



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

TRES NIVELES DE RIEGO Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL EN *Pinus devoniana* EN PRESENCIA DE *Fusarium circinatum*

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

presenta:

CÉSAR LAMBERTO CRUZ MATÍAS

Bajo la supervisión de: **DAVID CIBRIÁN TOVAR DR.**



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2022



**TRES NIVELES DE RIEGO Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL EN
Pinus devoniana EN PRESENCIA DE *Fusarium circinatum***

Tesis realizada por **CRUZ MATÍAS CÉSAR LAMBERTO** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

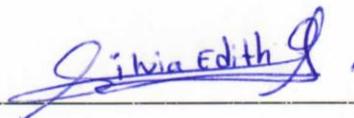
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____



Dr. David Cibrián Tovar

ASESOR: _____



Dra. Silvia Edith García Díaz

ASESOR: _____



Dr. Alejandro Corona Ambriz

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2022

CONTENIDO

CONTENIDO.....	III
LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
DEDICATORIA.....	IX
AGRADECIMIENTOS	X
DATOS BIOGRÁFICOS	XI
Datos personales.....	XI
TRES NIVELES DE RIEGO Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL EN <i>Pinus devoniana</i> EN PRESENCIA DE <i>Fusarium circinatum</i>	1
RESUMEN GENERAL	1
THREE LEVELS OF IRRIGATION AND NUTRITIONAL EVALUATION ON <i>Pinus devoniana</i> IN THE PRESENCE OF <i>Fusarium circinatum</i>	2
GENERAL ABSTRACT	2
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2 Justificación	5
1.3 Planteamiento del problema de investigación.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 General.....	5
1.4.2 Particulares.....	5
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Preguntas de investigación.....	6
1.7 Estructura capítular del documento de titulación	7
.....	7
.....	7

1.8 contenido capitular.....	7
1.9 Bibliografía	8
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1.1 <i>Pinus devoniana</i> Lindley	10
2.1.2 Genero <i>Fusarium</i>	10
2.1.3 <i>Fusarium circinatum</i>	11
2.1.4 Sintomatología causada por <i>Fusarium circinatum</i>	11
2.1.5 Distribución y fases de afectación	12
2.1.6 Impactos por <i>Fusarium circinatum</i>	12
2.1.6.1 Impacto ambiental.....	12
2.1.6.2 Impacto económico.....	13
2.1.7 Tipos de control	13
2.1.7.1 Control biológico	13
2.1.7.2 Control químico.....	13
2.1.7.3 Control cultural.....	14
2.1.8 Sustratos.....	15
2.1.8.1 Definición y usos de sustrato	15
2.1.8.2 Sustratos con base en aserrín de pino	15
2.1.8.3 Sustratos a base de corteza de pino.....	16
2.1.8.4 Sustratos con base en turba de musgo	16
2.1.9 combinación de riego y sustrato	17
2.1.9.1 Importancia e interacción entre riego y sustrato	17
2.1.10 Fertilizantes	17
2.1.10.1 uso de fertilizantes de liberación controlada	17
2.2 Marco de referencia	18

2.3 Literatura citada.....	21
CAPÍTULO 3 Tres niveles de riego en <i>Pinus devoniana</i> con dos dosis de fertilización en presencia y ausencia de <i>Fusarium circinatum</i>	2
3.1 Resumen	2
CHAPTER 3 Three irrigation levels on <i>Pinus devoniana</i> with two fertilization doses in the presence and absence of <i>Fusarium circinatum</i>	3
3.1.1 Abstract.....	3
3.2 Introducción.....	4
3.3 Materiales y métodos.....	5
3.3.2 Diseño y análisis del experimento	6
3.3.2.1 Modelo estadístico	7
3.3.5 Experimento (Riego, Fertilización y <i>F. circinatum</i>).....	9
3.3.6 Calculo para aplicación de riego	9
3.3.10 Caracterización morfológica de <i>F. circinatum</i>	13
3.3.13 Extracciones de N, P y K con reactivos	17
3.3.14 Determinación de pH, N, P y K	18
3.4. Resultados	20
3.4.1 Germinación de plántulas de <i>Pinus devoniana</i>	20
3.4.2 Purificación de aislados	20
3.4.3 Incidencia y severidad de <i>F. circinatum</i> en plántulas de <i>P. devoniana</i>	21
3.4.4 Efecto del riego en la inoculación: con presencia y ausencia de <i>F. circinatum</i>	22
3.4.7 Índices de calidad de planta	26
3.4.8 Cantidad de nutrientes encontrados en los tratamientos	29
3.4.10 conclusiones.....	35
3.4.11 Agradecimientos	36

3.4.12 Literatura citada	37
Capítulo 4 Conclusiones generales.....	1

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.....	12
Cuadro 2. Clasificación de infestación observada por <i>F. circinatum</i>	16
Cuadro 3. Porcentaje de incidencia del patógeno en cada tratamiento.	21
Cuadro 4. Diferencias porcentuales de severidad entre tratamientos	23
Cuadro 5. Estructuras de <i>F. circinatum</i> encontradas en las preparaciones de los distintos medios de cultivo.....	25
Cuadro 6. Valores que califican la calidad de planta con crecimiento normal en vivero forestal (Saénez et al., 2010).....	27
Cuadro 7. Índices de calidad de planta por tratamiento	27
Cuadro 8. Cantidades de N, P y K encontrados en el sustrato	30
Cuadro 9. Análisis de varianza del diseño experimental en parcelas subdivididas... ..	30
Cuadro 10. Comparación de medias para el factor riego.	31
Cuadro 11. Comparación de medias respecto al factor de inoculación del patógeno.	32
.....	
Cuadro 12. Medias y desviación estándar de la interacción entre riego e inoculación	33
.....	
Cuadro 13. Media y desviación estándar de la interacción entre riego, fertilización e inoculación.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del documento de titulación	7
Figura 2. Mapa que destaca el estado de México, fuente: travelbymexico.com.....	5
Figura 3. División de Ciencias Forestales (DiCiFo), elaborado en ArcGis	6
Figura 4. Preparación del inoculo de <i>F. circinatum</i> . A) cajas Petri con colonias del patógeno; B) Licuado del patógeno y vaciado en agua destilada; C) Toma de muestra y conteo de conidios presentes para calcular la concentración; D) Aplicación de 20 ml., del inoculo en las plantas.	11
Figura 5. Procedimiento realizado para formación de estructuras de <i>F. circinatum</i> . A) Planta con síntomas de la enfermedad; B) Lavado de trozos de raíz obtenidos de la planta enferma; C) Siembra de raíces lavadas en medio de cultivo PDA; D) Aislado purificado de <i>F. circinatum</i> ; E) Extracción de discos para colocar en tres medios de cultivo; F) Colonias desarrolladas de <i>F. circinatum</i> en PDA, CLA y SNA.	13
Figura 6. Preparaciones utilizadas para revisar estructuras de <i>F. circinatum</i> . A) Estructuras desarrolladas en medios de cultivo PDA, CLA y SNA; B) Preparaciones realizadas de los tres medios de cultivo; C) Observación de estructuras de las distintas preparaciones.....	14
Figura 7. Escalas de daños ocasionados por <i>F. circinatum</i> . A) Planta sana, escala 0; B) Planta con doblamiento del ápice, escala 1; C) Planta con amarillamiento, escala 2; D) Plantas con puntas secas y marchitamiento inicial en la planta, escala 3; E) Planta muerta, escala 4.	15
Figura 8. Metodología aplicada en índices de calidad de planta. A) selección de planta por tratamiento; B) Lavado de raíces; C) Medición de altura y diámetro; D) Corte de raíz y parte aérea de la planta; E) Secado de raíz y parte aérea en estufa de secado; F) Toma de datos de las plantas secas.	17
Figura 9. Sustrato para realizar extracciones y análisis. A) Selección de plántula con sustrato tomadas al azar; B) Muestras de sustrato cernidas; C) Muestras de sustrato pesadas para realizar extracciones; D) reactivos utilizados para realizar extracciones y análisis.....	18
Figura 10. Determinación de cantidad de nutrientes estaban presentes en el sustrato por tratamiento y repetición. A) Tubos de agitación con extracciones en centrifuga	

después de haber pasado por agitación; B) Extracciones filtradas con papel filtro dejándose acumular en vasos de precipitados; C) Pipeteo de alícuotas para posteriormente medir las cantidades presentes de nutrientes; D) Muestras de Fosforo listas para medir; E) Titulación de muestras de Nitrógeno. 19

Figura 11. Germinación acumulada de *Pinus devoniana* a los 35 días, se representa el porcentaje de germinación y el número de plantas emergidas semanalmente. 20

Figura 12. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 1 (R100, 3.5 g, Fc), 2 (R100, 3.5g), 7 (R100, 7 g, Fc) y 8 (R100, 7 g). 22

Figura 13. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 3 (R80, 3.5 g, Fc), 4 (R80, 3.5g), 9 (R80, 7 g, Fc) y 10 (R80, 7 g). 22

Figura 14. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 5 (R70, 3.5 g, Fc), 6 (R70, 3.5g), 11 (R70, 7 g, Fc) y 12 (R70, 7 g). 23

Figura 15. Comparación de la severidad entre tratamientos. 24

Figura 16. Características de *F. circinatum* A) Micelio con textura algodonosa; B) Diferenciación del micelio en PDA, CLA y SNA; C) Esporodocios en medio de cultivo CLA; D) Macroconidios; E) Microconidios; F) Mono fiálides y poli fiálides; G; Hifas estériles (circinas). 26

Figura 17. Comparación entre tratamientos respecto al Índice de Robustez. 28

Figura 18. Comparación entre tratamientos respecto a la relación PSA/PSR. 28

Figura 19. Comparación entre tratamientos respecto al Índice de calidad de Dickson. 29

..... 29

Figura 20. Medias de la incidencia respecto al factor fertilización. 32

Figura 21. Medias de incidencia respecto al factor inoculación. 33

Figura 22. Medias de la interacción del riego e inoculación de *F. circinatum*. 34

Figura 23. Medias de la triple interacción de los factores estudiados. 35

DEDICATORIA

Al Trino y Eterno Dios, por medio del cual todas las cosas existen, y sin él nada fuese posible.

A mi madre Oliva Matías, por darme la vida y por su apoyo en todo momento para continuar estudiando en las diferentes etapas de mi vida.

A mi hermano Aquilino Cruz, por ser un buen hermano ya que siempre me apoyo en lo que pudo en mi formación académica, por los buenos y malos momentos que vivimos juntos y por aceptar nuestras diferencias en cuanto a nuestra manera de ver la vida.

A mi abuelo Filemón Matías en paz descanse, que fue como mi padre ya que me dio grandes lecciones de vida y fue un buen ejemplo para mí, por motivarme a seguir adelante con mi formación académica y no dejarme vencer en la vida.

A mi abuela Carmen Chimil en paz descanse, que fue un gran apoyo para mi madre y para mí en los momentos difíciles, ya que sin su apoyo y cuidados no hubiese llegado hasta donde estoy hoy en día.

A mis amigos que la vida me ha regalado ya que son pocos, pero reales porque que han estado en momentos difíciles para mí.

A mi amiga la ing. María Alejandra Ortega Cerón que ha sido como mi hermana en todo este tiempo de la maestría en la cual vivimos dificultades, pero juntos nos ayudamos a superarlas.

A mi amigo y colega Pablo Martínez Gil que sin duda alguna fue de gran ayuda en los buenos y malos momentos.

A cada uno de mis compañeros de maestría, aunque no estuvimos juntos presencialmente la mayor parte del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las instituciones que han hecho posible la realización de la presente investigación, por la ayuda económica brindada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), por recibirme y por los inmensos conocimientos que me ha brindado, a la División de Ciencias Forestales (DICIFO) por ser parte en mi formación académica, profesional y personal, por permitir el uso de sus instalaciones y por el apoyo de su personal académico, al igual que al DEIS en Suelos por las facilidades otorgadas.

Al proyecto A-S-67865 del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT, titulado “Monitoreo, evaluación de daños, manejo preventivo y control de la secadora y pudrición de raíz causados por *Fusarium spp.*, y las moscas fungosas *Bradysia* y *Lycoriella*”.

Un agradecimiento especial a mi director de Tesis el Dr. David Cibrián Tovar por la orientación y amabilidad para compartir conocimientos, la paciencia además del apoyo moral lo cual fue de gran ayuda para obtener este grado académico.

También agradezco a la Dra. Silvia Edith García Díaz ya que fue de mucha ayuda su amabilidad, paciencia, conocimientos y orientación para obtener el grado académico, además de su apoyo moral ya que estuvo presente en gran parte de este proyecto de investigación.

Al Dr. Alejandro Corona Ambriz que acepto ser parte del comité asesor, por sus consejos y aportaciones estadísticas ya que estas fueron fundamentales para poder concluir con éxito la investigación y por ello fue posible obtener el grado.

A la Dra. Elizabeth Hernández Acosta que fue de gran ayuda para que pudiese desarrollarse parte de esta investigación al igual que por las facilidades otorgadas para que se pudiese trabajar en uno de los laboratorios del departamento de suelos

Al Dr. José Tulio Méndez Montiel, por motivarme a ser mejor persona y por el apoyo brindado durante el tiempo de preparación para poder ingresar al posgrado y por el aporte de sus conocimientos para complementar la presente investigación.

A todos los académicos que se esforzaron en enseñar de manera entusiasta, amable y aconsejar puntualmente en que se debía mejorar tanto como personas como investigadores.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: César Lamberto Cruz Matías
Fecha de nacimiento: 12 de agosto de 1992
Lugar de nacimiento: Jesús Carranza, Veracruz, México
CURP: CUMC920812HVZRTS04
Profesión: Ingeniero forestal



Desarrollo Académico

Bachillerato: 2009-2012 Centro de Bachillerato Técnico Agropecuario (CBTa)
164., Veracruz
Licenciatura: 2013-2018 Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza,
Veracruz
Maestría 2020-2022 Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México

TRES NIVELES DE RIEGO Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL EN *Pinus devoniana* EN PRESENCIA DE *Fusarium circinatum*

RESUMEN GENERAL

F. circinatum (Nirenberg y O'Donnell) es uno de los principales patógenos responsables de mortalidad de árboles del género *Pinus*, los factores que pueden influir en la incidencia de dicho patógeno son la cantidad de agua utilizada durante el riego y las dosis de fertilización; por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar tres niveles de riego y dos de nutrición, en presencia y ausencia del hongo. La siembra de semillas de *Pinus devoniana* (Lindley) se realizó el 11 de junio de 2021. Se utilizaron charolas de 25 tubetes de 220 ml. El sustrato fue con base en aserrín, turba y corteza, en proporción 60:20:20. El fertilizante aplicado fue Multicote® (18N-6P-12K+ME). El diseño experimental consistió en un diseño en parcelas subdivididas, con 12 tratamientos y cuatro repeticiones, la mitad de los tratamientos fue inoculada con cepas del patógeno a cuatro meses de edad de la planta, dejando el resto como control. Las mediciones para registrar la incidencia se hicieron del 4 de diciembre de 2021 hasta el 24 de abril 2022. Los resultados indican que la interacción del riego, dosis de fertilización e inoculación fue significativa ($p \leq 0.05$) en los tratamientos al 70%, en comparación con los niveles de riego al 100% y 80%, en los que no hubo diferencias significativas. Concluido el experimento se realizó el análisis nutrimental de N, P y K, identificando valores altos en P y K; en N los valores fueron bajos en concentración y se reflejaron en la calidad de la planta, aquellas que recibieron la dosis menor de fertilizante, tuvieron coloración amarillenta, contrastada con la dosis alta donde el color fue normal. Hubo variación en los índices de calidad de planta, baja calidad en el índice de robustez y alta calidad en la relación PSA/PSR y el índice de calidad de Dickson.

Palabras Clave:

Pinus devoniana, *Fusarium circinatum*, hongo, vivero forestal, dosis.

Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: César Lamberto Cruz Matías

Director de tesis: Dr. David Cibrián Tovar

THREE LEVELS OF IRRIGATION AND NUTRITIONAL EVALUATION ON *Pinus devoniana* IN THE PRESENCE OF *Fusarium circinatum*

GENERAL ABSTRACT

F. circinatum (Nirenberg y O'Donnell) is one of the main pathogens that causes tree mortality in the genus *Pinus*. Factors that can influence the incidence of this pathogen are the amount of water used during irrigation and fertilization doses; therefore, the objective of this work was to evaluate three levels of irrigation and two levels of nutrition, in the presence and absence of the fungus. *Pinus devoniana* (Lindley) seeds were sown on June 11, 2021. Trays of 25 tubes of 220 ml were used. The substrate was based on sawdust, peat moss and bark, in a 60:20:20 ratio. The fertilizer applied was Multicote® (18N-6P-12K+ME). We used a statistical subdivided plot design, with 12 treatments and four replicates, half of the treatments were inoculated with pathogen strains at four months of plant age, leaving the rest as controls. Measurements to record incidence were made from December 4, 2021 to April 24, 2022. The results indicate that the interaction of irrigation, fertilization dose and inoculation was significant ($p \leq 0.05$) in the 70% treatments, compared to the 100% and 80% irrigation levels, in which there were no significant differences. At the end of the experiment, the nutritional analysis of N, P and K was carried out, identifying high values of P and K; but N values were low in concentration, which was reflected in the quality of the plant, those that received the lowest dose of fertilizer had a yellowish coloration, in contrast to the high dose, where the color was normal. There was variation in the plant quality index, low quality in the slenderness index and high quality in the shoot: root ratio and the Dickson quality index.

Key words: *Pinus devoniana*, *Fusarium circinatum*, fungus, forest nursery, dose.

Master of Science Thesis, Master of Science in Forestry Science Program
Universidad Autónoma Chapingo
Author: Cesar Lamberto Cruz Matías
Advisor: Dr. David Cibrián Tovar

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Antecedentes

Uno de los grandes problemas que enfrentamos en la producción de planta forestal, es la mortandad de plántulas en vivero por diversos factores, uno de los que más pérdidas ocasiona es el hongo *Fusarium circinatum* ya que es el responsable de causar pudrición en la raíz principal y en las raíces secundarias de los árboles del género *Pinus spp* (Maphosa, *et al.*, 2016). El hongo *Fusarium circinatum*, causante del cancro resinoso de los pinos (pitch canker), fue determinado por primera vez por Heptig y Roth en 1946, en Carolina del Norte, sobre *Pinus virginiana* (Flores-Pacheco, 2017). En un inicio, el patógeno fue considerado una especie de *Fusarium spp.*, de la sección *Liseola* porque aún no había sido descrita, sólo se conocía que causaba la mortandad en árboles adultos en bosque natural, posteriormente en 1949 el hongo fue identificado como *Fusarium lateritium* f. sp. *pini*, en la sección *Lateritium* y permaneció como tal hasta 1978, año en el que fue reubicado en la sección *Liseola*, bajo el nombre *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans* (Kuhlman 1982). En 1983, se propuso elevar la variedad a especie como *Fusarium subglutinans*, para 1992 la clasificación fue modificada como *F. subglutinans* f. sp. *pini*, manteniéndose durante seis años con este nombre para finalmente quedar como *Fusarium circinatum* perteneciente al complejo *Gibberella fujikuroi*, dentro de la sección *Liseola*, tal descripción fue realizada por Nirenberg & O'Donnell en 1998 (Carrasco *et al.*, 2016).

Las especies hospedantes de *F. circinatum* son más de 60 especies del género *Pinus* y otras coníferas, incluyendo a *Pseudotsuga menziesii*. Los síntomas que presentan los árboles infectados con este patógeno son la muerte de troncos, puntas y ramas, retraso y deformación de los estróbilos femeninos infectados, los cuales a menudo son abortados poco antes de alcanzar la madurez. En algunas ocasiones la infección no es visible en los estróbilos, de tal suerte que las semillas infectadas no muestran daños visibles, lo cual hace difícil su reconocimiento en los viveros, pudiendo sembrarlas para luego resultar en la muerte pre o post-emergente de las plántulas, cuando dichas semillas se utilizan para producción de plantas (Gordon *et al.*, 2015). En México este patógeno causa pérdidas de un 40% en la producción de especies de pino. (Cibrián *et al.*, 2008). *Fusarium circinatum* ha demostrado ser altamente dañino en árboles del género *Pinus spp.*, esto

ha quedado registrado en diferentes lugares del mundo, y se le considera plaga principal en varios países del mundo.

