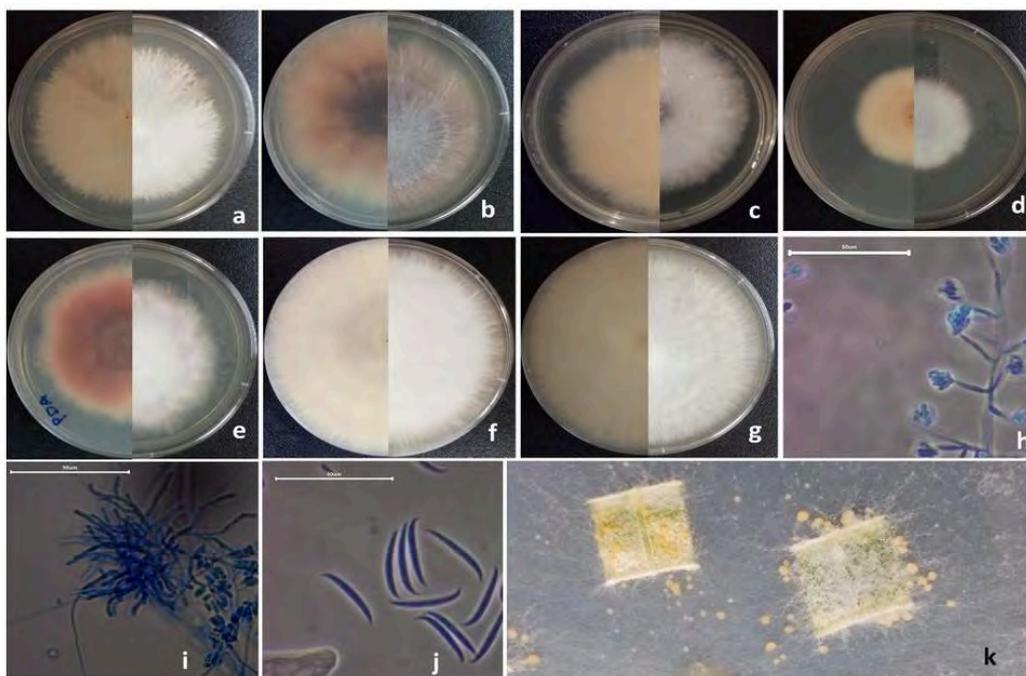
Los aislados obtenidos de las especies cultivadas durante el muestreo del presente estudio coinciden con los hallazgos de Menkis *et al.* (2006) en los cuales encontraron hongos del género *Fusarium* colonizando raíces de plántulas de *Pinus silvestris* y *Picea abies* y que no encontraron especies de los géneros *Rhizoctonia*, ni oomicetos de los géneros *Phytium* y *Phytophthora*.

Se presentaron variaciones entre estos aislados como elevación de la colonia (plana, umbonada, elevada y convexa) y la disposición de las hifas en el micelio (inclinadas, levemente inclinadas y erectas). Se optó por separar a estos aislados fúngicos y asignarles un ID, de acuerdo con estas diferencias y la especie de pino de la cual fueron aislados. El aislado 1 fue obtenido de *Pinus engelmannii* (FPe1), el aislado 2 de *Pinus engelmannii* (FPe2), el aislado 3 de *Pinus engelmannii* (FPe3), el aislado 4 de *Pinus durangensis* (FPd1), el aislado 5 de *Pinus arizonica* (FPa1), el aislado 6 de *Pinus arizonica* (FPa2), y el aislado 7 de *Pinus cooperi* (FPC1).

Al cultivar los aislados en medio SNA, se observó la formación de microconidios de forma ovoide sin septos, y estos producidos en falsas cabezas sobre monofialides y polifialides (Figura 1). El tamaño promedio de los microconidios fue de 6.54  $\mu\text{m}$  de largo por 2.13  $\mu\text{m}$  de ancho. De estos aislados destacan FPe1, FPe3 y FPd1 por el desarrollo de hifas enrolladas que no se desarrollaron en los otros aislados. Los aislados FPe2, FPa1, FPa2 y FPC1, produjeron clamidosporas terminales e intercalares al ser cultivados en PDA, detalle que no se presentó en los otros aislados.