En la actualidad la mayoría de los viveros usa envases plásticos rígidos. En diversas investigaciones se ha visto reflejada la influencia del volumen de los envases en el desarrollo de las plantas puesto que se ha comprobado que a mayor volumen del envase los aspectos morfológicos de las plantas son mejores, principalmente diámetro del tallo y altura, lo que permite que el balance entre la formación de biomasa área y biomasa radical sea mejor, lo cual se ve reflejado en los índices de calidad de planta (Basave-Villalobos *et al.* 2017). Por otro lado, el uso de turba de musgo, perlita y vermiculita, combinación conocida como mezcla estándar o mezcla base, fue utilizada durante décadas pasadas en la búsqueda de producción de plantas de calidad, si bien era funcional, también tenía sus desventajas puesto que por el alto contenido de materia orgánica y su capacidad de retención de agua favorecía el desarrollo del patógeno *F. circinatum*, lo cual resultaba contra productivo por la alta mortandad presentada en los viveros donde era utilizada (García-Díaz *et al.*, 2017).

El agua y la calidad de esta es primordial para el desarrollo adecuado de las plantas, tanto en condiciones naturales como en vivero, en ambos casos este factor es limitante, puesto que en los bosques habrá condiciones que no siempre favorecerán el uso del agua, un claro ejemplo son las épocas de sequías; en cuanto a viveros siempre se cuida que el agua sea de buena calidad, cuando se adicionan fertilizantes y productos químicos, se favorece el crecimiento de las plantas, aunque posteriormente pueden ser una fuente de contaminación a las aguas superficiales y subterráneas. Es importante el contenido de sales en el agua que se usa, puesto que altas concentraciones de salinidad pueden afectar el rendimiento en la producción de plantas (Gutiérrez-García *et al.*, 2015).

El uso de los fertilizantes de liberación controlada en viveros forestales ha reemplazado el uso de fertilizantes hidrosolubles, debido a que estos últimos tienen mayor costo y son menos eficientes en comparación con los fertilizantes de liberación controlada. Los fertilizantes de liberación controlada han sido de gran ayuda en el aumento de la calidad de la planta, además, de que su precio es accesible para un mayor número de viveristas o investigadores, son fertilizantes que contienen los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas y debido a la sensibilidad a la temperatura y

humedad del suelo del polímero que recubre el fertilizante, se permite la liberación gradual, de tal forma que las plantas absorban los nutrientes cuando los necesitan, evitando la pérdida de nutrientes por lixiviación (Reyes-Millalón, *et al.*, 2012)

1.2 Justificación

En esta investigación se estudió el efecto de los riegos y nutrición de la planta en presencia y ausencia del hongo *Fusarium circinatum*. Se justifica el estudio, ya que este hongo es uno de los principales problemas que tiene la producción de planta de pino en viveros de contenedor de México (García-Díaz *et al.*, 2017). Sobre la especie ya se han desarrollado estudios sobre distribución (Flores-Pacheco, 2017), hospedantes, sintomatología (García-Díaz *et al.*, 2019), tratamientos de combate biológico y químico (Flores Pacheco, 2017). Sin embargo, son pocos los estudios sobre tácticas preventivas, y casi ninguno en tratamientos de riego y fertilización como alternativas de prevención (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2017).

1.3 Planteamiento del problema de investigación

La presente investigación aporta nuevos conocimientos que ayuden el manejo adecuado para contrarrestar de manera efectiva y biológicamente el daño causado por *Fusarium circinatum*.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar el efecto de tres niveles de riego y dos niveles de nutrición aplicados en plántulas de *Pinus devoniana* en presencia y ausencia del hongo patógeno *Fusarium circinatum*, posteriormente medir la patogenicidad y los niveles de Nitrógeno, Fosforo y Potasio encontrados en el sustrato donde estuvieron las plantas y determinar el consumo de estos durante el periodo de evaluación.

1.4.2 Particulares

- Evaluar la mortalidad causada por *F. circinatum* en tres tratamientos de riego y dos de nutrición.
- Determinar los índices de calidad de planta en todos los tratamientos.

- Determinar el consumo de N, P y K. en los tratamientos de riego y fertilización.

1.5 Hipótesis

El hongo *Fusarium circinatum* no presenta alta incidencia en plántulas de *Pinus devoniana* en tres niveles de riego aplicados a las plántulas y dos dosis de fertilizante. Los niveles de Nitrógeno, Fosforo y Potasio tendrán deficiencias nutricionales en contraste con los niveles iniciales al montar el experimento.

Los objetivos generales mencionados, se lograron al igual que probar la hipótesis planteada, para ello se estableció el experimento que se describe en el artículo científico que conforma la presente tesis. La metodología y los resultados se estructuran a manera de capítulos, al igual que la revisión bibliográfica.

El título de dicho capítulo es:

Artículo 1: Tres niveles de riego en *Pinus devoniana* con dos dosis de fertilización en presencia y ausencia de *Fusarium circinatum*

1.6 Preguntas de investigación

1. ¿Se puede medir el impacto del hongo en la planta?
2. ¿De qué manera se pueden cuantificar los daños a la planta?
3. ¿Cuál de las dosis de fertilizante es mejor para el desarrollo de las plantas en el sustrato?
4. ¿Los niveles de riego aplicados en los tratamientos mostraron resultados significativos?
5. ¿Cuál de los niveles de riego resultó ser mejor en cuanto a calidad de planta?
6. ¿La interacción riego, dosis de fertilización e inoculación de patógeno será estadísticamente significativa?
7. ¿El tipo de sustrato y la concentración utilizada tendrá impacto en la incidencia del patógeno en los tratamientos?

1.7 Estructura capitular del documento de titulación

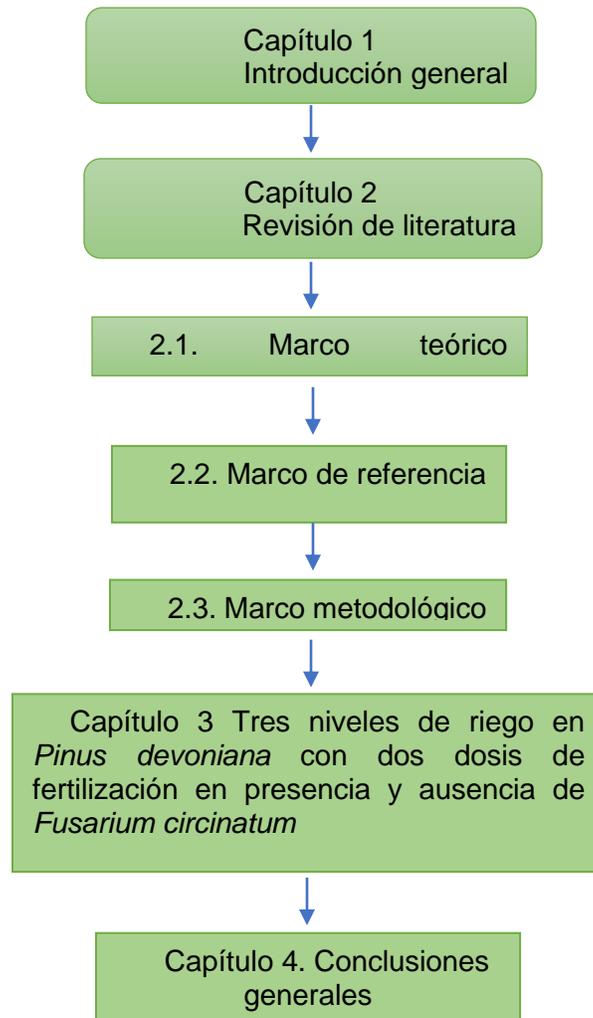


Figura 1. Estructura del documento de titulación

1.8 contenido capitular

El documento de titulación presenta el contenido, una portada general, la hoja de aprobación del comité asesor, una tabla de contenidos, posteriormente la lista de cuadros, la lista de figuras, la lista de abreviaciones, la dedicatoria del documento, los agradecimientos de la investigación, posteriormente se presentan los datos biográficos del autor, un resumen general y el abstract.

En el capítulo uno se presenta una introducción general, antecedentes, la justificación, el planteamiento del problema, el problema de investigación, posteriormente se presentan objetivo general y específicos, las preguntas de investigación, la hipótesis, el contenido capitular, la figura del contenido o estructura y por último la bibliografía consultada.

1.9 Bibliografía

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete A., Martínez-Trinidad, T. & Ordaz-Chaparro, V.M. 2017. "Producción de *Pinus Pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada." *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34):007–019. doi: 10.29298/rmcf.v7i34.79.
- Basave-Villalobos, E., García-Castillo, L. C., Castro-Ríos, A., Calixto-Valencia, C. G., Sigala-Rodríguez, J. Á., & García Pérez, J. L. 2017. "Calidad de planta de *Cedrela Odorata* L. asociada con prácticas culturales de vivero." *Revista mexicana de ciencias forestales* 7(36):65–80. doi: 10.29298/rmcf.v7i36.60.
- Carrasco, A., Sanfuentes, E., Durán, Á., & Valenzuela S. 2016. "Cancro resinoso del pino: ¿una amenaza potencial para las plantaciones de *Pinus radiata* en Chile?" *Gayana botánica* vol.73 no.(0016–5301):369–80. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000200369>.
- Cibrián, D., García S., & Don-Juan B. 2008. "Manual identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales." *Journal of CONAFOR* 53(9):1689–99. Zapopan, Jalisco, México. Recuperado a partir de <http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=243>
- Flores-Pacheco, J. A. 2017. "Chancro resinoso del pino (*Fusarium circinatum*) historia, evolución, dispersión y estrategias de manejo." *Nexo revista científica* 30(01):19–42. doi: 10.5377/nexo.v30i01.5170.
- García-Díaz, S. E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J. T., Valdovinos-Ponce, G., & Equihua-Martínez, A. 2017. "Effect of *Fusarium circinatum* on germination and growth of *Pinus greggii* seedlings in three substrates." *Agrociencia* 51(8):895–908. Recuperado a partir de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952017000800895&script=sci_arttext&tlng=en

- García-Díaz, Silvia E., Arnulfo Aldrete, Dionicio Alvarado-Rosales, David Cibrián-Tovar, and José T. Méndez-Montiel. 2019. "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):353–67. doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.12.088.
- Gordon, T. R., Swett, C. L., & Wingfield, M. J. 2015. "Management of *Fusarium* diseases affecting conifers." *Crop protection* 73(1–12):28–39. doi: 10.1016/j.cropro.2015.02.018.
- Gutiérrez-García, J. V., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., García-Díaz, S., & Romo-Lozano, J. L. 2015. "Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. En Vivero." *Agrociencia* 49(2):205–19. Recuperado a partir de <https://www.researchgate.net/profile/Dante-RodriguezTrejo/publication/281765934-Waterquality-for-the-forest-nursery-production-of-Pinus-cembroides-zucc/links/594364c2a6fdccb93ab287dd/Water-quality-for-the-forest-nursery-production-of-Pinus-cembroides-zucc.pdf>
- Kuhlman, E. G. 1982. Varieties of *Gibberella fujikuroi* with anamorphs in *Fusarium* Section *Liseola*. *Mycologia* 74(5):759–68. doi: 10.1080/00275514.1982.12021583.
- Maphosa, M. N., Steenkamp, E. T., & Wingfield, B. D. 2016. "Genome-based selection and characterization of *Fusarium circinatum*-specific sequences." *G3: Genes, genomes, genetics* 6(3):631–39. doi: 10.1534/g3.115.025817.
- Reyes-Millalón, J., Gerding, V., & Thiers-Espinoza, O. 2012. "Controlled release fertilizers applied to *Pinus radiata* D. Don in Chile." *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 18(3), 313-328. doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.08.060.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico conceptual

2.1.1 *Pinus devoniana* Lindley

Pinus devoniana presenta alturas que van desde los 20 a 30 metros, con corteza rugosa, agrietada, ramas oscuras, ásperas con cobertura de brácteas oscuras, grandes, salientes, duras y poco separadas. Las hojas están en grupos de cinco, en ocasiones seis en varios fascículos, comúnmente de 30 a 35 cm. Estróbilos (conos) oblongo ovoides o casi cilíndrico-cónicos, algo oblicuos, gradualmente atenuados hacia la extremidad y muy poco hacia la base de 25 a 30 cm., de largo por 12 a 15 cm., de ancho (cuando están abiertos) de color moreno opaco, algo resinosos, persistentes y fuertes, ligeramente colgantes, levemente encorvados, colocados por pares en grupos de tres, rara vez solitarios, sobre pedúnculos gruesos y fuertes, de 15 a 20 mm. La semilla es vagamente triangular, de unos 9 a 10 mm de largo por 6 de ancho, de color pardo con manchas negras; el ala mide de 4.4 a 5 cm., por 10 a 12 mm., de ancho, de color café oscuro, surcada longitudinalmente con vetas rugosas, la madera es blanda, algo amarillenta y de buena calidad (Martínez 1992).

2.1.2 Genero *Fusarium*

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas. Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas. Al microscopio, la fiálide es generalmente fina, con forma de botella; simple o ramificada; cortas o largas; monofialídica (que emergen esporas de un poro de la fiálide) o polifialídica (de varios poros). Los macro conidios presentan forma de media luna, hialinos y septados. Para su correcta clasificación es importante el largo, ancho, curvatura, septos, agrupaciones mucoides (esporodoquios) y detalles de las células de los extremos (célula apical y pie). Los microconidios, ausentes en algunas especies, poseen variadas formas (fusiformes, ovals, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas “falsas cabezas”), en cadenas largas o cortas; todas observables a la lupa (40x). Otro tipo de conidios son los meso conidios, que son similares, pero de menor tamaño que los macroconidios y nunca forman estructuras mucoides. Por último, pueden observarse las clamidosporas características con doble

pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada, en pareja o en grupo (Tapia & Amaro 2014).

2.1.3 *Fusarium circinatum*

F. circinatum es un patógeno que se presenta en *Pinus spp.*, y algunas otras coníferas, es posible encontrar algunas estructuras en CLA (Agua Agar con hojas de Clavel) de las que podrían ser esporodoquios con macroconidios los cuales son escasos y pueden ser difíciles de encontrar, pero cuando están presentes los macroconidios son típicos de los que producen otras especies de *Gibberella fujikuroi* ya que son delgados al igual que sus paredes ovoide, ovalada o alantoides por otro lado los microconidios nacen de forma mono y polifiléticos y presentan similitud en aquellos que pertenecen a *F. subglutinans*, la morfología general de los macroconidios es que es relativamente delgado con curvatura no significativa, célula apical curva, célula basal relativamente poco desarrollada, usualmente septado en tres, a menudo son difíciles de encontrar, los microconidios no presentan septos su forma es ovoide, oval o alantoides, en el micelio podemos encontrar los microconidios en pequeñas cantidades, las poli fiálides pueden proliferar ampliamente mientras que las mono fiálides son escasas, las clamidosporas están ausentes aunque algunas preparaciones producen hifas hinchadas superficiales que se asemejan a clamidosporas o pseudo clamidosporas, también se encuentran hifas estériles enroscadas (circinas), y su presencia es mayor en las preparaciones de SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar), a comparación de CLA puesto que en este medio de cultivo su producción es variada, en ocasiones *F. circinatum* pudiese confundirse con otras especies de *Gibberella fujikuroi*, mayormente con *F. subglutinans*, dichas confusiones se pueden despejar mediante la secuenciación molecular (Leslie & Summerell 2007).

2.1.4 Sintomatología causada por *Fusarium circinatum*

F. circinatum es característico por ser capaz de infectar plantas en sus diferentes etapas de crecimiento mediante heridas causadas por insectos vectores o también a través del agua y el viento su presencia es evidente al generar coloraciones en las acículas dichas coloraciones van desde un color amarillo hasta rojizo, de tal suerte que provocan la caída; en el eje central de árboles adultos se generan chancros exudantes de resina, es por ello que en esta etapa se le conoce como cancro resinoso. Los síntomas

son más mayormente identificables en las acículas jóvenes pudiendo ser vistas también en acículas maduras. Se evidencia por coloraciones inicialmente amarillas tornándose a grisáceas o marrones, inclusive una combinación de ambas, los síntomas se expresan con ciertas particularidades dependiendo del hospedante, pero existen algunas particularidades visuales puesto que comienza en una rama que va muriendo mediante el estrangulamiento causado por un cancro que va creciendo tanto en dirección paralela a la raíz principal como al ápice provocando la muerte del árbol (Flores Pacheco 2015).

2.1.5 Distribución y fases de afectación

Desde la aparición de *Fusarium circinatum* en Estados Unidos de Norteamérica en 1946 se ha extendido por casi todos los continentes del mundo a excepción de la Antártida, la especie más susceptible a esta enfermedad es la comúnmente conocida como pino de Monterrey (*Pinus radiata*). La invasión del hongo inicia afectando las acículas más jóvenes lo cual incluye el cambio de coloración de ellas que va desde un amarillo intenso hasta un pardo oscuro, el tallo se ve afectado a la altura de la primera rama con una lesión que presenta exudación en grandes cantidades de resina, puede ser tan agresiva la enfermedad que incluso el árbol se puede quebrar en este punto ya que se encuentra debilitada la madera a causa del hongo. Este mismo patógeno ocasiona daños a los árboles en sus distintas etapas de desarrollo una de ellas es la fase pre germinativa cuando se pudre la semilla y su cobertura total por micelio del hongo, si algunas semillas logran germinar pueden sufrir ahorcamiento que es un tejido necrótico, en ambas etapas se ha reportado hasta 100% de mortalidad. Las plántulas, que logren germinar con el paso del tiempo presentaran síntomas que van desde el doblamiento del ápice, amarillamiento de las acículas, falta de vigor en el tallo, la plántula se cambia de color amarillo a rojizo o marrón lo cual indica la muerte de la plántula (Flores-Pacheco 2017).

2.1.6 Impactos por *Fusarium circinatum*

2.1.6.1 Impacto ambiental

Al tener alta mortandad de especies arbóreas en plantaciones forestales, como en bosques naturales y arbolado urbano, habrá efectos secundarios los cuales serán: variación de la temperatura del aire, disminución de la conservación de energía, aumento

de la contaminación del aire, disminución de la captura de dióxido de carbono, reducción de materia prima para fabricación de muebles de madera al igual que papel para los diferentes ámbitos en que se utiliza, al igual que la disminución en la captación de agua (Rodríguez & Flores 2018).

2.1.6.2 Impacto económico

Los árboles además de servicios ambientales prestan beneficios económicos a nivel mundial, un claro ejemplo de ello es la especie más utilizada en todo el planeta tierra *Pinus radiata* (Pino de Monterrey), que comúnmente se utiliza por su rápido crecimiento y excelente calidad de madera, pero estos beneficios pueden verse severamente afectados por parásitos y enfermedades, una de las enfermedades más severas es el cancro de los pinos causado por *F. circinatum*, esta enfermedad afecta a los pinos a nivel mundial dando como resultado pérdidas económicas significativas, aunque mayormente esta afectación se ve en el continente europeo puesto que ahí se utiliza con frecuencia *Pinus radiata* (Aloi et al. 2021).

2.1.7 Tipos de control

2.1.7.1 Control biológico

Los hongos endófitos pueden colonizar los tejidos vivos internos de las plantas sin causar un efecto significativo del hospedante, estos hongos en muchas ocasiones ejercen antagonismo frente a patógenos fúngicos que dañan a las plantas. Estudios realizados en pruebas in vitro muestran que los hongos endófitos tienen una mayor inhibición frente a los patógenos, aunque no erradican la infestación, por lo cual se infiere que el uso del control biológico debería ser usado de manera preventiva, para evitar o disminuir las pérdidas de plantas por mortandad en diferentes etapas de desarrollo por *F. circinatum* (Flores-Pacheco 2017).

2.1.7.2 Control químico

Hoy en día existen pocos productos registrados que permiten el control eficaz de *Fusarium circinatum* y algunos de ellos tiene ciertas restricciones de uso por normas de certificación ambiental, algunos de los fungicidas empleados son: procloraz, tebuconazole, benomyl, captan, difenoconazole y propiconazole, es bueno conocer estos productos ya que para el control inmediato de la enfermedad son altamente efectivos,

aunque eso no quita que también son contaminantes. Cuando se piensa realizar control químico en plantaciones, viveros, invernaderos, debe considerarse la demanda económica que habrá de realizarse ya que la mayoría de los productos antes mencionados no son baratos y la cantidad económica dependerá de la cantidad del producto que se utilice (Carrasco *et al.*, 2016).