Figura 1. a) aislado 1; b) aislado 2; c) aislado 3; d) aislado 4; e) aislado 5; f) aislado 6; g) aislado 7 del inciso a al g, la parte izquierda es el reverso y la derecha el anverso de la placa; h) conidióforos producidos por el aislado 3 en medio SNA; i) hifas enrolladas producidas por el aislado 4 en medio SNA; j) macroconidios producidos por el aislado 6; barra de escala 50  $\mu\text{m}$ ; y k) esporodoquios producidos por el aislado 7.



En el medio CLA tres aislados produjeron esporodoquios de color amarillo a naranja (FPA1, FPA2 y FPC1), se visualizaron macroconidios fusiformes, con curvatura dorsiventral moderada (Figura 1), con la célula base en forma de pie y la célula apical en forma curvada, con dos y tres septos en FPA1, FPA2, y tres a cuatro septos en FPC1. El tamaño de macroconidios de FPA1, FPA2 fue de 37.62  $\mu\text{m}$  de largo por 3.3  $\mu\text{m}$  de ancho, en FPC1 el tamaño de macroconidios fue de 23.63  $\mu\text{m}$  de largo por 2.53  $\mu\text{m}$  de ancho.

Dadas las características macroscópicas y microscópicas de los aislados obtenidos y sus semejanzas morfológicas con dos complejos de especies del *Fusarium* mencionadas en el manual de laboratorio de *Fusarium* (Leslie y Summerell, 2006), se sugirió que los aislados FPe1, FPe3 y FPd1 correspondieron con las características del complejo de especies de *Fusarium fujikuroi* y para los aislados FPe2, FPA1, FPA2 y FPC1 correspondieron al complejo de especies de *Fusarium oxysporum*.

Los estudios reportados por Robles-Yerena *et al.* (2016); García-Díaz *et al.* (2018) son los que se han realizado en México sobre el hallazgo de especies de *Fusarium* que producen problemas de marchitamiento en plántulas de pino en etapa de vivero y algunas son semejantes a algunos aislados de la presente investigación.

Después de 1998 aumentó la descripción de nuevas especies, a partir del reconocimiento de que varias morfoespecies tradicionales, son complejos de especies compuestos por muchas especies (Summerell y Leslie, 2011); por ejemplo, el complejo de especies de *F. fujikuroi* contiene 65 especies aceptadas e incluye algunas especies que solamente se pueden identificar en función de su inferencia filogenética mediante biología molecular (Yilmaz *et al.*, 2021), además como mencionan Crous *et al.* (2021) otros linajes de Nectriaceae producen conidios con morfología similar a *Fusarium* y por ello el reconocimiento de especies de *Fusarium* únicamente con caracteres morfológicos es muy complicado, es por esto que en el presente trabajo únicamente se sugieren concordancias en la morfología de los aislados obtenidos a los complejos *F. fujikuroi* (FFSC) y *F. oxysporum* (FOSC).

En la mayoría de los tratamientos inoculados con los aislados no presentaron diferencias respecto al testigo en las variables de germinación, índice de germinación y velocidad de germinación, por lo que se confirma que no provocaron daño preemergente y en ellos se presentó una germinación promedio comprendida entre 80 a 95%, solo en la especie *P. arizonica*, aunque no se presentaron daños en preemergencia respecto al testigo, la germinación promedio fue de 34 a 45%, posiblemente porque el cultivo de esa especie en particular se realiza en el norte del estado de Durango, ubicación de latitud más septentrional que en el lugar donde se desarrolló el experimento en vivero.