2.1.7.3 Control cultural

El principio del control cultural dependerá de la reducción de las fuentes de inóculo, esto se logrará eliminando precisamente el material infectado que pudiese encontrarse en el área de estudio, se deben incrementar los niveles de higiene, ejemplo de ello sería: utilizar agua de riego libre del patógeno, desinfectar contenedores y rejillas antes de utilizarse, evitar el uso de especies con mayor susceptibilidad al patógeno, reducción o eliminación de material que pudiese estar contaminado, cuando se realizan podas es necesario desinfectar las herramientas utilizadas con hipoclorito de sodio o de calcio al 1%, también puede utilizarse el peróxido de hidrogeno al 10% de este modo se reducirá la dispersión de la enfermedad. El uso de aceites esenciales también es de gran utilidad entre los que destacan los de canela (*Cinnamomum zeylanicum*), casia (*Cinnamomum cassia*), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y hierba de limón (*Cymbopogon citratus*), con alto efecto inhibitor de entre la evaluación de 75 aceites esenciales. Por otra parte los metabolitos secundarios han dado buenos resultados contra *F. oxysporum* en papa, los extractos vegetales por su parte han probado ser de utilidad, el caso más exitoso fue el de el extracto acuoso de ajo (*Allium sativum*) el mejor con casi 95% de actividad fungicida en semilla de neem (*Azardiachta indica*), hierba de limón (*Cymogopogon proxims*), comino (*Carum carvi*) y clavo (*Eugenia caryophyllus*), así como el uso de benomilo, y cepas de *Trichoderma spp.*, contra *Fusarium oxysporum*, donde los extractos acuosos de todas las especies vegetales destacaron con una eficacia del 60%, algunos autores sugieren que la capacidad de resistencia al ataque de patógenos dependerá de la situación en que se encuentran las defensas sistémicas de la planta (Villa-Martínez *et al.*, 2015).

2.1.8 Sustratos

2.1.8.1 Definición y usos de sustrato

El sustrato es un material sólido, distinto del suelo, natural o sintético, mineral u orgánico, en mezcla o sólo el cual, colocado en un contenedor, sirve de soporte a las plantas y medio para el desarrollo de la raíz. Se utilizan para la producción de plántula, propagación vegetativa y para crecimiento y desarrollo del cultivo. Pueden sustituir al suelo cuando este no cuenta con las propiedades físicas y químicas para el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas, o bien cuando la actividad así lo requiera, como lo es el caso de las plantas de ornato. Actualmente se comercializan sustratos de características y orígenes diversos, de forma pura o en mezclas de dos o más materiales, que buscan satisfacer las necesidades específicas de cada cultivo; sin embargo, sus altos precios (varios de ellos son de importación) limitan su acceso y uso a muchos productores. En las últimas décadas, se ha encontrado aplicación como medios de crecimiento a materiales que son subproductos o residuos de desecho de la industria maderera (Pineda-Pineda *et al.*, 2012).

2.1.8.2 Sustratos con base en aserrín de pino

El uso de sustratos con base en aserrín de pino es cada día más común, desde que se ha demostrado la efectividad de estos además de su bajo costo en comparación con la turba de musgo, en la que su precio ha estado aumentando desde que es escaso en el mercado, por otro lado, el aserrín de pino (*Pinus spp.*), que proviene de la industria maderera, es un material que tiene potencial como sustrato, nacionalmente su uso es limitado concentrándose en el centro del país. En México se procesan anualmente poco más de 8 millones de metros cúbicos de madera, de la cual 70% se destina a la industria maderera, donde el principal producto de desecho es el aserrín y virutas, con una producción estimada de 2.8 millones de metros cúbicos. Las propiedades físicas del aserrín dependen del tamaño de sus partículas y se recomienda que del 20-40 % sean inferiores a 0.8 mm. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.1 a 0.45 g·cm⁻³. La porosidad total es superior al 80 %, la capacidad de retención de agua es de baja a media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada. La ventaja principal del aserrín es su bajo costo, pero al ser un material orgánico entra en descomposición, lo

que reduce su vida útil como sustrato. Es posible que mezclando el aserrín con materiales inorgánicos como el tezontle (arena volcánica), los cambios en sus propiedades físicas sean más lentos, proporcionando un sustrato más durable sin incrementar los costos (González Orozco *et al.*, 2018).

2.1.8.3 Sustratos a base de corteza de pino

La corteza de pino es uno de los materiales que se utilizan con mayor frecuencia para conformar un acolchado, es decir, la capa de materia orgánica que se coloca sobre el suelo del jardín. Esta práctica tiene múltiples beneficios para los ejemplares que habitan en este sustrato, como su contribución para que el sustrato conserve la humedad y para evitar el desarrollo de malas hierbas. Existen dos formas en que la corteza de pino se puede emplear en el suelo del jardín, en bruto o cribada. La corteza en bruto es tal como sale de la serrería, mientras que la cribada es la que ha pasado por un proceso de filtrado y está compuesta solo por las piezas más pequeñas. La corteza de pino cribada más habitual en el mercado permite un acabado más homogéneo y se recomienda para plantas más finas y pequeñas. Para conseguir corteza en bruto, por su parte, muchas veces es necesario acercarse a un aserradero para encontrar la que allí se produce tras trabajar la madera. Se recomienda comprarla a granel cuando se necesiten grandes cantidades. Las ventajas que se han observado en los sustratos a base de corteza es la buena porosidad total, granulometría y aireación que son eficientes para la producción de plantas de calidad (Castro-Garibay *et al.* 2019).

2.1.8.4 Sustratos con base en turba de musgo

La turba es un musgo que pertenece al género *Sphagnum*, se conocen como musgos de turbera. Se forman en las áreas pantanosas de las regiones nórdicas, de una masa esponjosa y ligera en la que se pueden observar los componentes vegetales que la originaron. Se describe como un material orgánico compacto, de color pardo claro hasta oscuro y rico en carbono, tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen, los miembros de este género de musgo pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células, algunas especies pueden retener más de 20 veces su peso seco en agua. La turba rubia es naturalmente ácida ya que cuenta con un pH de entre 3.5 y 4.0, sin embargo, se pueden tener turbas con un pH arreglado entre 5.5 y 6.0 con

el fin de poder garantizar una buena asimilación de los nutrientes que están disponibles en los primeros 10 a 15 días después de la siembra (Kain *et al.*, 2021).

2.1.9 combinación de riego y sustrato

2.1.9.1 Importancia e interacción entre riego y sustrato

El riego aplicado a las plantas al igual que los sustratos utilizados para el desarrollo de las especies son fundamentales puesto que esto limita o favorece el desarrollo de plantas vigorosas o plantas con deficiencias nutricionales, claro ejemplo de ello es la mezcla de aserrín de pino con corteza de pino, que con un nivel de riego adecuado se vuelve favorable para la retención de humedad y buen desarrollo de raíces, ya que facilitan el drenaje y aireación que son factores fundamentales para el crecimiento de las plantas, esto es posible medir mediante los diferentes y más comunes índices de calidad de planta, los cuales son relación peso seco aéreo/peso seco radical, índice de robustez e índice de calidad de Dickson (Jahromi *et al.*, 2018).

2.1.10 Fertilizantes

2.1.10.1 uso de fertilizantes de liberación controlada

El uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) ha resultado muy beneficioso si se compara con los fertilizantes hidrosolubles, dado que facilita el manejo de la producción, reduce los costos y disminuye las pérdidas de fertilizantes por lixiviación, resultando una buena combinación el uso de fertilizantes de liberación controlada con los sustratos a base de aserrín de pino en la mayoría teniendo una proporción del 60% del total de la combinación de los sustratos. Las dosis de 7 y 8 g L⁻¹ de FLC han dado buenos resultados en producción de calidad de planta en periodos de desarrollo de 8 y 9 meses, esto se ha corroborado mediante los índices de calidad de planta mayormente utilizados. (Aguilera-Rodríguez *et al.* 2017)

2.2 Marco de referencia

García-Díaz *et al.*, (2017), evaluaron el efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de *Pinus greggii* para esto utilizaron tres sustratos diferentes a los cuales denominaron en clave S1 = turba de musgo (PROMIX®), agrolita y vermiculita; S2 = aserrín de pino, corteza de pino y turba de musgo; y S3 = corteza de pino, aserrín de pino y turba de musgo; todos en proporción 60:20:20, utilizando plantas de *Pinus greggii* para poder llevar a cabo esta investigación, la sintomatología fue más evidente a la edad de cuatro a seis meses, el sustrato a base de aserrín (S2) presento una baja tasa de incidencia en comparación con S1 y S3, ofreciendo una alternativa de un sustrato que será a bajo costo y más efectivo en la producción de planta de buena calidad.

Robles-Yerena *et al.*, (2016), determinaron que dos hongos del género *Fusarium*, *Fusarium solani* y *Fusarium oxysporum* causaron marchitez en plántulas de *Pinus spp.* Pudieron obtener estos resultados mediante la selección de pequeñas partes de raíces infectadas, posteriormente lograron el aislamiento, purificación y conservación de hongos; también realizaron pruebas de patogenicidad y caracterización molecular mediante la extracción de ADN, amplificación por PCR y secuenciación. Con la identificación morfológica se comprobaron los resultados, concluyendo que en *Pinus pseudostrobus* el hongo *Fusarium oxysporum* fue el que se encontró con mayor frecuencia.

Dewing *et al.*, (2022), argumentan que en investigaciones pasadas solo se tenía conocimiento de un grupo de *Fusarium* conocido como el complejo de especies *Fusarium fujikuroi* asociados con las gimnospermas de la familia de los pinos (Pinaceae), estos pinos son hospedantes de *Fusarium circinatum*, un patógeno económicamente importante, como ya se sabía hasta el momento.

López-Moreno *et al.*, (2019), demostraron que uno de los agentes causales de la enfermedad en el panel de pica de hule (*Hevea brasiliensis*) es *Fusarium circinatum*, sin

embargo, se requieren estudios adicionales para verificar su presencia en árboles tropicales no coníferas.

Martín-García *et al.*, (2018), evaluaron la susceptibilidad de tres especies de coníferas (*P. sylvestris*, *P. abies*, y *L. decidua*) provenientes de Republica Checa, las edades de las plántulas 1.5, 3.5 y 1.5 años de edad, con una clasificación genotípica “B”, se usaron suspensiones de esporas obtenidas de cajas Petri de 4-5 mm., con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) las cuales ya tenían desarrolladas colonias de *F. circinatum* una vez que se licuaron dichas colonias se utilizaron matraces Erlenmeyer, los cuales se colocaron en agitador orbital Shaker a 180 revoluciones por minuto, la concentración que se obtuvo fue 10^6 esporas ml^{-1} la evaluación de los síntomas se hizo semanalmente usando un índice de severidad el cual estaba constituido de cuatro escalas, las plántulas de *Pinus sylvestris* comenzaron a morir a los 37 días posteriores a la inoculación, las otras dos especies utilizadas no registraron mortandad tanto en las plantas inoculadas como en los testigos solo mostraron síntomas hasta la escala uno y dos del índice de severidad, los autores suponen que la baja mortalidad y grado de afectación en *P. abies*, y *L. decidua*, pudo deberse a la edad de las plántulas puesto que no eran tan pequeñas en comparación con otras evaluaciones en plántulas de menor edad.

Morandi *et al.*, (2018), evaluaron el efecto de estrategias de riego sobre la relación de intercambio gaseoso, el estado hídrico de la planta los componentes del rendimiento y la productividad del uso del agua en vides injertadas usando estrategias de riego, se aplicó riego continuamente al 100% el cual se consideró como aplicación testigo, la primera evaluación de riego fue la aplicación al 80% respecto al testigo, la segunda evaluación fue al 50% respecto al testigo y finalmente se evaluó la aplicación al 30% respecto al testigo, el uso de menos agua afecto de manera significativa tanto en la segunda y tercera aplicación de riego, teniendo reducción del peso y diámetro de las uvas, los autores consideran que los resultados muestran que las vides injertadas utilizadas para esta investigación eran tolerantes al estrés hídrico, aunque hubiese sido mejor si también se hubiesen contemplado las diferencias genotípicas entre los cultivos.

Ávila-Angulo *et al.* (2017), evaluaron el efecto de 3 niveles de riego en la etapa de endurecimiento sobre la calidad *Pinus oaxacana*, este estudio se realizó en los invernaderos del posgrado en Ciencias forestales del Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Estado de México, el manejo de planta en vivero incluyó riegos ligeros (1 a 3 cm., de profundidad) después de seis semanas se utilizaron riegos pesados para que las plantas se recuperaran del estrés hídrico al que habían sido sometidas (a capacidad de campo), los tratamientos de endurecimiento con distintos niveles de riego presentaron diferencias significativas, en contraste, las plantas con tratamientos de riego escaso tuvieron los valores menores de diámetro y peso seco total.

Dumroese *et al.* (2015), evaluaron diferentes niveles de riego en 70 especies diferentes de plantas en un vivero con capacidad de producción de 10 millones plantas, para lo cual fue necesario determinar el peso seco de los contenedores al igual que el peso de los contenedores cuando estos estaban regados a capacidad de campo, esto con la finalidad de realizar los cálculos adecuados de los distintos riegos que se ocuparían, una vez que se obtuvieron los datos fue posible conocer las cantidades de agua necesarias en distintas especies de plantas, ya que el exceso de riego puede causar enfermedades en las raíces al igual que en el follaje además de que puede propiciar las condiciones adecuadas para que proliferen insectos que son considerados vectores de enfermedades, también los nutrientes se encuentran en riesgo de perderse por medio de la lixiviación que se ve favorecida con este escenario, por otro lado la falta de riego puede favorecer la acumulación de sales en el sustrato utilizado lo cual afectaría el sistema radicular de las plantas que a su vez puede provocar la muerte de las mismas, desde esta perspectiva se hizo notoria la importancia del uso adecuado del riego al conocer cuando y cuanto era necesario aplicar riego

Escamilla-Hernández *et al.* (2015), analizaron el efecto de tres fertilizantes de liberación controlada con tres dosis (baja, media y alta) en plantas de teca (*Tectona grandis* L. f.), el sustrato base fue mezcla de vermiculita, agrolita y turba de mugo, puesto que la fertilización es el segundo factor considerado después del riego se considera necesario conocer las dosis adecuadas para producción de planta de calidad, para ello se ocupó semilla certificada procedente del Centro Agronómico Tropical de Investigación y

Enseñanza (CATIE), al realizar la extracción de las plántulas de los sustratos para realizar los índices de calidad de planta se obtuvo que los valores en índice de robustez tuvo una variación entre 1.7 y 3.3, lo cual indica que obtuvieron buena calidad según el índice de calidad de robustez, la relación peso seco aéreo y peso seco radical presentaban datos que al interpretarlos sugieren que las raíces son de buena calidad para poder transportar nutrientes a la parte aérea, en base al índice de calidad de Dickson se pudo determinar que las plantas fertilizadas con Basocote tuvieron mejores resultados, las fertilizadas con Osmocote tuvieron buenos resultados aunque se pudo observar que este fertilizante se liberó con mayor velocidad que los otros dos, en los sustratos en los que se aplicó Multicote el desarrollo de las plantas no se consideró favorable puesto que analizando los índices de calidad de planta se llegó a la conclusión que estas eran de mala calidad.

Jesús-Reyes et al. (2018), evaluaron el uso de fertilizantes hidrosolubles y los de liberación controlada para producción de *Prosopis laevigata* (Mezquite) usando como sustrato la mezcla de turba de musgo y corteza de pino en proporción 50:50, con ello se pudieron establecer nueve tratamientos, las dosis de fertilizantes de liberación controlada fueron 3 y 6 g L⁻¹ distribuidos en todos los tratamientos a excepción del tratamiento uno que se utilizó como testigo, en dichos tratamientos se aplicaron los tres distintos fertilizantes hidrosolubles cada 48 horas en dosis de 100 mg L⁻¹, las dosis de fertilización controlada no mostraron diferencias significativas entre ellas, los fertilizantes hidrosolubles fueron similares al testigo que solo se le aplicó agua, puesto que los fertilizantes hidrosolubles son más costosos los autores recomiendan el uso de fertilizantes de liberación controlada puesto que disminuye el costo de producción de planta logrando la producción de plantas de buena calidad.

2.3 Literatura citada

Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete A., Martínez-Trinidad, T. & Ordaz-Chaparro, V.M. 2017. "Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada." *Revista mexicana de ciencias forestales* 7(34):007–019. doi: 10.29298/rmcf.v7i34.79.

Aloi, F., Zamora-Ballesteros, C., Martín-García, J., Diez, J. J., Cacciola, S. O., Ospina-Giraldo, M., & Castillo, P. 2021. "Co-Infections by *Fusarium circinatum* & *Phytophthora* spp. on *Pinus radiata*: Complex phenotypic and molecular interactions." *Plants* 22;10(10). doi: 10.3390/plants10101976.

Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., & Velázquez-Martínez, A. 2017. Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery." *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* vol.23, (2007-4018.): pp.221-229. doi: 10.5154/r.rchscfa.2016.05.029.

Carrasco, A., Sanfuentes, E., Durán, Á., & Valenzuela S. 2016. "Cancro resinoso del pino: ¿una amenaza potencial para las plantaciones de *Pinus radiata* en Chile?" *Gayana botánica* vol.73 no. (0016–5301):369–80. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000200369>.

Dewing, C., Van der Nest, M. A., Santana, Q. C., Proctor, R. H., Wingfield, B. D., Steenkamp, E. T., & De Vos, L. 2022. Characterization of host-specific genes from pine-and grass-associated species of the *Fusarium fujikuroi* species complex. doi: 10.3390/pathogens11080858.

Dumroese, R. K., Pinto, J. R., & Montville, M. E. 2015. Using container weights to determine irrigation needs: a simple method. *Native Plants Journal* 16(1):67–71. doi: 10.3368/npj.16.1.67.

Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carrillo-Ávila, E., & Palma-López, D. J. 2015. Effect of controlled release fertilizers on growth of teak plants (*Tectona grandis*) on nursery. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329-333.

Flores Pacheco, J. A. 2015. Evaluación de la susceptibilidad de procedencias europeas de *Pinus sylvestris* frente al cancro resinoso del pino (*Fusarium circinatum*). Recuperado en <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/15092>

Flores-Pacheco, J. A. 2017. "Chancro resinoso del pino (*Fusarium circinatum*) historia, evolución, dispersión y estrategias de manejo." *Nexo revista científica* 30(01):19–42. doi: 10.5377/nexo. v 30i01.5170.

Flores-Pacheco, J. A. 2017. Antagonismo in vitro de hongos endófitos para su uso en el biocontrol de enfermedades forestales. *Revista científica de FAREM-Estelí* (23):58–71. doi: 10.5377/farem.v0i23.5475.

García-Díaz, S. E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel J. T., Valdovinos-Ponce, G., & Equihua-Martínez, A. 2017. Effect of *Fusarium circinatum* on germination and growth of *Pinus greggii* seedlings in three substrates. *Agrociencia* 51(8):895–908. Recuperado a partir de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952017000800895&script=sci_arttext&tlng=en

González-Orozco, M. M., Prieto-Ruiz J. Á., Aldrete A., Hernández-Díaz J. C., Chávez-Simental J. A., & Rodríguez-Laguna, R. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero." *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48), 203-225. doi: 10.29298/rmcf.v8i48.125.

Jahromi, N. B., Fulcher, A., Walker, F., Altland, J., Wright, W., & Eash, N. 2018. Evaluating on-demand irrigation systems for container-grown woody plants grown in biochar-amended pine bark. *HortScience* 53(12):1891–96. doi: 10.21273/HORTSCI13541-18.

Jesús-Reyes, G. D., Prieto-Ruiz, J. Á., Vázquez-Cisneros, I., López-López, M. Á., Hernández-Díaz, J. C., & Chávez Simental, J. A. 2018. Fertilization alternatives to produce *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol.* 9(49):18. doi: 10.29298/rmcf.v9i49.175.

Kain, G., Morandini, M., Stamminger, A., Granig, T., Tudor, E. M., Schnabel, T., & Petutschnigg, A. 2021. "Production and physical–mechanical characterization of Peat moss (sphagnum) insulation panels." *Materials* 14(21):1–12. doi: 10.3390/ma14216601.

Leslie, J. F., & Summerell, B. A. 2008. *The Fusarium Laboratory Manual*. Publishing. edited by John Wiley & Sons. Recuperado a partir de https://books.google.es/books?id=Yu3cBAAAQBAJ&printsec=copyright&hl=es&source=gsb_pub_info_r#v=onepage&q&f=false

López-Moreno, B., Gutiérrez-Contreras, M., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Guzmán-de-Casa, A., García-Saucedo, P. A., & Ávila-Val, T. D. C. 2019. Nuevos causantes de la pudrición en panel de pica en hule: caso *Fusarium Spp*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (23):277–89. doi: 10.29312/remexca. v 0i23.2027.