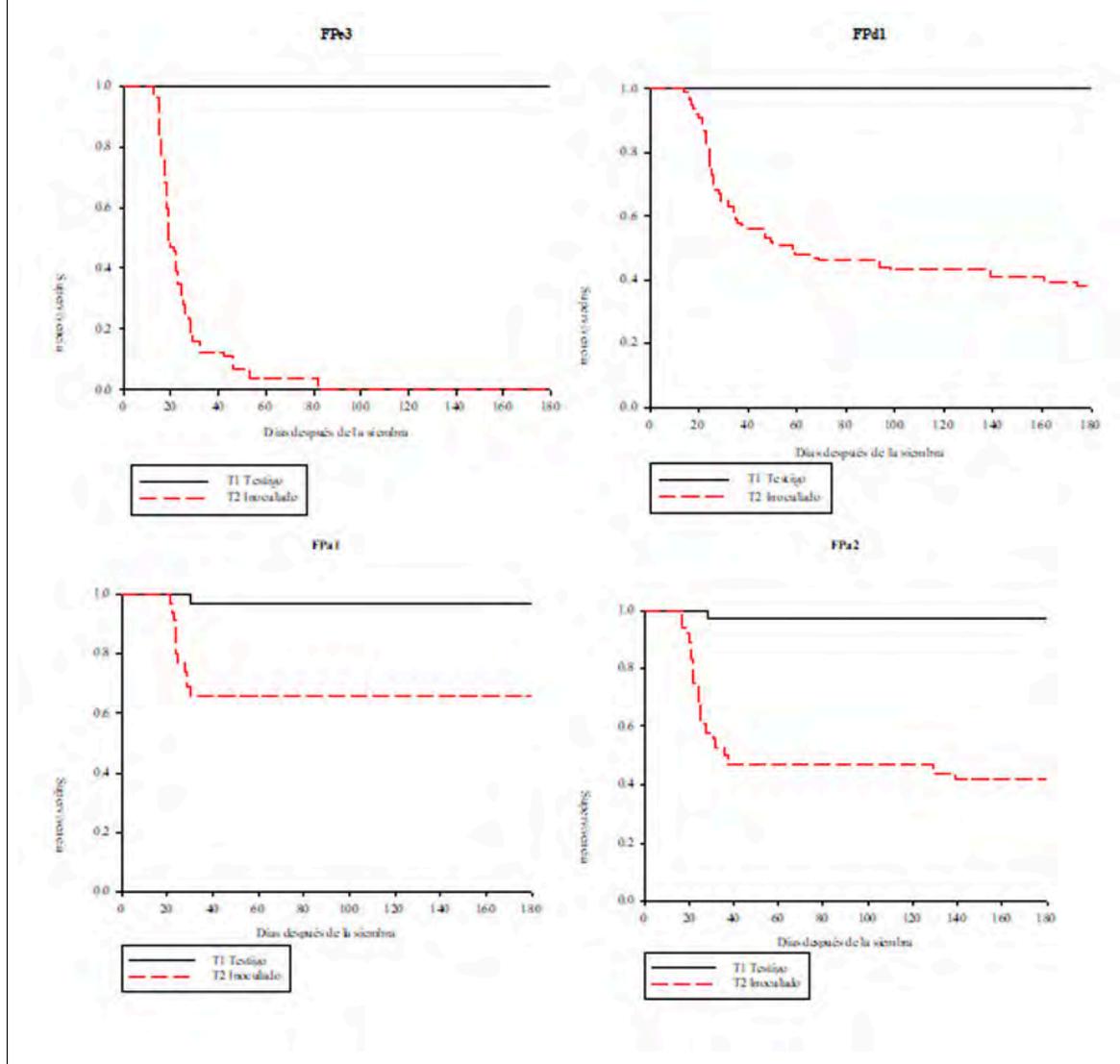
En la germinación solo se presentó diferencia en un tratamiento inoculado en la especie *P. engelmannii* (FPe3). En esta, el porcentaje de germinación en el testigo fue de 90% y en el inoculado fue de 63%; es decir, disminuyó en 27% la germinación, indicando que este aislado fue el único que provocó daño preemergente y se confirmó con los resultados obtenidos en el análisis de índice germinativo ya que también presentó diferencias significativas en esta variable. Solo en *P. durangensis* se presentaron diferencias en la variable velocidad de germinación entre el testigo y el tratamiento inoculado.