Castro-Garibay, S. L., Aldrete, A., López-Upton, J., & Ordaz-Chaparro V. M. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques* 25, n:10. doi: 10.21829/myb/2019.2521520.

Martínez, M. 1992. Los Pinos Mexicanos. *México* 3ra edición. *Librería y ediciones botas, S.A de C.V.* (isbn 968-6334-19-x):378. Recuperado a partir de <https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=63346>

Martín-García, J., Lukačevićová, A., Flores-Pacheco, J. A., Julio Javier Diez, J. J., & Dvořák, M. 2018. Evaluation of the susceptibility of several Czech conifer provenances to *Fusarium circinatum*. *Forests* 9(2):1–11. doi: 10.3390/f9020072.

Morandi, B., Arzani A., Ortega-Farías, S., Zúñiga, M., Fuentes, S., Riveros-Burgos, C., & Poblete-Echeverría, C. 2018. Effects of three irrigation strategies on gas exchange relationships, plant water status, yield components and water productivity on grafted

carménère grapevines. *Frontiers in plant science*, 9, 992. doi: 10.3389/fpls.2018.00992.

Pineda-Pineda, J., Felipe Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Carmen Moreno-Pérez, E. D. C. 2012. aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo.” *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1):95–111. Recuperado a partir de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2012000100007&script=sci_arttext

Robles-Yerena, L., Leyva-Mir, S. G., Cruz-Gómez; A., Nieto-Ángel, D., & 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. doi: 10.29298/rmcf.v7i36.57.

Rodríguez, I. C., & Flores, J. 2018. “Capacidad antagónica in vitro de *Trichoderma spp.* frente a *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Fusarium Verticillioides* Nirenberg.” *Bioagro* 30(1):49–58. Recuperado a partir de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100005&script=sci_arttext

Tapia, C., and Amaro, J. 2014. “*Fusarium Spp.*” *Revista Chilena de Infectología* 31(1):85–86. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>.

Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., & Martínez-Escudero, E. 2015. Situación actual en el Control de *Fusarium spp.* y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales.” *Acta Agronómica* 64(2), 194:205. doi: 10.15446/acag.v64n2.43358.

CAPÍTULO 3 Tres niveles de riego en *Pinus devoniana* con dos dosis de fertilización en presencia y ausencia de *Fusarium circinatum*

3.1 Resumen

Introducción: *F. circinatum* (Nirenberg y O'Donnell), es uno de los principales patógenos en viveros con árboles de *Pinus*, los factores que pueden influir en la incidencia, son la cantidad de agua durante el riego y las dosis de fertilización.

Objetivo: evaluar tres niveles de riego y dos de nutrición, en presencia y ausencia del hongo.

Metodología: la siembra de semillas de *Pinus devoniana* (Lindley), se realizó el 11 de junio de 2021. Se utilizaron charolas de 25 tubetes de 220 ml. El sustrato fue con base en aserrín, turba y corteza (60:20:20). El fertilizante fue Multicote®. El diseño experimental fue parcelas subdivididas, con 12 tratamientos y cuatro repeticiones, la mitad inoculado con el patógeno a cuatro meses de edad el pino. Las mediciones para registrar la incidencia se hicieron durante 5 meses.

Resultados: la interacción del riego, dosis de fertilización e inoculación fue significativa ($p \leq 0.05$) en los tratamientos al 70%, en comparación con los niveles de riego al 100% y 80%. Concluido el experimento, se realizó el análisis nutrimental de N, P y K, identificando valores altos en P y K; en N los fueron bajos, en los índices de calidad de planta, fue bajo el índice de robustez y alto en la relación PSA/PSR y el índice de calidad de Dickson.

Conclusión: el riego al 100% tuvo menor incidencia, con fertilización a 7g/L, presentó mejor control del patógeno, la concentración de P y K resultó alto y N bajo, debido a la materia orgánica presente en el sustrato.

Palabras clave: patógeno, pino, postulados, caracterización morfológica, aserrín.

Palabras clave: patógeno, cepa, plantas, postulados, morfológica, sustrato.

CHAPTER 3 Three irrigation levels on *Pinus devoniana* with two fertilization doses in the presence and absence of *Fusarium circinatum*

3.1.1 Abstract

Introduction: *F. circinatum* (Nirenberg and O'Donnell) is one of the main pathogens in nurseries with *Pinus* trees, the factors that can influence the incidence are the amount of water during irrigation and fertilization doses.

Objective: to evaluate three levels of irrigation and two levels of nutrition, in the presence and absence of the fungus.

Methodology: *Pinus devoniana* (Lindley) seeds were sown on June 11, 2021. Trays of 25 tubes of 220 ml were used. The substrate was based on sawdust, peat and bark (60:20:20). The fertilizer was Multicote®. The experimental design was subdivided plots, with 12 treatments and four replicates, half of which were inoculated with the pathogen at four months of age. Measurements to record the incidence were made during 5 months.

Results: the interaction of irrigation, fertilization dose and inoculation was significant ($p \leq 0.05$) in the 70% treatments, compared to the 100% and 80% irrigation levels. At the end of the experiment, the nutritional analysis of N, P and K was carried out, identifying high values for P and K, low values for N, low values for the robustness index and high values for the PSA/PSR ratio and Dickson's quality index.

Conclusión: el riego al 100% tuvo menor incidencia, con fertilización a 7g/L, presentó mejor control del patógeno, la concentración de P y K resultó alto y N bajo, debido a la materia orgánica presente en el sustrato.

Keywords: pathogen, strain, plants, postulates, morphological, substrate.

3.2 Introducción

A nivel nacional, los viveros forestales han tomado gran relevancia gracias a los programas de reforestación ya que se encargan de la producción de la planta que será utilizada en ellos, esta deberá contar con las características necesarias para su supervivencia en campo, y es precisamente en el vivero donde se le proporcionan los cuidados necesarios para que pueda considerarse como planta de calidad, por lo que su estadía aquí será crucial para el éxito del programa (Rojas-Rodríguez, 2006).

Existen dos factores muy importantes a considerar en la producción de planta, el primero es la sanidad, ya que existen patógenos que atacan durante la etapa de vivero y pueden provocar graves pérdidas en la producción, los más sobresalientes son los hongos y, uno de los más peligrosos es *Fusarium circinatum*, quien provoca una enfermedad conocida como “Secadera” que puede verse favorecida por un mal manejo en la fertilización y por estrés hídrico (Vivas & Solla, 2009); el segundo factor es la calidad de planta, esta evaluación deberá realizarse previa al trasplante, en ella se analizarán características morfológicas y fisiológicas en base a parámetros propios del tipo de crecimiento de la especie, las cuales podrán conjuntarse en índices como el de “esbeltez” y de “Calidad de Dickson” (Sáenz-Reyes *et al.*, 2014).

Fusarium circinatum, es un hongo ascomicete cosmopolita que ataca al género *Pinus* spp. en las diferentes etapas de su ciclo de vida; durante la fase de vivero afecta tanto en preemergencia, dañando al embrión y evitando la germinación, como en post emergencia, donde provoca constricción del tallo a nivel de cuello y pudre el sistema radical (García-Díaz *et al.*, 2017), debido a su importancia se ha recurrido a la búsqueda de estrategias que permitan conocer mejor al hongo y con base a eso su control, algunas de ellas se enfocan al manejo de la intensidad de riego y de la dosis de fertilización aplicada al sustrato.

Dumroese *et al.*, 2015, realizaron una evaluación para conocer las necesidades de riego de la producción en base al peso referido de las charolas donde se encuentran desarrollándose las plántulas; Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016, evaluaron el efecto que tiene la aplicación de fertilizantes de liberación controlada en diferentes sustratos y su

efecto en el desarrollo de *Pinus montezumae*; finalmente, Zuñiga, *et al.*, 2018 quienes evaluaron la productividad de uva en relación con las estrategias de riego.

Se esperaba que al terminar la fase experimental de este proyecto la población con menor incidencia sea aquella desarrollada en los tratamientos donde se aplicó el riego al 80% y la dosis de fertilización con 7 g/L. Las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio presentarán deficiencias nutricionales en contraste con los niveles iniciales al montar el experimento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto causado por la aplicación de tres niveles de riego y dos niveles de nutrición, en plántulas de *Pinus devoniana* (Lindley), sobre la patogenicidad presentada en la población, la calidad de planta evaluada a partir de índices morfológicos y la concentración de N, P y K en sustrato.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Área de estudio

El 11 de junio de 2021 se estableció el experimento en los invernaderos de la División de Ciencias Forestales (DiCiFo) de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México, localizados en las coordenadas geográficas 19° 29' 34" N y 98° 53' 38" O, a una altitud de 2240 msnm, donde la temperatura anual varía de 6° C a 26° C, temperatura media anual de 15.9° C, con una precipitación media anual de 682.0 mm. (Conagua 2022)

Figura 2. Mapa que destaca el estado de México, fuente: travelbymexico.com

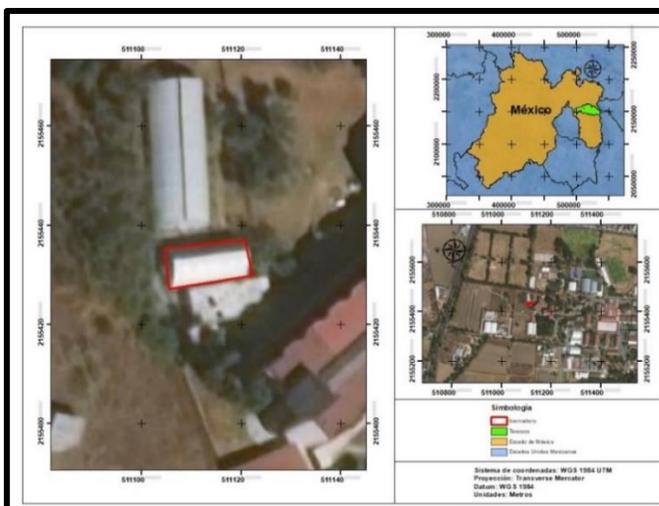


Figura 3. División de Ciencias Forestales (DiCiFo), elaborado en ArcGis

3.3.2 Diseño y análisis del experimento

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño experimental en parcelas subdividas Se evaluaron tres niveles de riego (100%, 80% y 70%), dos dosis de fertilización (3.5% y 7%) y la inoculación de *Fusarium circinatum* (con y sin) de tal manera que se generaron doce tratamientos y se realizaron cuatro repeticiones. Cada repetición estuvo compuesta por 25 cavidades porta tubetes y la unidad experimental estuvo constituida por las cinco plantas elegidas al azar de cada repetición (veinte plántulas por tratamiento), dando un total de 240 plántulas evaluadas en todo el experimento. Para el análisis de la información se utilizó un modelo mixto y para la comparación de medias se empleó el método de Tukey.

Los diseños de parcelas divididas son necesarios cuando los niveles de algunos factores de tratamiento son más difíciles de cambiar durante el experimento que las de los demás. En un diseño de parcelas divididas, las unidades experimentales se denominan parcelas divididas y se anidan dentro de parcelas completas, que a su vez pueden o no estar anidadas dentro de bloques (Dean *et al.*, 2017).

Las parcelas divididas dentro de cada parcela completa se asignan al azar a los niveles de uno o más de los factores que se evalúan. Los niveles de otros factores de tratamiento se asignan a parcelas enteras y permanecen constantes para todas las parcelas divididas dentro de una parcela completa. Por lo general, estos serán los factores cuyos niveles

son difíciles de cambiar, y los efectos de sus niveles se comparan con menos precisión que los asignados a las parcelas divididas (Dean *et al.*, 2017).

En esta investigación, fue necesario utilizar este diseño experimental debido a que se tienen 3 factores importantes sobre la incidencia de *F. circinatum* en plantas de *P. devoniana*, teniendo 3 parcelas que son representadas por los tres niveles de riego, y dos factores con dos niveles cada uno, la fertilización (alta y baja) y la inoculación del patógeno (con y sin).

La hipótesis nula respecto a los diferentes factores incluidos en el modelo es que, no existe significancia del riego, fertilización, e inoculación del patógeno en la incidencia del hongo *F. circinatum*. Mientras que la hipótesis alternativa es que, todos estos factores mencionados en algún nivel presentan un efecto sobre la incidencia y por lo tanto mortalidad de la planta por el patógeno.

3.3.2.1 Modelo estadístico

$$y_{ijRl} = \mu + \alpha_i + \delta_{ik} + \tau_j + (\alpha \tau)_{ij} + \varphi_{ijl} + \beta_m + (\alpha \beta)_{im} + (\tau \beta)_{jm} + (\alpha \tau \beta)_{ijm} + \varepsilon_{ijml}$$

$\mu =$	Media general
$\alpha_i =$	Efecto de la parcela grande (riego)
$\delta_{ik} =$	Error aleatorio de la parcela grande
$\tau_j =$	Efecto de la parcela chica (fertilización)
$(\alpha \tau)_{ij} =$	Efecto de la interacción entre parcela grande y chica
$\varphi_{ijl} =$	Error aleatorio de la parcela chica
$\beta_m =$	Efecto de la inoculación
$(\alpha \beta)_{im} =$	Efecto de la interacción parcela grande con inoculación
$(\tau \beta)_{jm} =$	Efecto de la interacción parcela chica con inoculación
$(\alpha \tau \beta)_{ijm} =$	Efecto de la interacción parcela grande, chica e inoculación
$\varepsilon_{ijml} =$	Error aleatorio

3.3.3 Contenedores empleados

Se ocuparon 48 charolas en total, acomodadas de la siguiente manera: 24 charolas llenadas con sustrato base de aserrín de pino que llevaron 3.5 g L⁻¹ de Multicote /

Siembra, otras 24 charolas con aserrín de pino que llevaron 7.0 g L^{-1} de Multicote / Siembra, cada charola contuvo 25 tubetes plásticos con capacidad de 220 ml las charolas fueron distribuidas en 12 tratamientos con cuatro repeticiones, los tratamientos uno, dos, tres, cuatro, cinco y seis tenían la dosis de fertilización de 3.5 g L^{-1} de Multicote al sustrato y con los niveles de riego, 100% (tradicional), al 80% y 70% respectivamente, los tratamientos siete, ocho, nueve, diez, once y doce tenían la dosis de fertilización de 7.0 g L^{-1} de Multicote al sustrato también incluían los niveles de riego anteriormente mencionados, al igual que la presencia y ausencia del hongo patogénico.

3.3.4 Sustrato y semilla

Se realizó una mezcla de aserrín de pino + turba de musgo + corteza de pino, en proporción 60:20:20, esta mezcla se dividió en dos partes, a una se le agrego Multicote® (18N-6P-12K+ME), como fertilizante, con tiempo de liberación de 8 a 9 meses en dosis 3.5 g L^{-1} y a la otra parte una dosis de 7.0 g L^{-1} . Posteriormente se procedió a lavar las semillas usando hipoclorito de sodio al 6% durante 10 minutos, una vez hecho esto las semillas se dejaron en remojo durante 24 horas, transcurrido este tiempo se realizó una segunda desinfección con hipoclorito de sodio al 3% durante cinco minutos, las semillas se obtuvieron del vivero forestal Atzimba, ubicado en el municipio de Zinapécuaro, Michoacán, los tubetes se llenaron en las rejillas y estas se separaron conforme a la dosis de fertilización correspondiente quedando las rejillas con dosis de fertilización 3.5 g L^{-1} de lado derecho y las de 7.0 g L^{-1} al lado izquierdo si se ve desde la entrada del vivero, una vez que se tuvo ese orden se procedió a sembrar dos semillas de *Pinus devoniana* de manera directa por tubete dando un total de 50 semillas sembradas por rejilla o 200 por tratamiento, terminado el proceso de siembra se realizó un riego pesado a todo el experimento y riegos moderados cada tercer día hasta que se realizara la inoculación; 39 días después y una vez que las semillas terminaron a germinar, se realizó el repique dejando una sola planta por tubete teniendo en total 1,200 plantas en total por todo el experimento.

3.3.5 Experimento (Riego, Fertilización y *F. circinatum*)

Como primer factor se evaluó el riego que incluía 3 niveles: los cuales son (Riego 1) esquema tradicional (diario), (Riego 2) aplicado cuando el peso de las charolas era inferior al 80% en relación con el peso de las charolas regadas a saturación, (R3), aplicado cuando el peso de las charolas fue menor a 70% en relación con el peso de estas a saturación, el segundo factor que se consideró fueron dos diferentes tipos (dosis) de fertilización: las cuales son, dosis baja de (3.5 g / L de sustrato) y la dosis alta de (7 g / L de sustrato). El sustrato utilizado en todos los tratamientos estaba compuesto por, aserrín de pino, turba de musgo y corteza de pino en una proporción de 60:20:20; El tercer factor considerado fue la presencia de *F. circinatum*, el cual corresponde a los tratamientos inoculados, mientras que la ausencia del patógeno fueron los tratamientos que no se inocularon.

3.3.6 Calculo para aplicación de riego

Los niveles de riegos aplicados se calcularon en base a la fórmula de Dumroese *et al.* (2015), la cual consiste en regar las charolas a saturación y posteriormente pesarlas, el riego a saturación se tomó como el riego al 100%, posteriormente se determinaron los porcentajes de 80% y 70%, calculando el valor de la charola a capacidad de campo por el porcentaje de riego objetivo, con lo cual obteníamos el peso objetivo sin ajuste, el cual se multiplico por el peso de charola vacía, de este modo se llegó al peso objetivo, los riegos al 80% tuvo como resultado 4.09 kg y en el 70% el resultado fue 3.58 kg.

Donde

CCC = Charola a capacidad de campo

PRO = Porcentaje de riego objetivo

POSA = Peso objetivo sin ajuste

PCV = Peso de charola vacía

$$(CCC * PRO = POSA * PCV) = \text{Agua aplicada respecto al porcentaje objetivo}$$

3.3.7 Cepa de *Fusarium circinatum*

Para la preparación del inóculo se reactivaron cepas del laboratorio de Patología Forestal de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, con ayuda de un mechero, agujas de disección, cajas Petri con medio de cultivo (PDA) de marca

comercial Bioxon® previamente preparadas, una vez que las colonias crecieron se realizaron pruebas de patogenicidad, para ello se colectaron plántulas sanas de *Pinus devoniana* con cuatro meses de edad, a dichas plantas se les aplicó *F. circinatum* realizando el licuado y se inoculó a las plantas por medio de los métodos de punción en la base de las acículas, directo al sustrato, y del método de discos en la base del tallo, posteriormente se metieron en una cámara húmeda durante un día para favorecer el desarrollo del patógeno, 15 días después estas plantas presentaron doblamiento del brote principal y coloración rojiza en el follaje, así como pudrición en tallo y raíz, los cuales fueron seccionados en fragmentos de 6 mm, posteriormente, dichos fragmentos se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 3%, se les realizó un triple lavado con agua destilada estéril, se secaron totalmente con toallas absorbentes esterilizadas y se colocaron en cajas Petri con PDA (Papa Dextrosa y Agar) como medio de cultivo, y se incubaron durante 10 días a una temperatura de 10°C dentro del Laboratorio de Entomología y Patología de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, todo esto con la finalidad de obtener un aislamiento codificado como F5-T9-R3, el cual se incrementó en 15 cajas Petri con PDA hasta obtener una colonia de *F. circinatum* que abarcara en su totalidad la base de la caja Petri; todo el procedimiento se realizó en laboratorio y condiciones asépticas basado en la metodología de García., *et al* (2017).

3.3.8 Inoculación con *F. circinatum* a plántulas de *P. devoniana*

Una vez determinada la cepa y el método de inoculación más efectivo en cuanto a patogenicidad se realizaron a reaislamientos de la cepa F5-T9-R3 en doce cajas Petri con medio de cultivo PDA para que se desarrollara durante quince días, al término de estos se procedió a corroborar el desarrollo de dichas colonias y cuando cubrieron toda la caja Petri, estas se vertieron en una licuadora marca Osterizer® en la cual se procedió a licuar las colonias de la cepa patogénica, el licuado se vació en 12 litros de agua destilada y se mezcló homogéneamente, de dicha mezcla se tomaron dos muestras para realizar el conteo de conidios utilizando la cámara de Neubauer y con ayuda de un microscopio compuesto se observaron los conidios presentes. Con base en número de conidios encontrados fue posible determinar que la inoculación debía estar a una

concentración de 4×10^5 /ml, utilizando una jeringa aséptica se tomaron 20 mililitros de la mezcla del licuado de las colonias patogénicas y se aplicaron a cada tubete, esto se realizó con base en una prueba de lixiviación, previamente hecha en los tratamientos, resultando 20 ml como la cantidad requerida por los tubetes para que comenzaran a gotear. Los seis tratamientos inoculados fueron los impares, con sus diferentes niveles de riego, 100% (diario), 80% y 70% y las dos dosis de fertilización (alta y baja), las charolas se acomodaron de acuerdo con un patrón de aleatorización, que también consideró los tratamientos con ausencia del patógeno. Solo se tomó en cuenta que no debían salir de la parcela a la que pertenecían, misma que fue determinada por el tipo de riego que estaba siendo utilizado, la inoculación se realizó a los cuatro meses posteriores al término de la germinación.

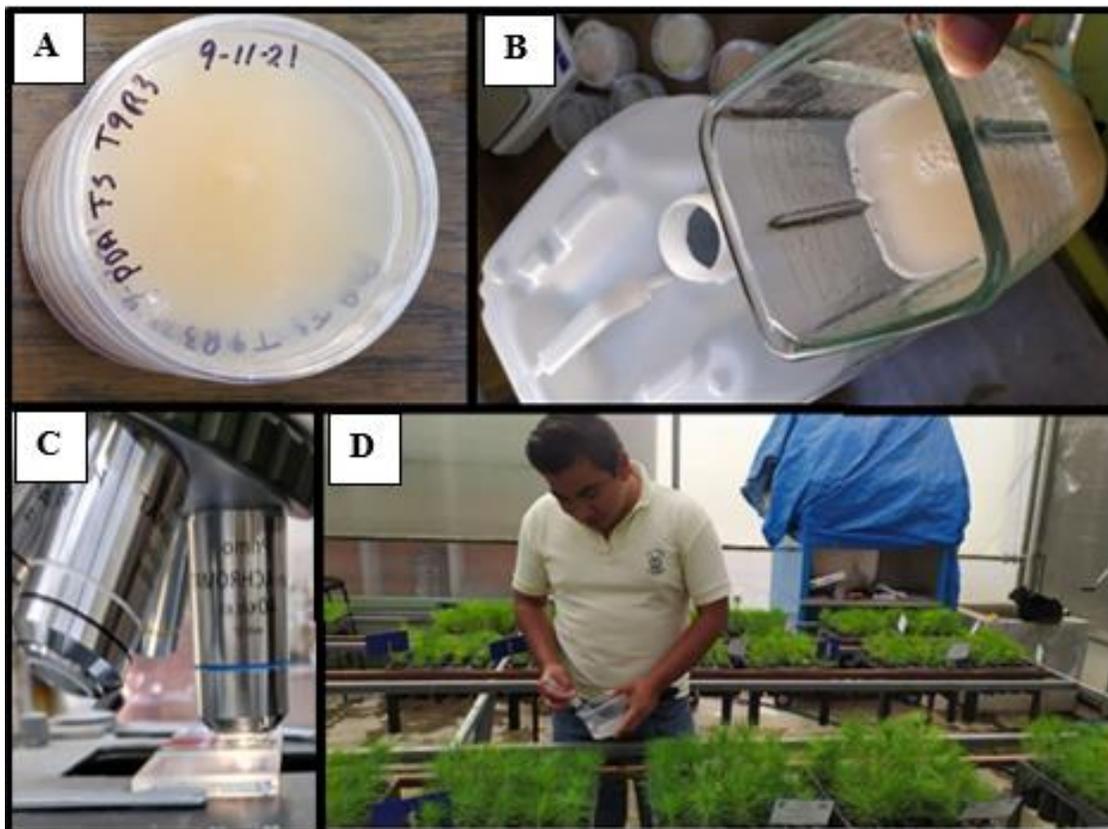


Figura 4. Preparación del inoculo de *F. circinatum*. A) cajas Petri con colonias del patógeno; B) Licuado del patógeno y vaciado en agua destilada; C) Toma de muestra y conteo de conidios presentes para calcular la concentración; D) Aplicación de 20 ml., del inoculo en las plantas.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos

Número de tratamiento	Composición de los tratamientos	Clave
Tratamiento 1	Riego tradicional + Multicote al 3.5% + <i>F. circinatum</i>	R100, 3.5 g, Fc.
Tratamiento 2	Riego tradicional + Multicote al 3.5%	R100, 3.5 g
Tratamiento 3	Riego al 80% + Multicote al 3.5% + <i>F. circinatum</i>	R80, 3.5 g, Fc.
Tratamiento 4	Riego al 80% + Multicote al 3.5%	R80, 3.5 g
Tratamiento 5	Riego al 70% + Multicote al 3.5% + <i>F. circinatum</i>	R70, 3.5 g, Fc.
Tratamiento 6	Riego al 70% + Multicote al 3.5%	R70, 3.5 g
Tratamiento 7	Riego tradicional + Multicote al 7% + <i>F. circinatum</i>	R100, 7 g, Fc.
Tratamiento 8	Riego tradicional + Multicote al 7%	R100, 7 g
Tratamiento 9	Riego al 80% + Multicote al 7% + <i>F. circinatum</i>	R80, 7 g, Fc.
Tratamiento 10	Riego al 80% + Multicote al 7%	R80, 7 g
Tratamiento 11	Riego al 70% + Multicote al 7% + <i>F. circinatum</i>	R70, 7 g, Fc.
Tratamiento 12	Riego al 70% + Multicote al 7%	R70, 7 g

Número de tratamiento = Tratamientos del 1 – 12; Composición de los tratamientos = Nivel de riego, dosis de fertilizante e inoculación o no inoculación aplicada a los tratamientos.

3.3.9 Postulados de Koch, purificación y preservación de cepa de *F. circinatum*

Se sembraron porciones de raíz de las plántulas enfermas en medio de cultivo PDA con sulfato de estreptomicina® (0.05 mg por litro), que previamente fueron cortadas a un centímetro de largo aproximadamente, se desinfectaron durante un minuto en hipoclorito de sodio al 3% posteriormente se lavaron tres veces en agua destilada estéril para finalmente secarse en toallas Sanitas® esterilizadas, dichas siembras se dejaron en desarrollo durante 12 días, para el re-aislamiento del patógeno y corroborar los postulados de Koch, una vez desarrolladas las colonias se extrajeron discos de la cepa con ayuda de un saca bocados de cinco mm de diámetro, las cuales se colocaron en cajas Petri con PDA para purificar la cepa del patógeno y de este modo evitar contaminación de la misma, para lograrlo se dejaron a 28° C en el cuarto de siembra con iluminación durante 288 horas, obtenidos los aislamientos puros se procedió a realizar la transferencia nuevamente usando la técnica de extracción de discos ya descrita, en cajas Petri con triple división y tres medios de cultivo distintos para que se desarrollasen las diferentes estructuras del patógeno, los medios de cultivo previamente preparados estaban compuestos de PDA (Papa Dextrosa Agar), CLA (Agua Agar con hojas de clavel)

y SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar). Esto se realizó en base a la descripción realizada por (Koch, 1876) y corroborada por diversos autores.

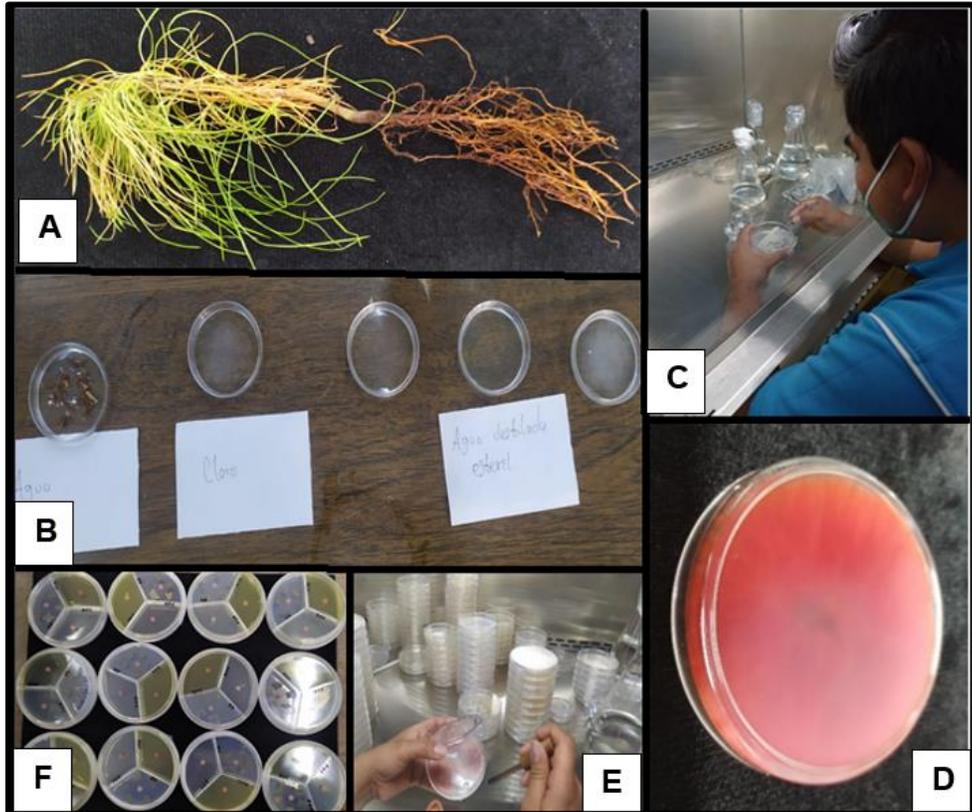


Figura 5. Procedimiento realizado para formación de estructuras de *F. circinatum*. A) Planta con síntomas de la enfermedad; B) Lavado de trozos de raíz obtenidos de la planta enferma; C) Siembra de raíces lavadas en medio de cultivo PDA; D) Aislado purificado de *F. circinatum*; E) Extracción de discos para colocar en tres medios de cultivo; F) Colonias desarrolladas de *F. circinatum* en PDA, CLA y SNA.

3.3.10 Caracterización morfológica de *F. circinatum*

Posterior al desarrollo de la cepa de *F. circinatum* en los tres medios de cultivos se realizaron preparaciones tomando micelio de los distintos medios ocupando porta objetos, glicerina, aguja de disección, la extracción de micelio y cubre objetos, fue necesario realizar diez preparaciones de cada medio de cultivo, para lo cual se utilizó la campana de flujo laminar vertical de la marca Lumistell® modelo LVC-90e clase II Tipo A2, dichas preparaciones se procedieron a observar en un microscopio compuesto marca Leica modelo DM 2500® para observar las estructuras desarrolladas, las cuales fueron conidióforos, fiálides, circinas, además de la presencia de esporodocios los cuales

debido a su tamaño fueron captados con un microscopio estereoscópico marca Leica modelo M80®.

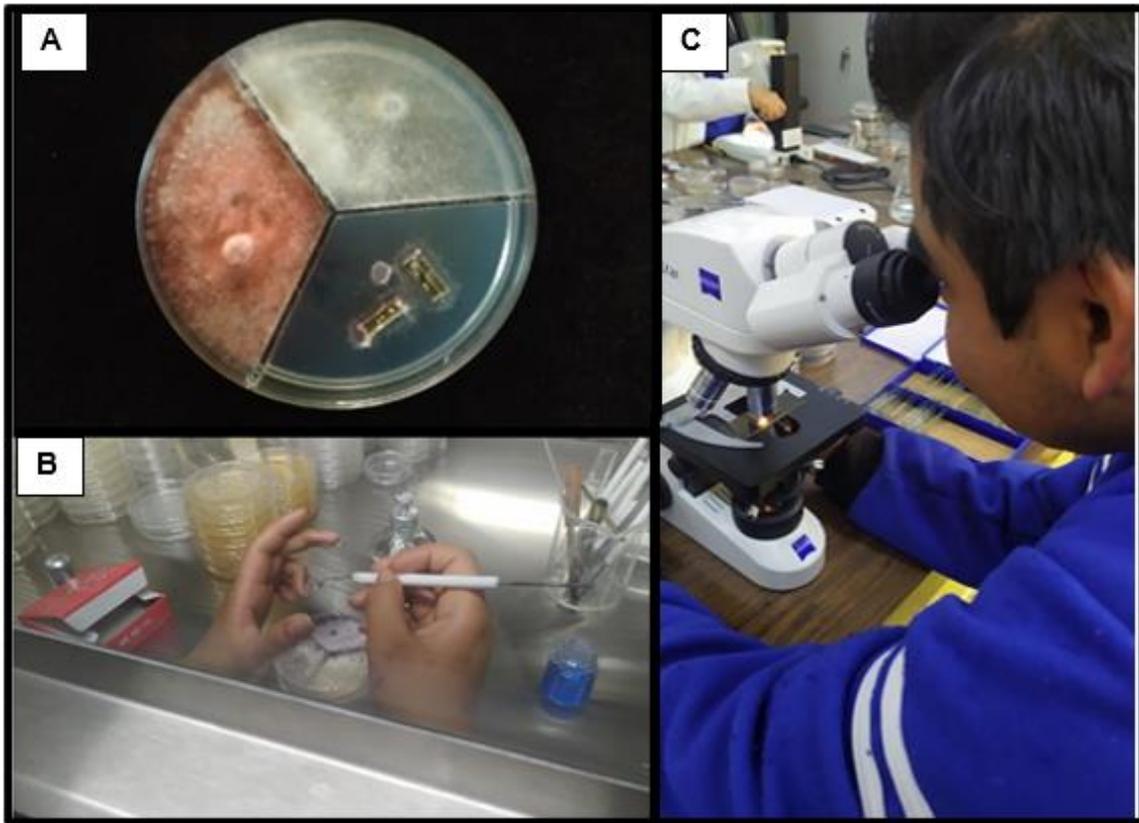


Figura 6. Preparaciones utilizadas para revisar estructuras de *F. circinatum*. A) Estructuras desarrolladas en medios de cultivo PDA, CLA y SNA; B) Preparaciones realizadas de los tres medios de cultivo; C) Observación de estructuras de las distintas preparaciones.

3.3.11 Patogenicidad e incidencia de *Fusarium circinatum*

La patogenicidad de la cepa *Fusarium circinatum* empleada, se determinó por su capacidad para causar enfermedad, mediante los síntomas típicos ocasionados por *F. circinatum*, para ello se realizó el registro semanal de síntomas de las plantas inoculadas. Para determinar el efecto de los tratamientos se evaluó diaria y semanalmente la incidencia de *F. circinatum* y se obtuvo el porcentaje acumulado de plantas enfermas. La evaluación de incidencia y patogenicidad se realizó desde finales de noviembre de 2021 hasta finales de abril de 2022.

Mediante la fórmula de Townsend & Heuberger. (1943), se pudo determinar el porcentaje de severidad presente por tratamiento, la cual se describe a continuación.

$$GIAE(\%) = \left[\sum (n * v) / (N * V) \right] \times 100$$

Donde:

n = Grado de infección acorde a la escala

v = Número de plantas por categoría

N = Grado máximo de infección

V= Número total de plantas



Figura 7. Escalas de daños ocasionados por *F. circinatum*. A) Planta sana, escala 0; B) Planta con doblamiento del ápice, escala 1; C) Planta con amarillamiento, escala 2; D) Plantas con puntas secas y marchitamiento inicial en la planta, escala 3; E) Planta muerta, escala 4.

Para ello fue necesario realizar un índice de severidad basado en el que menciona Robles Yerena et al. (2017), en el cual se registraron los síntomas y mortandad presentes en las plantas, clasificados con escalas las cuales fueron; clase 0 = 0% de daño (la cual se considera que son plantas asintomáticas), clase 1 = 25% de daño (las cuales tenían

las acículas del ápice dobladas o caídas), clase 2 = 50% de daño (con clorosis o amarillamiento), clase 3 = 75% de daño (las puntas aparentaban estar secas, y comenzaban a marchitarse las plantas), clase 4 = 100% de daño (la planta murió).

Cuadro 2. Clasificación de infestación observada por *F. circinatum*

Número de tratamiento	Clave	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Tratamiento 1	R100, 3.5 g, Fc.	75	7	4	10	4
Tratamiento 2	R100, 3.5 g	98	1	0	1	0
Tratamiento 3	R80, 3.5 g, Fc.	56	7	17	12	8
Tratamiento 4	R80, 3.5 g	97	1	1	1	0
Tratamiento 5	R70, 3.5 g, Fc.	30	7	15	19	29
Tratamiento 6	R70, 3.5 g	68	12	13	7	0
Tratamiento 7	R100, 7 g, Fc.	78	1	5	8	8
Tratamiento 8	R100, 7 g	99	0	0	1	0
Tratamiento 9	R80, 7 g, Fc.	75	2	6	10	7
Tratamiento 10	R80, 7 g	99	0	1	0	0
Tratamiento 11	R70, 7 g, Fc.	28	9	13	20	30
Tratamiento 12	R70, 7 g	93	2	3	2	0
Total	N/A	896	49	78	91	86

Clase = Número de plantas de acuerdo a las escalas de afectación; Total = Número de plantas por clase; N/A = No aplica

3.3.12 Estándares.

La evaluación se realizó hasta el día 24 de abril de 2022. Se seleccionaron al azar 20 plantas por tratamiento. Las variables fueron: diámetro del tallo, medido en la sección del cuello de la raíz principal desde la primera raíz lateral; altura de la parte aérea, medida desde el punto donde se midió el diámetro del tallo hasta el ápice de la yema terminal. Con una balanza analítica (OHAUS, modelo Galaxy 200), se pesaron las plantas previamente llevadas al horno de secado (FELISA, FE-143) a 70 °C, durante 72 horas para determinar los índices de calidad de planta, según (Dickson, et al.1960).

$$IR = \frac{A}{D} \quad PSTP = \frac{PSA}{PSR} \quad ICD = \frac{PSTP}{\frac{A}{D} + \frac{PSA}{PSR}}$$

Donde

A = Altura

D = Diámetro

PSA = Peso seco aéreo
PSR= Peso seco radical
PSTP = Peso seco total de la planta
IR = Índice de Robustez
ICD = Índice de Calidad de Dickson



Figura 8. Metodología aplicada en índices de calidad de planta. A) selección de planta por tratamiento; B) Lavado de raíces; C) Medición de altura y diámetro; D) Corte de raíz y parte aérea de la planta; E) Secado de raíz y parte aérea en estufa de secado; F) Toma de datos de las plantas secas.

3.3.13 Extracciones de N, P y K con reactivos

En el DEIS en Suelos se realizaron evaluaciones de las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (N, P y K) en el sustrato para corroborar el consumo de nutrientes y si se vio reflejado en las plantas en relación con el índice de calidad de planta. Se tomaron plantas al azar a las cuales se les retiró el sustrato, de estos sustratos se tomaron 2.5 gramos para cada macronutriente en este caso N, P y K. De las muestras se realizaron extracciones que posteriormente se analizarían para determinar los niveles de N, P y K

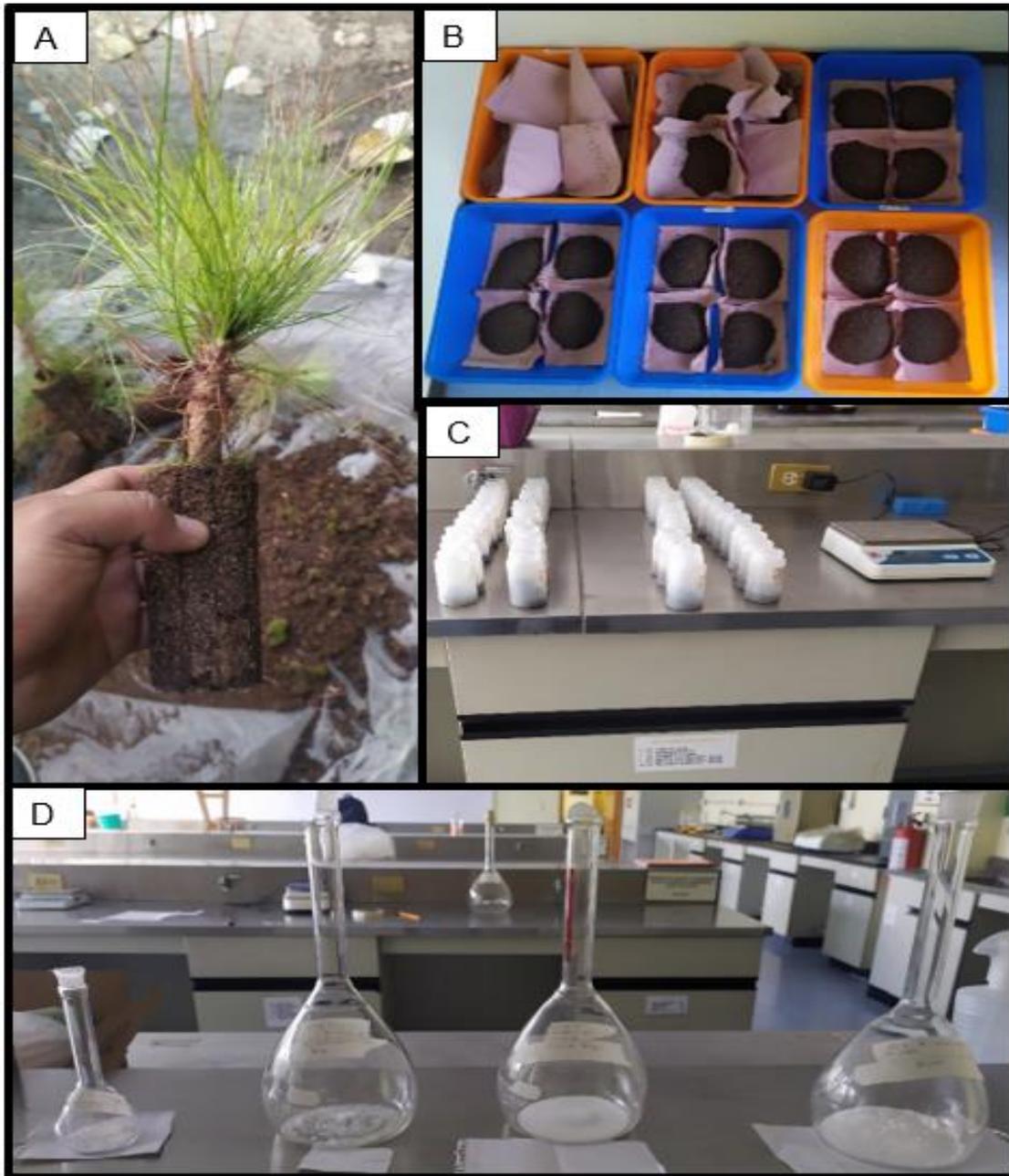


Figura 9. Sustrato para realizar extracciones y análisis. A) Selección de plántula con sustrato tomadas al azar; B) Muestras de sustrato cernidas; C) Muestras de sustrato pesadas para realizar extracciones; D) reactivos utilizados para realizar extracciones y análisis.