La acumulación de plántulas dañadas se concentró del día 13 dds al día 40 dds (semana 2 a la semana 7). En la variable daño, los tratamientos inoculados con aislados que no presentaron diferencias respecto al testigo fueron FPe1, FPe2 y FPc1, de manera que se consideran como los menos virulentos.

Por otro lado, los tratamientos inoculados con los aislados que provocaron daño significativo respecto al testigo, es decir mayor porcentaje de daño postemergente en orden ascendente fueron: FPa1 (32.2%), FPd1(60.7%), FPa2 (61.1%) y FPe 3 (100%). El aislado FPe3 (aislado 3), se considera como el más virulento, ya que en el menor tiempo acumuló la mayor cantidad de plántulas dañadas (Figura 2).



Figura 2. Curvas de supervivencia Kaplan-Meier de los aislados de *Fusarium* que presentaron diferencias significativas respecto al testigo.



Estos resultados coinciden con los descritos en otros estudios que han analizado patogénesis de *Fusarium* en otras especies de pino como los de Davydenko *et al.* (2018) quienes encontraron que *F. circinatum* causó la muerte de casi todas las plántulas de distintas procedencias de *Pinus sylvestris* y *F. oxysporum*, provocó un daño considerable de 62-66% para el día 21 después de la inoculación.

Por su parte, Mateos *et al.* (2017), encontraron que *F. oxysporum* presentó un mayor índice de daño comparado con *F. verticillioides* en *Pinus sylvestris* y *Pinus pinea*. Por otro lado, Lazreg *et al.* (2014) encontraron que *F. redolens* y *F. solani* causan mayor daño en plántulas de pino seguidos por *F. tricinctum* y *F. oxysporum* en *Pinus halepensis*.

En este ensayo, las primeras semanas fueron clave para el desarrollo del patógeno y la muerte de la plántula. Este período es el crítico para llevar a cabo los tratamientos fitosanitarios preventivos y curativos necesarios para frenar el desarrollo de la enfermedad. Esto se relaciona con lo expresado por Davydenko *et al.* (2018) quienes indicaron que los invernaderos que poseen planta infectada

con *F. circinatum* son el primer punto de entrada de la enfermedad y son fuente de transmisión del cancro resinoso del pino en plantaciones forestales comerciales.

El modelo epidemiológico que presentó mejor ajuste para el comportamiento del aislado FPe3 fue el Gompertz, representado por la expresión  $\text{daño} = \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \exp(-\gamma \cdot \text{DDS}))$ , en este, los parámetros realizaron una contribución significativa ( $p < 0.05$ ) y sus parámetros fueron  $\alpha$  98.36,  $\beta$  15.36 y  $\gamma$  0.15. También para el aislado FPd1 el mejor ajuste lo presentó el modelo Gompertz y sus parámetros fueron  $\alpha$  55.78,  $\beta$  7.27 y  $\gamma$  0.08.

Por otro lado, para los aislamientos obtenidos de *P. arizonica* es decir FPa1 y FPa2, el modelo que presentó el mejor ajuste fue el modelo monomolecular representado con la expresión  $\text{daño} = \alpha \cdot (1 - \beta \cdot \exp(-\gamma \cdot \text{DDS}))$ , para FPa1 los parámetros fueron  $\alpha$  55.78,  $\beta$  7.27 y  $\gamma$  0.08, y FPa2 los parámetros fueron  $\alpha$  55.78,  $\beta$  7.27 y  $\gamma$  0.08.

En este contexto, Ocamb *et al.* (2002) mencionaron que la variación en las poblaciones de *Fusarium*, puede ser influida durante la manipulación y la siembra y éste hongo puede ser introducido durante el almacenamiento o el manejo de la semilla y recomienda realizar pruebas de patogenicidad para conocer reamente el potencial de daño de las especies de *Fusarium* aisladas de plántulas.