3.3.14 Determinación de pH, N, P y K

Fue necesario determinar el pH del sustrato en los tratamientos, se tomaron diez gramos de cada muestra en envases de vidrio. Esto para determinar el tipo de solución

extractora utilizada para el Fosforo, en los tratamientos del uno al diez se utilizó solución extractora Olsen por tener $\text{pH} > 7$, en los tratamientos 11 y 12, se utilizó solución extractora Bray and Kurtz para $\text{pH} < 7$. El Nitrógeno se determinó colocando 10 ml de H_3BO_3 con indicadores en matraces Erlenmeyer de 125 ml conectados a los tubos de salida del refrigerante, posteriormente se pipetearon 10 ml de las extracciones y se colocaron en matraces de destilación a los cuales se les agregaron 0.2 gramos de (MgO) y de aleación de Devarda. En cuanto al Potasio solo fue posible extraerse y se optó por enviarse a un laboratorio para realizar las lecturas, esto en bajo la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

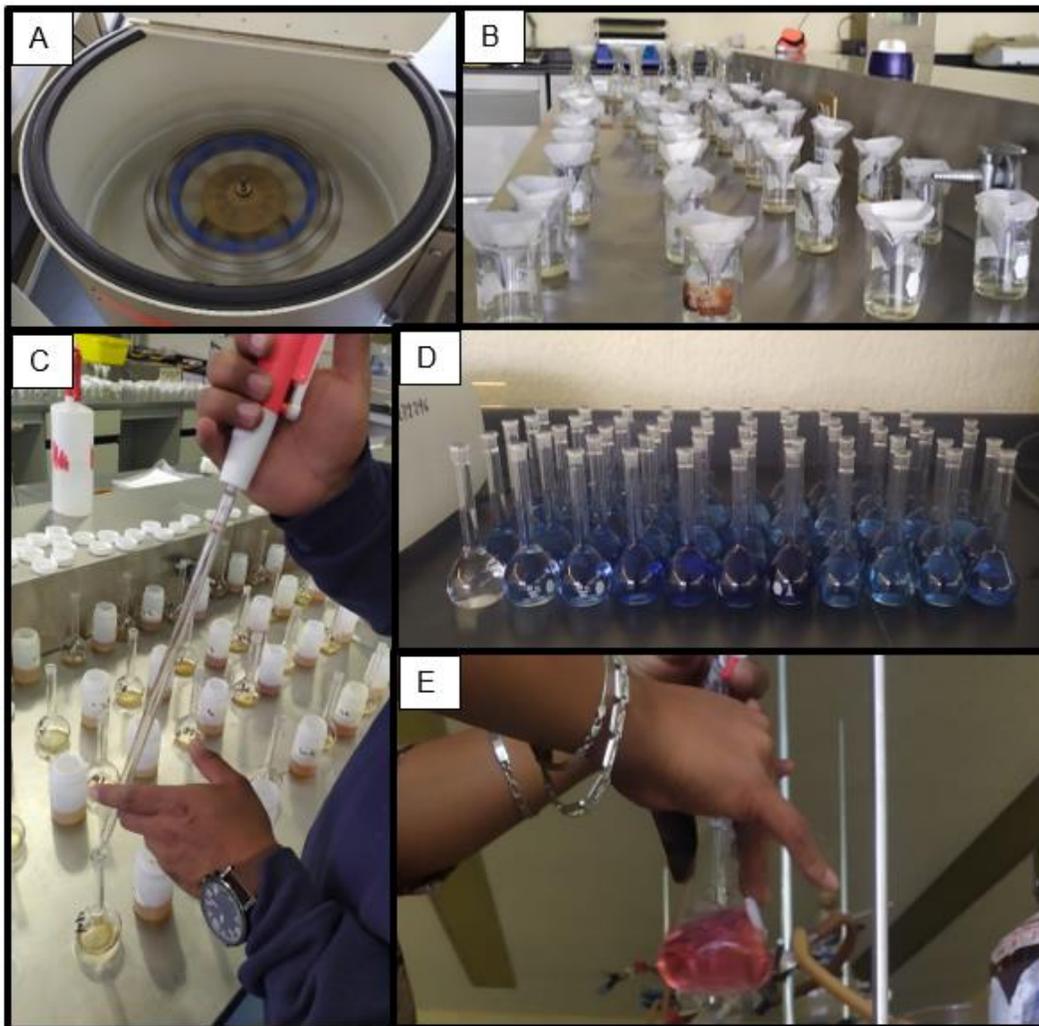


Figura 10. Determinación de cantidad de nutrientes presentes en el sustrato por tratamiento y repetición. A) Tubos de agitación con extracciones en centrifuga después de haber pasado por agitación; B) Extracciones filtradas con papel filtro dejándose acumular en vasos de precipitados; C) Pipeteo de alícuotas

para posteriormente medir las cantidades presentes de nutrientes; D) Muestras de Fosforo listas para medir; E) Titulación de muestras de Nitrógeno.

3.4. Resultados

3.4.1 Germinación de plántulas de *Pinus devoniana*

Las primeras plántulas comenzaron a germinar el día 24 de junio del 2021, 13 días después de la siembra de las semillas de *Pinus devoniana* y a partir de ese día se comenzó a realizar el conteo de germinación del experimento, dicho conteo tuvo una durabilidad de 35 días terminando el día 29 de julio de 2021, el cual esta fuera por cinco días de lo que reporta (Romero-Arenas et al. 2014), aunque se debe considerar que no se trata de la misma especie, dicho conteo de germinación se realizó con la finalidad de tener un dato estimado sobre el tiempo que termina la germinación de *Pinus devoniana*, en este caso el porcentaje de germinación fue de 57.70%, lo cual fue suficiente para desarrollar el experimento. (Figura 11)

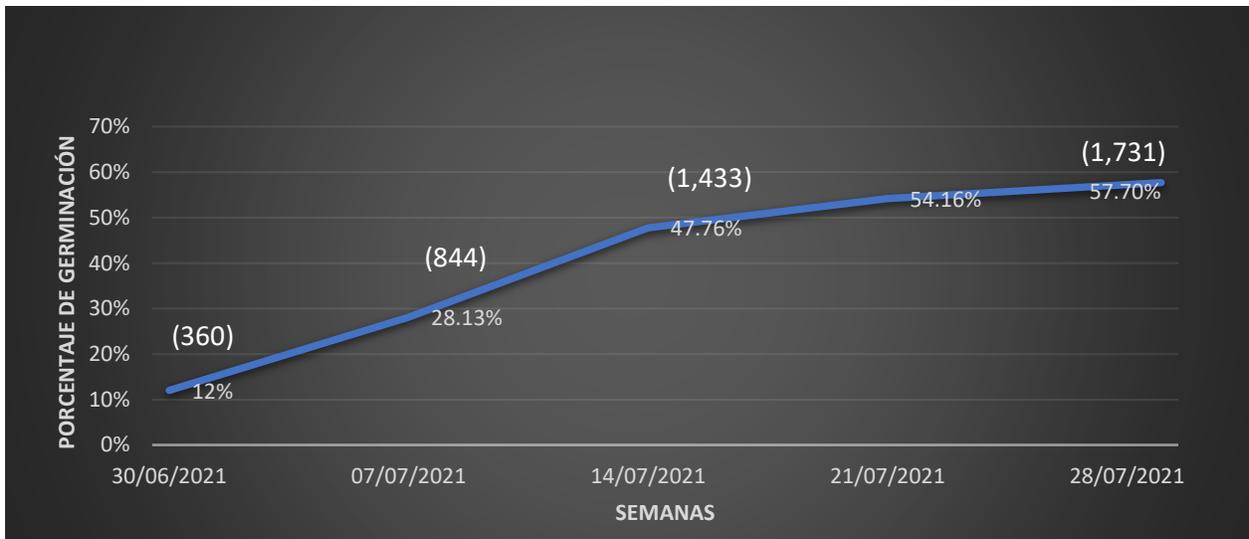


Figura 11. Germinación acumulada de *Pinus devoniana* a los 35 días, se representa el porcentaje de germinación y el número de plantas emergidas semanalmente.

3.4.2 Purificación de aislados

De las plantas con síntomas de enfermedad se obtuvieron 10 aislados de los cuales en todos se presentaron crecimiento de colonias del patógeno *F. circinatum*.

3.4.3 Incidencia y severidad de *F. circinatum* en plántulas de *P. devoniana*

Los síntomas observados en las plántulas de *Pinus devoniana* por *Fusarium circinatum* fueron inicialmente en los tratamientos 9 y 11 a los 13 días de haberse inoculados, comenzando con el doblamiento del ápice de las plantas, para posteriormente presentar clorosis, seguido del marchitamiento de las plantas tornándose rojizas para finalmente morir, tal como lo describe (García-Díaz et al. 2017) y (Flores-Pacheco 2017).

El análisis realizado en base a los índices de severidad aplicados a los tratamientos inoculados con sus respectivas repeticiones a los cinco meses de edad, indica que a los 10 meses de edad de las plantas que fue cuando se levantó el experimento, los tratamientos 5 y 11 tuvieron mayor incidencia y los tratamientos 8 y 10 menor incidencia, en la mayoría de los tratamientos el porcentaje de incidencia es bajo y coincide con lo reportado con (García-Díaz et al. 2017) en cuanto al tipo de sustrato que es el mismo en el cual tuvo baja incidencia, en cuanto al riego los datos son similares a los reportados a (Morandi et al. 2018) señalando que a menor cantidad de agua el resultado es perjudicial para el desarrollo de las plantas.

Cuadro 3. Porcentaje de incidencia del patógeno en cada tratamiento.

Número de tratamiento	Clave	Incidencia %
Tratamiento 1	R100, 3.5 g, Fc.	25
Tratamiento 2	R100, 3.5 g	2
Tratamiento 3	R80, 3.5 g, Fc.	44
Tratamiento 4	R80, 3.5 g	3
Tratamiento 5	R70, 3.5 g, Fc.	70
Tratamiento 6	R70, 3.5 g	32
Tratamiento 7	R100, 7 g, Fc.	22
Tratamiento 8	R100, 7 g	1
Tratamiento 9	R80, 7 g, Fc.	25
Tratamiento 10	R80, 7 g	1
Tratamiento 11	R70, 7 g, Fc.	72
Tratamiento 12	R70, 7 g	7

3.4.4 Efecto del riego en la inoculación: con presencia y ausencia de *F. circinatum*

A continuación, se muestran tres graficas correspondientes a los tipos de riegos utilizados durante la evaluación de la incidencia de *F. circinatum* en los diferentes tratamientos que fueron inoculados al igual que en aquellos que no se aplicó el inóculo del patógeno, representados en las figuras 12, 13 y 14.

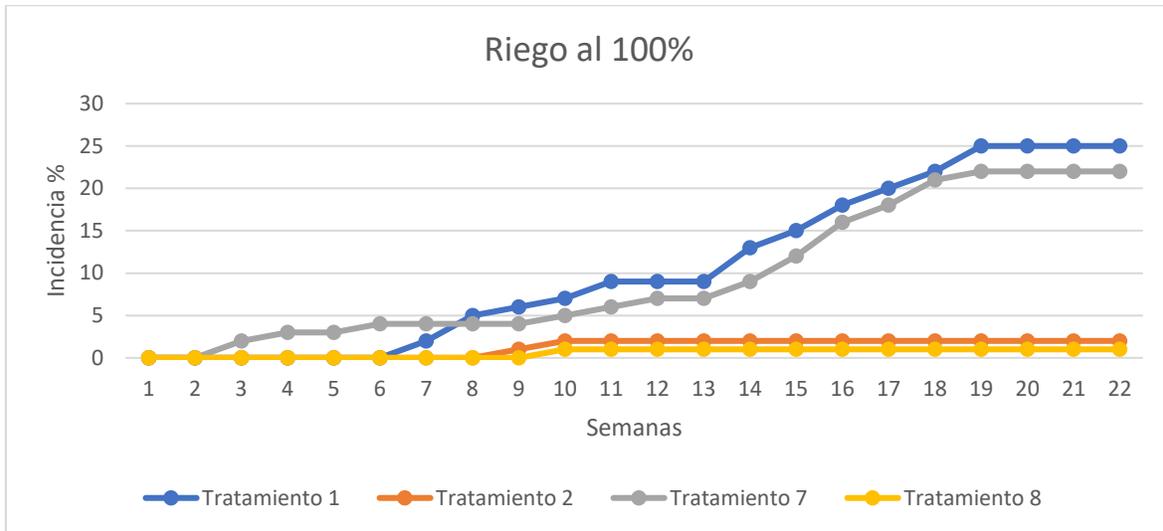


Figura 12. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 1 (R100, 3.5 g, Fc), 2 (R100, 3.5g), 7 (R100, 7 g, Fc) y 8 (R100, 7 g).

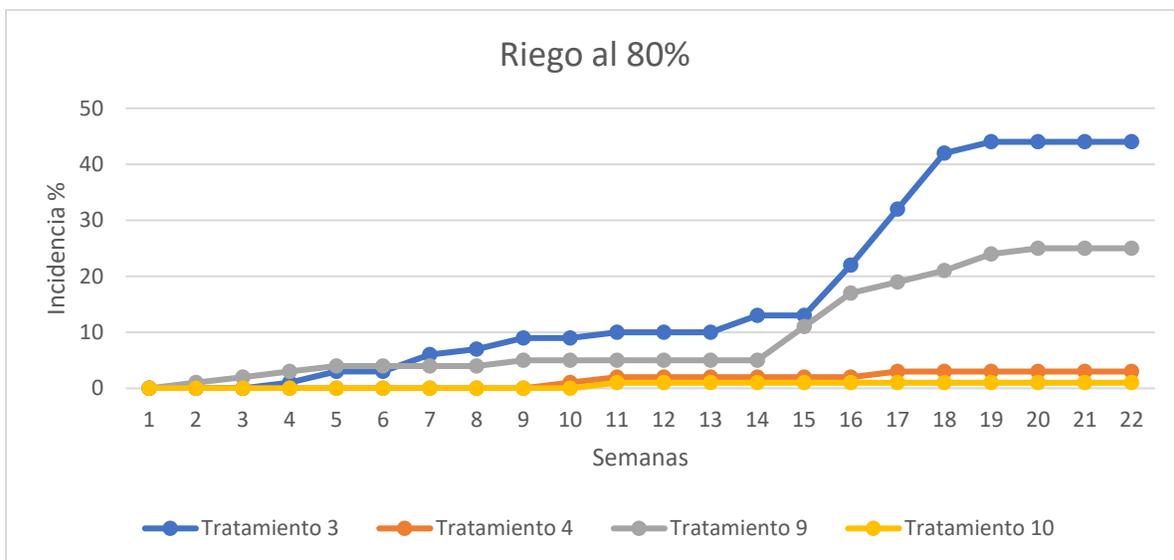


Figura 13. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 3 (R80, 3.5 g, Fc), 4 (R80, 3.5g), 9 (R80, 7 g, Fc) y 10 (R80, 7 g).

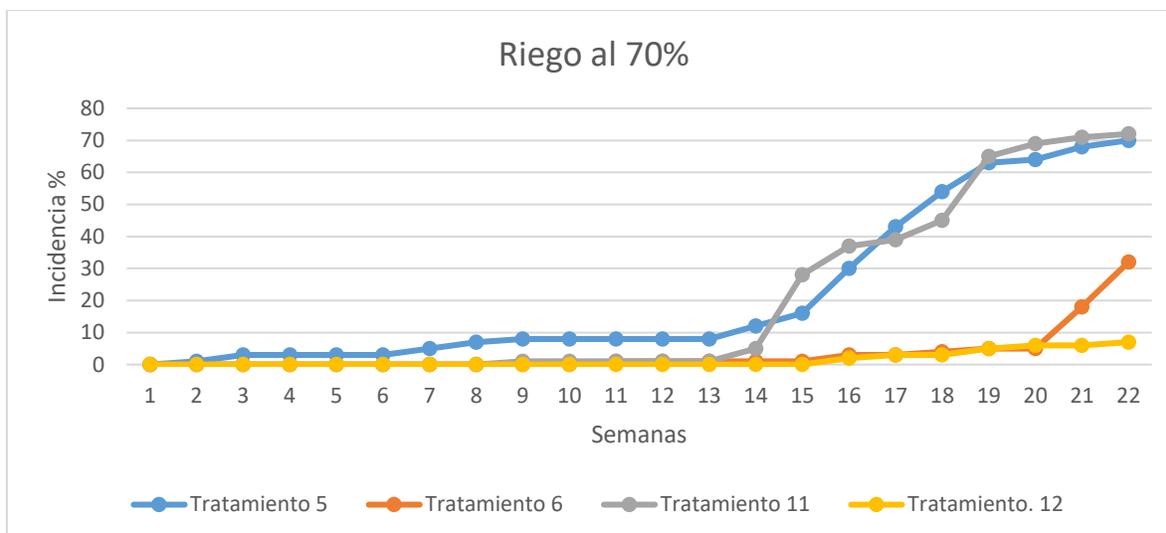


Figura 14. Comportamiento de la incidencia en los tratamientos 5 (R70, 3.5 g, Fc), 6 (R70, 3.5g), 11 (R70, 7 g, Fc) y 12 (R70, 7 g).