## Conclusiones

Se logró aislar hongos a partir de plántulas con síntomas de damping-off en viveros del estado de Durango y estos correspondieron a aislados del género *Fusarium* de los complejos de especie *F. fujikuroi* y *F. oxysporum* de acuerdo con sus caracteres morfológicos. Los aislados más virulentos fueron obtenidos de *Pinus engelmannii*, *P. durangensis* y que presentaron ajuste al modelo Gompertz, mientras que los aislados obtenidos de *P. arizonica* tuvieron mejor ajuste al modelo monomolecular. Es necesario, realizar identificación molecular de estos aislados para conocer a detalle las especies de *Fusarium* que causan el damping-off en las plántulas de pino que se producen en los viveros del estado de Durango.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de una beca de posgrado otorgada al primer autor por el CONACYT, también con el apoyo proporcionado por los proyectos PAICYT UANL CT 706-19, PAICYT, UANL CT 1187-20 de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Los autores agradecen a los(as) dictaminadores(as) que coadyuvaron a mejorar el manuscrito.

## Bibliografía

- 1 Aoudou, Y.; Ngoune, L. T.; Dongmo, P. M. J. and Carl, M. M. 2012. Inhibition of fungal development in maize grains under storage condition by essential oils. *International Journal of Biosciences*. 2(6):41-48.
- 2 Britz, H.; Couhnhho, T. A.; Gordon, T. R. and Wingfield, M. J. 2001. Characterizations of the pitch canker fungus, *Fusarium circinatum*, from Mexico. *South African Journal of Botany*. 67(4):609-614. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31190-X](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31190-X).
- 3 Campbell, C. L. and Madden, L. V. 1990. *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons inc. New York, USA. 532 p.
- 4 CONAFOR. 2019a. Comisión Nacional Forestal. Producción de plantas para reforestación. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. México. [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi-apps/WFServlet?IBIF-ex=D3-rforesta09-08&ibic-user=dgeia-mce&ibic-pass=dgeia-mce&nombrentidad=\\* &nombreatio=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi-apps/WFServlet?IBIF-ex=D3-rforesta09-08&ibic-user=dgeia-mce&ibic-pass=dgeia-mce&nombrentidad=* &nombreatio=*).
- 5 CONAFOR. 2019b. Comisión Nacional Forestal. Superficie reforestada (hectáreas). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.