A continuación, se muestra en el cuadro de severidad las diferencias referentes al porcentaje entre los tratamientos que fueron inoculados con *F. circinatum* y los que estuvieron exentos de la inoculación. Cuadro 4 y figura 15

Cuadro 4. Diferencias porcentuales de severidad entre tratamientos

Número de tratamiento	Clave	Severidad %
Tratamiento 1	R100, 3.5 g, Fc.	15.25
Tratamiento 2	R100, 3.5 g	1
Tratamiento 3	R80, 3.5 g, Fc.	27.25
Tratamiento 4	R80, 3.5 g	1.5
Tratamiento 5	R70, 3.5 g, Fc.	52.5
Tratamiento 6	R70, 3.5 g	14.75
Tratamiento 7	R100, 7 g, Fc.	16.75
Tratamiento 8	R100, 7 g	0.75
Tratamiento 9	R80, 7 g, Fc.	18
Tratamiento 10	R80, 7 g	0.5
Tratamiento 11	R70, 7 g, Fc.	53.75
Tratamiento 12	R70, 7 g	3.5

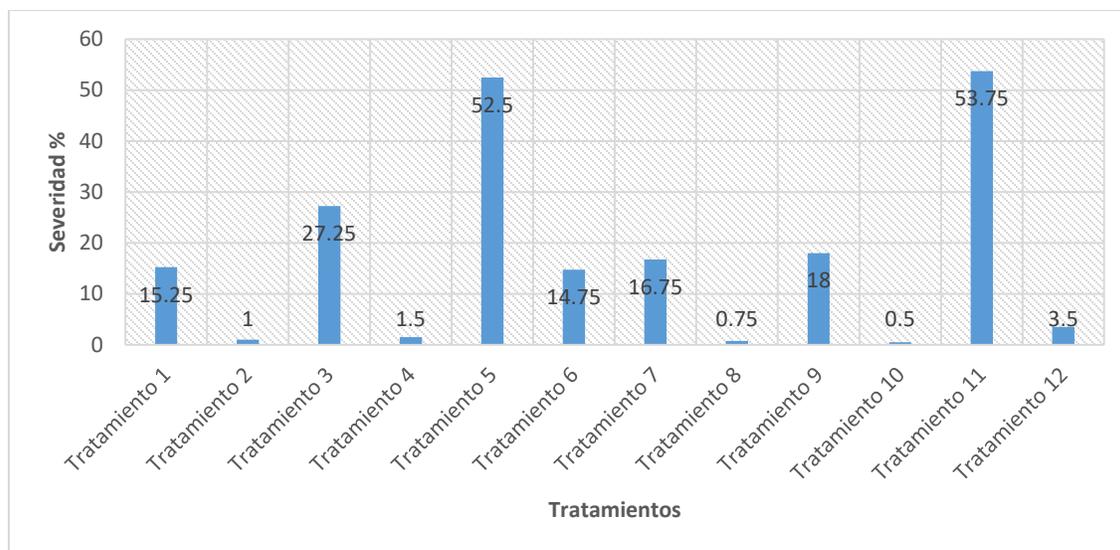


Figura 15. Comparación de la severidad entre tratamientos.

En base a la incidencia y severidad obtenida se realizó un análisis de correlación entre ambas variables, en el que se obtuvo el valor de 0.98832 dicha correlación esta cercana al 1, lo cual resulta ser alta. Lo que sugiere que la relación entre ambas variables es semi recta con pendiente positiva, lo cual da por hecho que cuando una aumenta la otra también lo hará de manera proporcional.

El P-valor < .0001 el cual corresponde a la prueba de hipótesis nula apunta a que la correlación entre ambas variables es igual a cero, lo cual da a entender que la evidencia estadística contra la hipótesis de correlación cero es fuerte.

3.4.5 Índices morfológicos de *F. circinatum*

De los aislados obtenidos y las preparaciones realizadas de las estructuras desarrolladas en los tres medios de cultivo distintos se observaron las características señaladas en el cuadro 5

Cuadro 5. Estructuras de *F. circinatum* encontradas en las preparaciones de los distintos medios de cultivo

Macroconidios		Microconidios				Arreglo			Conidióforos		Hifas estériles	Esporodocios	Figura	
Forma típica	No. Septos	Oval	Oval a alantoide	Oval a ovoide	Ovoide	Clavado	Cadenas cortas	Cadenas largas	Falsas cabezas	Poli filíides	Mono filíides			
+	3		+	+	+			+	+	+	+	+	Naranja opaco	16

3.4.6 *Fusarium circinatum* (Nirenberg y O'Donnell)

Se encontró que las colonias desarrolladas presentaron consistencias algodonosas con colores blancos en un principio que posteriormente se fue tornando a color fucsia hasta llegar a una coloración violácea en el medio de cultivo PDA, los esporodocios se formaron en el medio de cultivo CLA con coloración naranja pálido, se encontraron macroconidios en su mayoría con tres septos, las mediciones fueron 30.27-45.18 nm de longitud, mientras la anchura fue de 3.17- 4.55 nm, teniendo como promedio 36.56 x 3.86, con la célula basal poco desarrollada y la célula apical curvada, los microconidios presentes tuvieron las formas oval, ovoide, alantoide, en los cuales no se encontraron septos, estos se desarrollaron sobre mono y polifilíides, las circinas que realmente son hifas estériles en forma de espiral encontrados mayormente en medio de cultivo SNA, no hubo presencia de clamidosporas o pseudo-clamidosporas, tal descripción reflejada en el cuadro 5 y en la figura 16, y coinciden con las realizadas por (García-Díaz et al. 2017), (Flores-Pacheco 2017) y (López-Moreno et al. 2019)

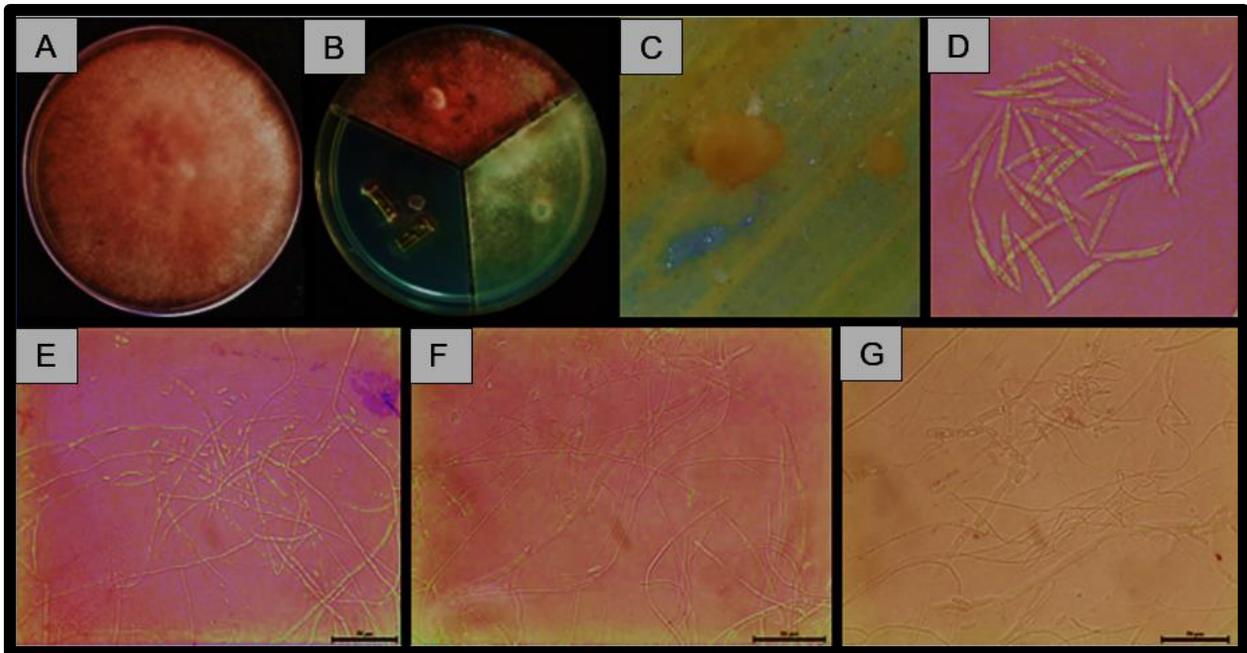


Figura 16. Características de *F. circinatum* A) Micelio con textura algodonosa; B) Diferenciación del micelio en PDA, CLA y SNA; C) Esporodocios en medio de cultivo CLA; D) Macroconidios; E) Microconidios; F) Mono fiálides y poli fiálides; G) Hifas estériles (circinas).

3.4.7 Índices de calidad de planta

De manera general el índice de robustez señala que en los tratamientos se tiene baja calidad en las plantas debido a que a menor valor obtenido, menor es la calidad de la planta, la relación PSA/PSR, sugiere que la calidad de las plantas en todos los tratamientos es alta, por otro lado el índice de calidad de Dickson resulta ser el índice de calidad de planta más confiable al considerar todos los factores e indica que el tratamiento con mejor calidad de planta es el tratamiento 10 que tuvo aplicación de riego al 80%. La evaluación de calidad de las plantas de todos los tratamientos se realizó mediante los índices de calidad de planta mayormente usados, los cuales son índice de calidad de Dickson, índice de Robustez y relación PSA/PSR en los cuales se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación en el cuadro 6 y 7 además de las figuras 17, 18 y 19.

Cuadro 6. Valores que califican la calidad de planta con crecimiento cespitoso en vivero forestal (Saézn et al., 2010)

Índice de calidad	Alto	Bajo
IR	> 8.0	< 8.0
PSA/PSR	> 0.15	< 0.15
ICD	> 0.5	< 0.5

IR = Índice de robustez; PSA/PSR = Peso seco aéreo y radical; ICD = Índice de calidad de Dickson

Cuadro 7. Índices de calidad de planta por tratamiento

Número de tratamiento	Clave	IR	PSA/PSR	ICD
Tratamiento 1	R100, 3.5 g, Fc.	2.46	2.22	0.55
Tratamiento 2	R100, 3.5 g	2.37	2.38	0.51
Tratamiento 3	R80, 3.5 g, Fc.	2.76	2.16	0.73
Tratamiento 4	R80, 3.5 g	2.56	2.03	0.76
Tratamiento 5	R70, 3.5 g, Fc.	2.07	1.90	0.61
Tratamiento 6	R70, 3.5 g	2.37	2.34	0.66
Tratamiento 7	R100, 7 g, Fc.	2.66	3.18	0.96
Tratamiento 8	R100, 7 g	2.42	3.03	1.07
Tratamiento 9	R80, 7 g, Fc.	2.36	3.13	1.22
Tratamiento 10	R80, 7 g	2.54	2.28	1.56
Tratamiento 11	R70, 7 g, Fc.	2.45	2.21	1.01
Tratamiento 12	R70, 7 g	2.38	2.28	0.97

IR = Índice de robustez; PSA/PSR = Peso seco aéreo y radical; ICD = Índice de calidad de Dickson

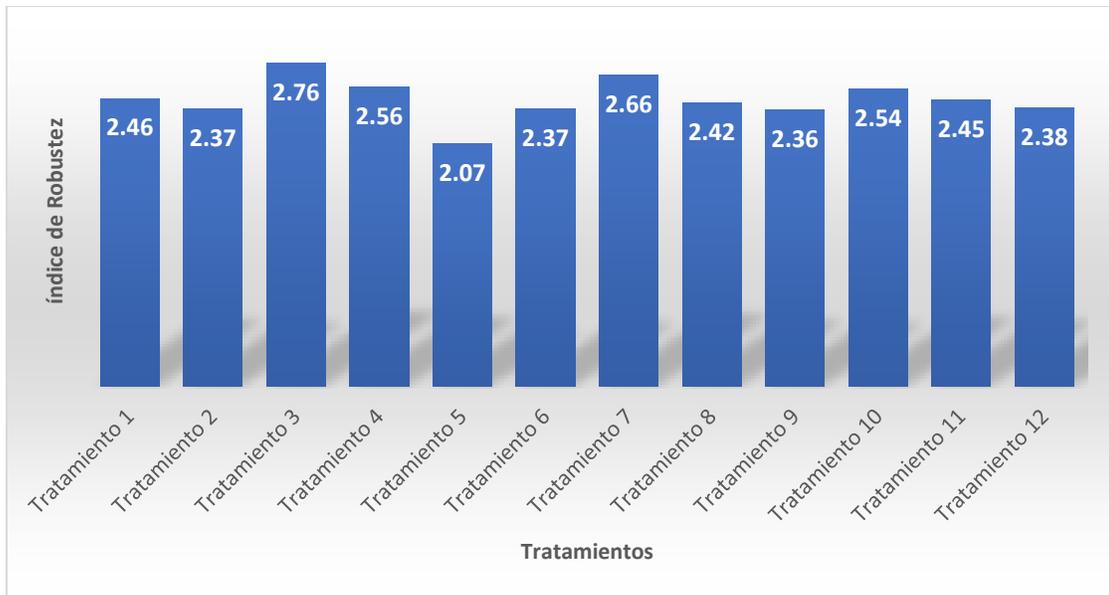


Figura 17. Comparación entre tratamientos respecto al Índice de Robustez.

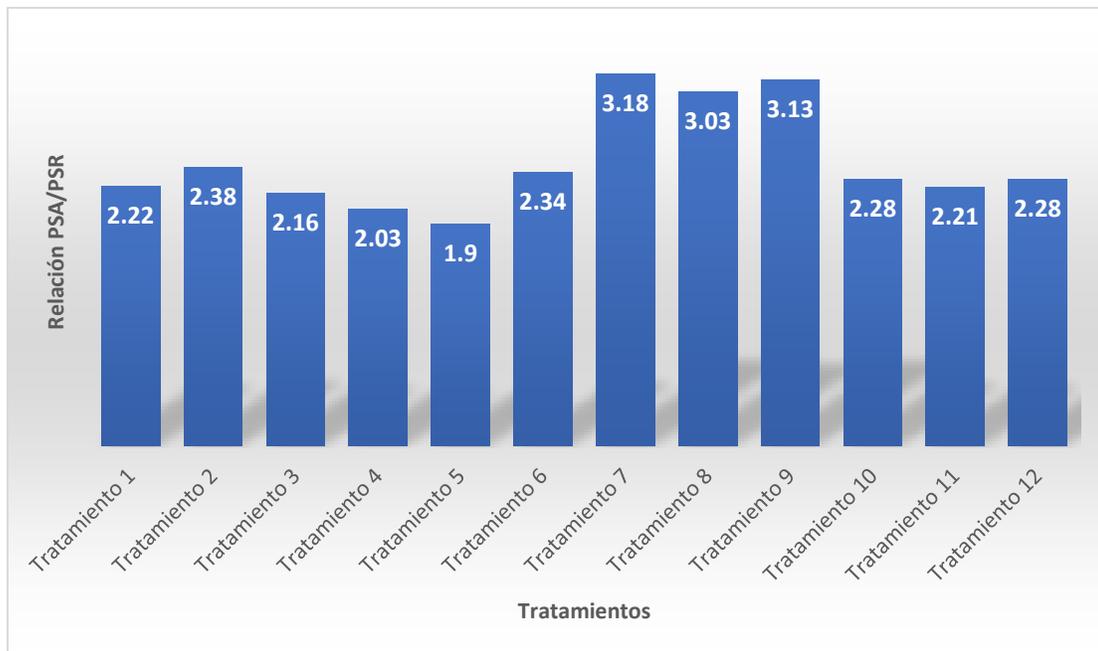


Figura 18. Comparación entre tratamientos respecto a la relación PSA/PSR.

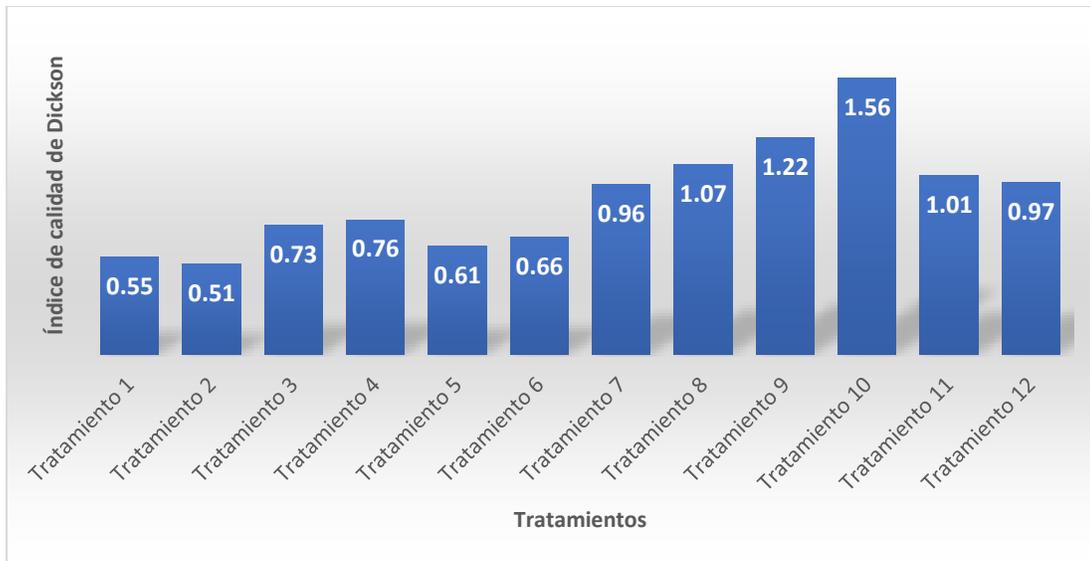


Figura 19. Comparación entre tratamientos respecto al Índice de calidad de Dickson.

De manera general el índice de robustez señala que en los tratamientos se tiene baja calidad en las plantas puesto que a mayor valor obtenido, mayor es la calidad de la planta, en cuanto a la relación PSA/PSR, este índice sugiere que la calidad de las plantas en la todos los tratamientos es alta, por otro lado el índice de calidad de Dickson resulta ser el índice de calidad de planta más confiable al considerar todos los factores desde los del índice de robustez hasta la relación PSA/PSR, en esta investigación el índice de calidad de Dickson apunta a que el tratamiento con mejor calidad de planta es el tratamiento 10 que tuvo aplicación de riego al 80%, dosis de fertilización alta y no fue inoculado, los índices de calidad de planta se realizaron en base a (Dickson *et al.* 1960), (Sáenz *et al.* 2010) (Sáenz *et al.* 2014) y (Salcido-Ruiz *et al.* 2021)

3.4.8 Cantidad de nutrientes encontrados en los tratamientos

Se encontró que los niveles para P y K son altos en N los niveles son bajos, además hubo diferencias entre los riegos y las dosis de fertilización debido a que se lixiviaron mayormente donde se aplicó riego al 100%, seguido del riego al 80% y 70%, debido a la sensibilidad de la temperatura y humedad del polímero que recubre a los fertilizantes de liberación controlada, lo cual es congruente en relación a lo reportado por (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2017) y Ávila-Angulo *et al.* 2017. La comparación de estos resultados se

corroboró con la tabla de interpretación de análisis de suelo que se encuentra en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Cuadro 8. Cantidades de N, P y K encontrados en el sustrato

Número de tratamiento	Clave	Nitrógeno mg kg ⁻¹	Fosforo mg kg ⁻¹	Potasio mg kg ⁻¹
Tratamiento 1	R100, 3.5 g, Fc.	10	43	990
Tratamiento 2	R100, 3.5 g	10	40	1080
Tratamiento 3	R80, 3.5 g, Fc.	6	34	1270
Tratamiento 4	R80, 3.5 g	13	32	1220
Tratamiento 5	R70, 3.5 g, Fc.	15	45	2500
Tratamiento 6	R70, 3.5 g	19	37	2660
Tratamiento 7	R100, 7 g, Fc.	15	34	2090
Tratamiento 8	R100, 7 g	14	32	1840
Tratamiento 9	R80, 7 g, Fc.	15	39	2600
Tratamiento 10	R80, 7 g	14	32	2850
Tratamiento 11	R70, 7 g, Fc.	21	30	3550
Tratamiento 12	R70, 7 g	17	26	3260

mg kg = partes por millón

3.4.9 Análisis estadístico

Al ajustar el modelo estadístico en un diseño experimental de parcelas subdivididas, el programa Statistical Analysis System (SAS 9.4) genera el siguiente ANDEVA, en el cual se observa que las fuentes de variación importantes para el modelo son el riego, la fertilización, la inoculación de *F. circinatum*, la interacción del riego con la inoculación, y la interacción del riego, fertilización e inoculación, debido su nivel de significancia menor a 0.05, lo que indica suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula correspondiente

Cuadro 9. Análisis de varianza del diseño experimental en parcelas subdivididas.

Fuente de variación	Grados De libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-calculada	p-valor
Repetición	3	7.33	2.44	0.54	0.6589
Riego	2	611.54	305.77	67.95	<.0001
Repetición * Riego	6	12.29	2.05	0.46	0.8319
Fertilización	1	48.00	48.00	10.67	0.0043
Riego*Fertilización	2	13.63	6.81	1.51	0.2468

Repetición *Fertilización (Riego)	9	32.88	3.65	0.81	0.6123
Inoculación	1	936.33	936.33	208.07	<.0001
Riego*Inoculación	2	111.79	55.90	12.42	0.0004
Fertilización *Inoculación	1	1.33	1.33	0.30	0.5929
Riego*Fertilización *Inoculación	2	62.54	31.27	6.95	0.0058

Cuadro de variables utilizadas en el ANDEVA.

Se hicieron comparaciones de medias para identificar en qué condiciones se presenta una mayor incidencia de *F. circinatum* sobre planta de *P. devoniana* en vivero.

A continuación, la comparación de medias con el factor de riego indica que existe diferencias estadísticas entre ellas, señalándose con la letra A que el nivel de riego al 70% tuvo una mayor incidencia que los riegos 100 y 80%.

Cuadro 10. Comparación de medias para el factor riego.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Riego
A	11.31	16	3
B	4.563	16	2
B	3.125	16	1

Prueba de Tukey que muestra las diferencias entre riegos e incidencia.

Con respecto al factor fertilización, no hay diferencia significativa entre los niveles evaluados, como se observa en la figura 20.

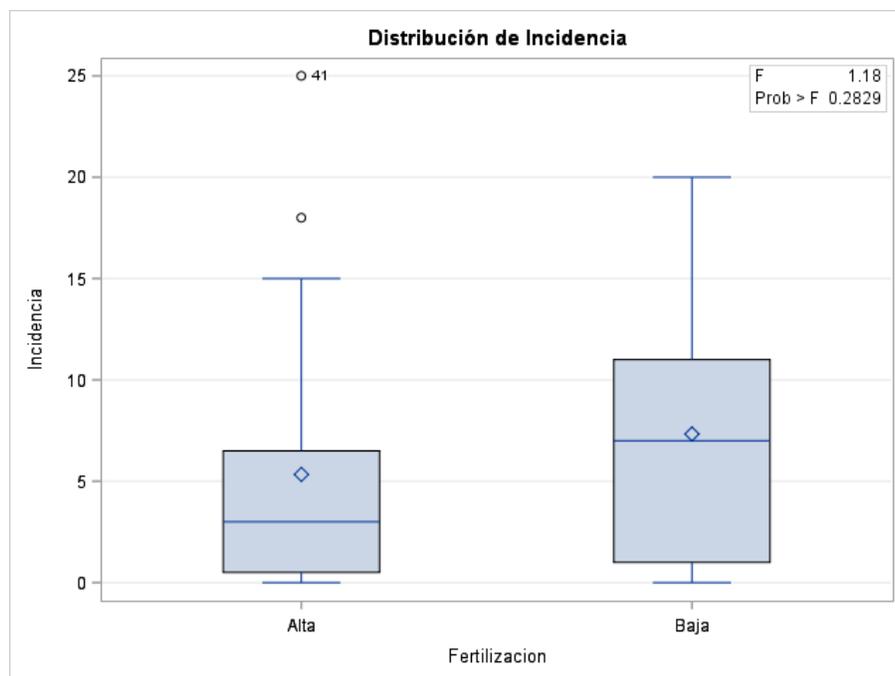


Figura 20. Medias de la incidencia respecto al factor fertilización.

El factor de inoculación de *F. circinatum* tuvo un efecto importante en la incidencia del patógeno en las plantas estudiadas, de esta manera claramente se aseguró la presencia de la enfermedad en las plantas.

Cuadro 11. Comparación de medias respecto al factor de inoculación del patógeno.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Inoculación
A	10.75	24	Presente
B	1.917	24	Ausente

En el cuadro se muestra la incidencia por la presencia y ausencia de *F. circinatum*

Al haberse inoculado directamente el patógeno al sustrato, este tuvo la capacidad de transmitirse hacia la planta ocasionando los síntomas característicos de la enfermedad, por otro lado, la leve incidencia presente en las plantas que no fueron inoculadas pudiese ser por la facilidad con que el patógeno puede colonizar la parte aérea de las plantas para posteriormente transmitirse a plantas sanas de forma volátil.

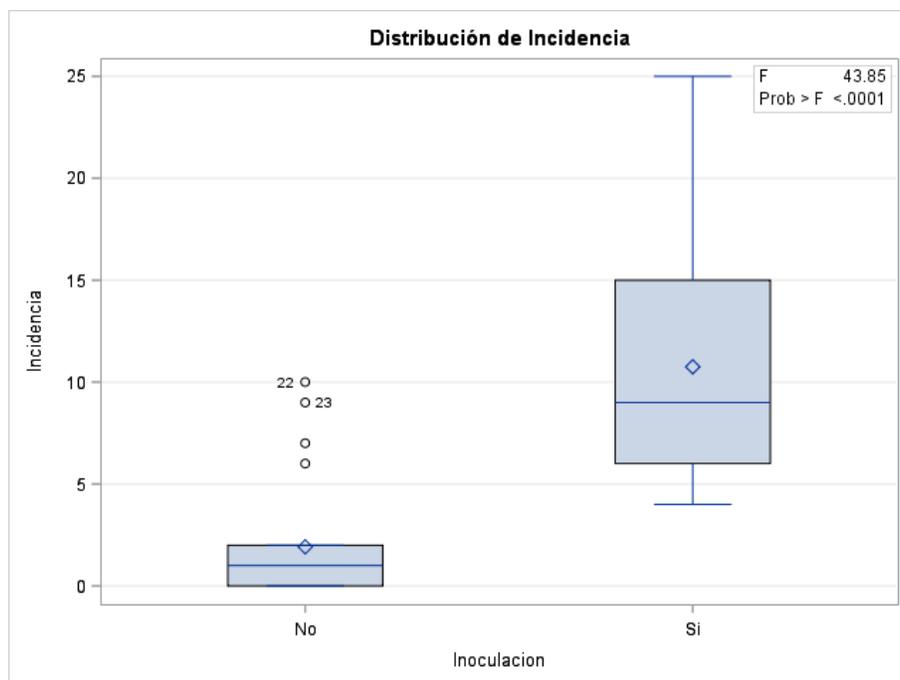


Figura 21. Medias de incidencia respecto al factor inoculación.

La interacción del riego con la inoculación de *F. circinatum* resultó ser significativa, al calcular las medias de la interacción se observa que el riego al 70% con inoculación del hongo presenta una media de incidencia considerablemente superior a las demás.

Cuadro 12. Medias y desviación estándar de la interacción entre riego e inoculación

Riego	Inoculación	N	Media Incidencia	Desviación estándar
1	Ausente	8	0.375	0.52
1	Presente	8	5.875	1.36
2	Ausente	8	0.5	0.53
2	Presente	8	8.625	3.07
3	Ausente	8	4.875	3.56
3	Presente	8	17.75	3.54

Cuadro de comparación entre tratamientos inoculados y no inoculados considerando dos factores

A continuación, se muestra en la figura 22 la representación gráfica de las medias de la incidencia contra la interacción del riego con la inoculación de *F. circinatum*.

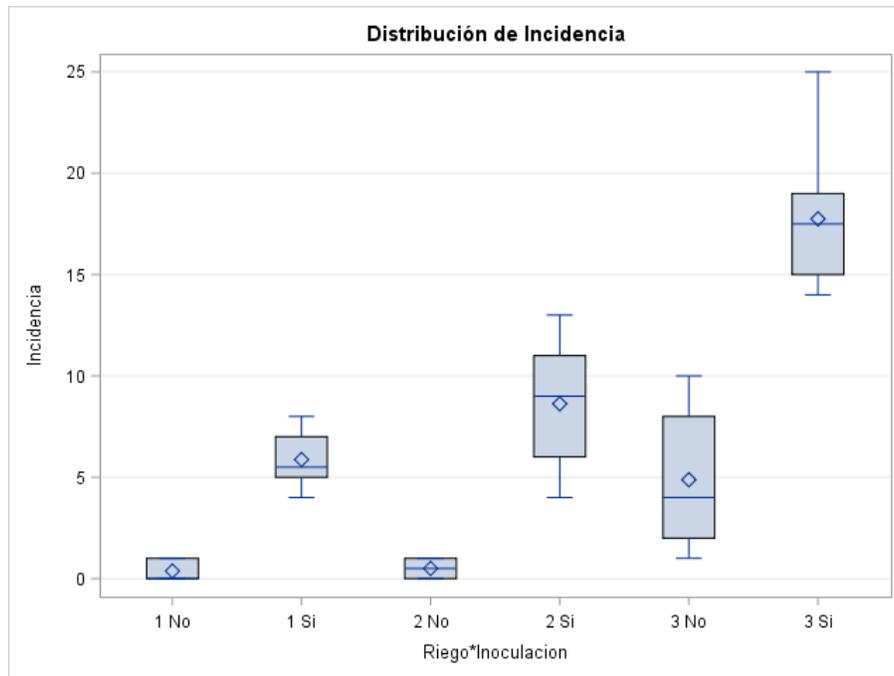


Figura 22. Medias de la interacción del riego e inoculación de *F. circinatum*.

La interacción del riego con la fertilización y la inoculación del hongo también resultó ser significativa, pero en menor medida, al calcular las medias de la incidencia se obtuvo que las medias del nivel de riego 3 fueron las que tuvieron los mayores valores, exceptuando cuando interacciona con la fertilización alta y la ausencia de inoculación. Por otro lado, en el nivel de riego 2, se presentaron valores medios, excepto en la interacción con la fertilización baja y la inoculación del hongo, esta tuvo un valor relativamente grande. En el nivel de riego 1, se presentaron valores bajos, excepto en la interacción con la fertilización baja y la inoculación del hongo, donde presentó un valor medio.

Cuadro 13. Media y desviación estándar de la interacción entre riego, fertilización e inoculación.

Riego	Fertilización	Inoculación	N	Media Incidencia	Desviación estándar
1	Alta	Ausente	4	0.25	0.50
1	Alta	Presente	4	5.5	1.29
1	Baja	Ausente	4	0.5	0.58
1	Baja	Presente	4	6.25	1.50
2	Alta	Ausente	4	0.25	0.50
2	Alta	Presente	4	6.25	2.06
2	Baja	Ausente	4	0.75	0.50

2	Baja	Presente	4	11	1.63
3	Alta	Ausente	4	1.75	0.50
3	Alta	Presente	4	18	4.97
3	Baja	Ausente	4	8	1.83
3	Baja	Presente	4	17.5	2.08

Cuadro de comparación entre tratamientos inoculados y no inoculados considerando todos los factores

A continuación, se presenta la gráfica de la triple interacción en todos los niveles de riego aplicados.

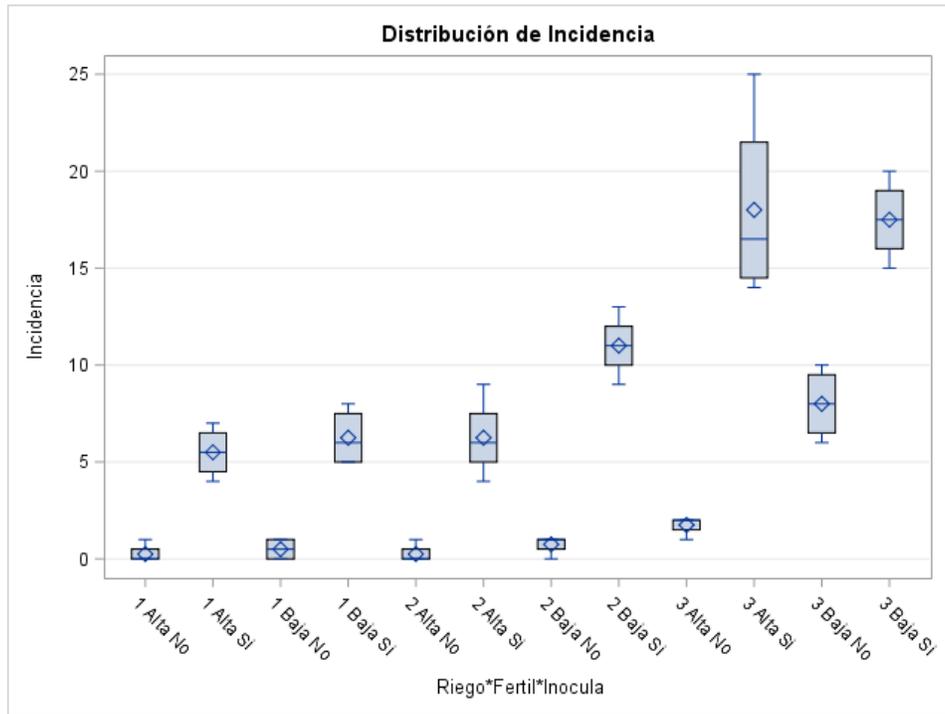


Figura 23. Medias de la triple interacción de los factores estudiados.

3.4.10 conclusiones

Las repeticiones de los tratamientos no tuvieron efecto significativo en la media de la incidencia de *F. circinatum* sobre planta de *P. devoniana*, pero los demás factores sí. El riego, la fertilización y la inoculación, si resultaron importantes. En el caso del riego, el nivel al 100% fue el que tuvo una menor incidencia, seguido por el riego al 80%, mientras que el riego al 70% tuvo considerablemente una incidencia mayor, posiblemente debido a la pérdida de vigor que ocasiona el estrés hídrico.

En cuanto a la fertilización, en relación con el nivel de esta, no hubo diferencias estadísticas significativas. La inoculación fue muy significativa respecto a la no inoculación del patógeno.

La coloración amarillenta en las plantas con menor dosis de fertilización debió haberse presentado por la falta de riego en el riego al 70% puesto que las capsulas de los fertilizantes de liberación controlada son sensibles a la temperatura y humedad.

La baja mortandad en el riego al 100% debió verse afectado por el tiempo de evaluación que fue en temporada de invierno cuando las condiciones climatológicas no someten del todo a estrés a las plantas y también debido a los microorganismos que se encuentran presentes en el sustrato puesto que algunos de estos se consumen los macros y micro elementos, lo cual se vio reflejado mayormente en el nitrógeno, que es necesario mencionar que es más fácil de perderse por lixiviación o de forma volátil.

Respecto a la interacción de riego con la inoculación, resultó más efectivo el riego al 100% en ausencia del hongo, ya que fue donde se obtuvo menor incidencia del patógeno, seguido por el nivel de riego al 80% en ausencia del patógeno.

La triple interacción de los factores riego, fertilización e inoculación mostró que la planta sin inoculación del patógeno en combinación con los diferentes niveles de los otros factores, tuvieron menos incidencia del hongo respecto a las que si fueron inoculadas.

En adición, el nivel de riego al 100 y al 80% en combinación con la fertilización alta tuvieron menos incidencia que las otras combinaciones, sin embargo, la fertilización no tiene un papel tan importante como el de los otros dos factores en cuanto al desarrollo de las plantas.

3.4.11 Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por los recursos económicos otorgados que facilitaron esta investigación y poder realizar los estudios de maestría en ciencias. Además, se agradece en gran manera a los académicos investigadores que dirigieron este trabajo de investigación. De igual forma se agradece a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) tanto como al posgrado de la División de

Ciencias Forestales (DiCiFo) y al Departamento de Enseñanza e Investigación en Suelos (DEISS)

3.4.12 Literatura citada

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordáz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50 (1), 107-118. ISSN:1405-3195. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30243765008>
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete A., Martínez-Trinidad, T. & Ordaz-Chaparro, V.M. 2017. "Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada." *Revista mexicana de ciencias forestales* 7(34):007–019. doi: 10.29298/rmcf.v7i34.79.
- Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., & Velázquez-Martínez, A. 2017. Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery." *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* vol.23, (2007-4018.): pp.221-229. doi: 10.5154/r.rchscfa.2016.05.029.
- Dean, A., Voss, D., & Draguljić, D. (2017). *Design and analysis of experiments: Vol. Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52250-0>
- Del Carmen Mendizábal-Hernández, L., Alba-Landa, J., Jiménez, L. H., Ramírez-García, E. O., & Rodríguez-Juárez, M. C. (2015). Potencial de producción de semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Foresta Veracruzana*, 17(2), 47-52.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.. doi: 10.5558/tfc36010-1.

Flores-Pacheco, J. A. 2017. "Chancro resinoso del pino (*Fusarium circinatum*) historia, evolución, dispersión y estrategias de manejo." *Nexo revista científica* 30(01):19–42. doi: 10.5377/nexo. v 30i01.5170.

Flores-Pacheco, J. A. 2017. Antagonismo in vitro de hongos endófitos para su uso en el biocontrol de enfermedades forestales. *Revista científica de FAREM-Estelí* (23):58–71. doi: 10.5377/farem.v0i23.5475.

García-Díaz, S. E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J. T., Valdovinos-Ponce, G., & Equíhua-Martínez, A. 2017. "Effect of *Fusarium circinatum* on germination and growth of *Pinus greggii* seedlings in three substrates." *Agrociencia* 51(8):895–908. Recuperado a partir de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952017000800895&script=sci_arttext&tlng=en

Koch, R. 1876. The etiology of anthrax, based on the life history of *Bacillus anthracis*. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen* 2(2), 277-310. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2009.12.003>

López-Moreno, B., Gutiérrez Contreras, M., Aguirre Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Guzmán de Casa, A., García-Saucedo, P. A., & Ávila-Val, T. D. C. 2019. "Nuevos causantes de la pudrición en panel de pica en hule: caso *Fusarium spp.*" *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (23):277–89. doi: 10.29312/remexca.v0i23.2027.

Morandi, B., Arzani A., Ortega-Farías, S., Zúñiga, M., Fuentes, S., Riveros-Burgos, C., & Poblete-Echeverría, C. 2018. Effects of three irrigation strategies on gas exchange relationships, plant water status, yield components and water productivity on grafted carménère grapevines. *Frontiers in plant science*, 9, 992. doi: 10.3389/fpls.2018.00992.

Rojas-Rodríguez, F. (2006). *Viveros Forestales*. 248. https://books.google.com/books/about/Viveros_Forestales.html?hl=es&id=35Z_FJIHQPAC

Sáenz, R. J. T., Villaseñor, R. F. J., Muñoz, F. H. J., Rueda, S. A., & Prieto, R. J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto*

Técnico Núm. 17 (p. 48). SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. Recuperado a partir de <https://docplayer.es/17222741-Calidad-de-planta-en-viveros-forestales-de-clima-templado-en-michoacan.html>

Sáenz-Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero " Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. Recuperado a partir de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000600008&script=sci_arttext

Ruiz, S. S., Ruíz, J. Á. P., Rodríguez, J. L. G., Aispuro, E. S., & Simental, J. A. C. (2021). *Pinus greggii* Engelm.: Respuesta a la inoculación micorrícica controlada y a la fertilización en vivero. *Agrociencia*, 55(3), 273-290. doi: 10.47163/agrociencia.v55i3.2419.

SAS Intitute. 2002. The SAS system for windows. Release 9.4. SAS Institute. Cary, NC.

SEMARNAT. 2002. "Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis." *Diario Oficial de La Federación*. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/11362768/NORMA_Oficial_Mexicana_NOM_021_RECNAT_2000_Que_establece_las_especificaciones_de_fertilidad_salinidad_y_clasificaci%C3%B3n_de_suelos_Estudios_muestreo_y_an%C3%A1lisis

South, D. B., & Nadel, R. (2020). Irrigation in pine nurseries. *Reforesta*, (10), 40-83. doi: 10.21750/REFOR.10.05.88.

Townsend, G. R. (1943). Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *Plant Disease Reporter*, 27, 340-343. Recuperado a partir de [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=725513](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=725513)

Vivas, M., & Solla, A. (2009). Fertilización de plántulas de *Pinus pinaster* y su efecto en la susceptibilidad a *Fusarium circinatum*.
<https://www.researchgate.net/publication/236970118>

Zuñiga, M., Ortega-Farias, S., Fuentes, S., Riveros-Burgos, C., & Poblete-Echeverria, C. (2018). Effects of three irrigation strategies on gas exchange relationships, components and water productivity on grafted carménere grapes. *Front. Plant Sci., and Product Physiology*
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00992>

Capítulo 4 Conclusiones generales

El impacto del patógeno en los tratamientos inoculados fue cuantificable mediante el índice incidencia y severidad utilizado en el experimento, por lo cual si es posible medir el daño *F. circinatum* en *P. devoniana*.

En cuanto a las dosis de fertilizantes no hubo gran diferencia entre incidencia y severidad del patógeno, mas si hubo un claro amarillamiento en cuanto a coloración de planta entre la dosis alta y la dosis baja en el riego al 70% hubo ligera incidencia en el tratamiento 6 donde no existía inoculación, por eso se considera mejor la dosis de fertilización alta.

Hubo una clara diferencia en cuanto a incidencia entre la parcela con riego al 70% y las parcelas con riego al 100% y 80%.

El riego donde hubo menor incidencia, fue el riego al 100%, aunque en el índice de calidad de Dickson se encontró que el tratamiento fue mejor que todos, cabe aclarar que esto no tuvo una tendencia en todos los tratamientos con el riego al 80%, habría que realizarse otras experimentaciones similares para corroborarlo.

La interacción entre el riego, dosis de fertilización e inoculación del patógeno fue claramente significativa entre los tratamientos que fueron inoculados en contraste con los que no tuvieron inoculación.

Algunos autores sustentan que en el sustrato utilizado en esta experimentación tiende a tener baja incidencia de *F. circinatum*, siempre y cuando se aplique un riego adecuado.