- México . [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi-apps/WFServlet?IBIF-ex=d3-rforesta09-06&ibic-user=dgeia-mce&ibic-pass=dgeia-mce&nombrentidad=\\* &nombreanio=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi-apps/WFServlet?IBIF-ex=d3-rforesta09-06&ibic-user=dgeia-mce&ibic-pass=dgeia-mce&nombrentidad=* &nombreanio=*).
- 6 Crous, P. W.; Lombard, L.; Sandoval-Denis, M.; Seifert, K. A.; Schroers, H. J.; Chaverri, P. and Thines, M. 2021. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. *Studies in Mycology*. 98(0):1-184. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>.
  - 7 Dar, G. H.; Beig, M. A.; Ahanger, F. A.; Ganai, N. A. and Ahangar, M. A. 2011. Management of root rot caused by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* in blue pine (*Pinus wallichiana*) through use of fungal antagonists. *Asian journal of plant pathology*. 5(2):62-67. <https://doi.org/10.3923/ajppaj.2011.62.74>.
  - 8 Davydenko, K.; Nowakowska, J. A.; Kaluski, T.; Gawlak, M.; Sadowska, K.; García, J. M.; Diéz, J. J.; Okorski, A. and Oszako, T. 2018. A Comparative Study of the Pathogenicity of *Fusarium circinatum* and other *Fusarium* Species in Polish Provenances of *P. sylvestris* L. *Forests*. 9(9):1-13. <https://doi.org/10.3390/f9090560>.
  - 9 Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. 2017. InfoStat versión 2017. Córdoba, Argentina Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>.
  - 10 Dumroese, R. K. and James, R. L. 2005. Root diseases in bareroot and container nurseries of the pacific northwest: epidemiology, management, and effects on outplanting performance. *New Forests* . 30(2-3):185-202. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-4422-7>.
  - 11 Fajardo-Mejía, M. A.; Morales-Osorio, J. G.; Antonio, G. and León-Peláez, J. D. 2016. Effect of plant extracts and growth substrates on controlling damping off in *Pinus tecunumanii* seedlings. *Cerne*. 22(3):317-324. <https://doi.org/10.1590/01047760201622032150>.
  - 12 Gabrekiristos, E.; Teshome, D. and Ayana, G. 2020. Cultural, morphological and pathogenic variability among isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. capsici causing wilt of hot pepper in central rift valley, ethiopia. *Journal of plant pathology & microbiology*. 11(6):1-12. <https://doi.org/10.35248/2157-7471.20.11.499>.
  - 13 García-Díaz, S. E.; Aldrete, A.; Alvarado-Rosales, D.; Cibrián-Tovar, D. y Méndez-Montiel, J. T. 2018. *Trichoderma harzianum* Rifai as a biocontrol of *Fusarium circinatum* Nirenberg & O' Donnell in seedlings of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. in three substrates. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 25(3):353-367. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.12.088>.
  - 14 García-Díaz, S. E.; Aldrete, A.; Alvarado-Rosales, D.; Cibrián-Tovar, D.; Méndez-Montiel, J. T.; Valdovinos-Ponce, G. y Equihua-Martínez, A. 2017. Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*. 51(8):895-908. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1334/1334>.
  - 15 González-Zertuche, L. y Orozco-Segovia, A. 1996. Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Botanical Sciences*. 58(0):15-30.
  - 16 Harris, J. L. 1986. Modified method for fungal slide culture. *Journal of clinical microbiology*. 24(3):460-461. <https://doi.org/10.1128/jcm.24.3.460-461.1986>.
  - 17 Landis, T. D. 1989. The biological component: nursery pests and mycorrhizae seedling propagation. *In: the container tree nursery manual*. 1<sup>ra</sup> Ed. US forest service. Washington, DC., USA. 24-44 pp.
  - 18 Lazreg, F.; Belabid, L.; Sanchez, J. A. A.; Gallego, E. and Bayaa, B. 2014. Pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with diseases of aleppo pine seedlings in algerian forest nurseries. *Journal of Forest Science*. 60(3):115-120. <https://doi.org/10.17221/65/2013-JFS>.
  - 19 Leslie, J. F. and Summerell, B. A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell publishing. Iowa, USA. 113-219 pp.

- 20 Mateos, E.; Olaizola, J.; Pajares, J. A.; Pando, V. y Diez, J. J. 2017. Influence of *Suillus luteus* on *Fusarium* damping off in pine seedlings. African journal of biotechnology. 16(6):268-273. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1164>.
- 21 Menkis, A.; Vasiliauskas, R.; Taylor, A. S. F.; Stenström, E.; Stenlid, J. and Finlay, R. 2006. Fungi in decayed roots of conifer seedlings in forest nurseries, afforested clear cuts and abandoned farmland. Plant Pathology. 55(1):117-129. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01295.x>.
- 22 Morales-Rodríguez, C.; Bastianelli, G.; Aleandri, M.; Chilosi, G. and Vannini, A. 2018. Application of *Trichoderma* spp. complex and biofumigation to control damping off of *Pinus radiata* D. Don caused by *Fusarium circinatum* nirenberg and O'Donnell. Forests . 9(7):1-16. <https://doi.org/10.3390/f9070421>.
- 23 Nelson, P. E.; Toussoun, T. A. and Marasas, W. 1983. *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. The pennsylvania state university press. Pennsylvania, USA. 6-145 pp.
- 24 Obanor, F.; Neate, S.; Simpfendorfer, S.; Sabburg, R.; Wilson, P. and Chakraborty, S. 2013. *Fusarium graminearum* and *Fusarium pseudograminearum* caused the 2010 head blight epidemics in Australia. Plant Pathology . 62(1):79-91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02615.x>.
- 25 Ocomb, C. M.; Juzwik, J. y Martin, F. B. 2002. *Fusarium* spp. and *Pinus strobus* seedlings: root disease pathogens and taxa associated with seed. New Forests . 24(1):67-79. <https://doi.org/10.1023/A:1020589121134>.
- 26 Peluola, C.; Hoesel, S. and Crutcher, F. 2020. Chlorine gas is an effective alternative to sterilize carnation leaves for *Fusarium* spp. identification. Journal of Microbiological Methods. 170(0):1-17. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105841>.
- 27 Prieto, R. J. A.; Sigala, R. J. A.; Pinedo, L. S.; Garcia, R. J. L.; Madrid, A. R. E.; García, P. J. L. y Mejía, B. J. M. 2009. Calidad de planta en los viveros forestales del estado de Durango. INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Publicación Especial 30. Durango México. 5-76 pp.
- 28 Rentería-Martínez, M. E.; Guerra-Camacho, M. Á.; Ochoa-Meza, A.; Moreno-Salazar, S. F.; Meza-Moller, A. D. C. y Guzmán-Ortíz, J. M. 2019. Description and comparison among morphotypes of *Fusarium brachygibbosum*, *F. falciforme* and *F. oxysporum* pathogenic to watermelon in Sonora, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 37(1):16-34. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1808-1>.
- 29 Robles-Yerena, L.; Leyva-Mir, S. G.; Cruz-Gómez, A.; Camacho-Tapia, M.; Nieto-Ángel, D. y Tovar-Pedraza, J. M. 2016. *Fusarium oxysporum* Schldl. y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. causantes de la marchitez de plántulas de *Pinus* spp. en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 7(36):25-36. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.57>.
- 30 Rosana, Y.; Matsuzawa, T.; Gono, T. and Karuniawati, A. 2014. Modified slide culture method for faster and easier identification of dermatophytes. Microbiology indonesia. 8(3):7-7. <https://doi.org/10.5454/mi.8.3.7>.
- 31 Secretaría de Economía. 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la Operación de Viveros Forestales. Diario oficial de la federación. México. 6-42 pp.
- 32 Solano-Bonilla, M. y Brenes-Chacón, D. 2012. Evaluación de métodos de curación de sustratos para la prevención del mal de talluelo. Revista Forestal Mesoamericana Kurú. 9(22):63-65. <https://doi.org/10.18845/rfmc.v9i22.365>.
- 33 Summerell, B. A. and Leslie, J. F. 2011. Fifty years of *Fusarium*: how could nine species have ever been enough? Fungal Diversity. 50(0):135-144. <https://doi.org/10.1007/s13225-011-0132-y>.
- 34 Watanabe, T. 2010. Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. CRC press. Florida, USA. 165-224 pp.

- 35 Yilmaz, N.; Sandoval-Denis, M.; Lombard, L.; Visagie, C. M.; Wingfield, B. D. and Crous, P. W. 2021. Redefining species limits in the *Fusarium fujikuroi* species complex. *persoonia* molecular phylogeny and evolution of fungi. 46(1):129-162. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2021.46.05>.



## Morfología y patogenicidad de *Fusarium* aislado de pino en viveros de Durango

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 April 2024
Date accepted: 01 July 2024
Publication date: 26 July 2024
Publication date: Jul-Aug 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3722
DOI: 10.29312/remexca.v15i5.3722

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

#### Palabras clave:

F. fujikuroi  
F. oxysporum  
*Pinus* spp.  
germinación  
supervivencia

### Counts

Figures: 2  
Tables: 0  
Equations: 6  
References: 35  
Pages: 0