



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

EFECTO DEL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN EN LA PREVENCIÓN Y ATAQUE DE *Fusarium* EN VIVERO

VICENTE GARCÍA FLORES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: "EFECTO DEL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN EN LA PREVENCIÓN Y ATAQUE DE *Fusarium* EN VIVERO", realizada por el alumno: VICENTE GARCÍA FLORES, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR



DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR



DR. MANUEL AGUILERA RODRÍGUEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2022

EFFECTO DEL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN EN LA PREVENCIÓN Y ATAQUE DE *Fusarium* EN VIVERO.

Vicente García Flores, M.C.
Colegio de Postgraduados 2022

RESUMEN

La obtención de planta de calidad de especies forestales depende de varios factores inherentes del proceso de producción de planta en vivero. Uno de los más importantes es la sanidad. La presencia de patógenos puede afectar el crecimiento y vigor de las plantas o provocar la muerte de las mismas. Los hongos del género *Fusarium* son la principal causa de muerte de plantas en los viveros con pérdidas económicas particularmente en las especies del género *Pinus*. Para contribuir a la prevención de daños por este patógeno en los viveros, el presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto del riego y la fertilización en la incidencia de *Fusarium oxysporum* durante el crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus devoniana* Lindl. expuestas a un ambiente contaminado por dicha enfermedad. Se utilizaron charolas de plástico con 25 cavidades intercambiables (tubetes) con capacidad de 220 ml. Se acomodaron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (2 x 3 x 2). Se aplicaron dos niveles de fertilización (F1 con 3.5 g/L, F2 con 7 g/L de sustrato), tres niveles de riego R1 (diariamente), R2 (80 %) y R3 (70 %) en relación con el peso de charolas a saturación y el tercer factor fue sin y con inoculación de *Fusarium oxysporum* (Fo1, Fo2), para un total de 12 tratamientos con cuatro repeticiones. Cada repetición fue una charola portatubetes de 25 cavidades. Para evaluar incidencia se contabilizó el número de plantas con síntomas de afectación por *Fusarium* o plantas muertas. El ANOVA demostró que no existe evidencia de interacción entre los tres factores y únicamente se presenta significancia como factor individual en el riego y en la inoculación (p= 0.0008 y 0.0004, respectivamente). El número mayor de plantas enfermas se presentaron en el régimen de riego diario (tradicional) y en las plantas que fueron inoculadas. *Fusarium oxysporum* resultó una cepa patogénica en *Pinus devoniana* y su presencia tuvo alta relación con el esquema de aplicación de riego en esta especie, al ocasionar un porcentaje mayor de incidencia en plantas inoculadas con el patógeno y riegos diarios (tradicionales). Las plantas con riego al 80% fueron las que presentaron menor número de individuos enfermos. La velocidad de propagación de la enfermedad al interactuar los dos factores en sus niveles de mayor incidencia (riego “tradicional” y “Con” inoculación de *Fusarium*) se estimó en 100 días.

Palabras clave: Prácticas culturales, intensidad de riego y fertilización, incidencia de enfermedad

EFFECT OF IRRIGATION AND FERTILIZATION ON THE PREVENTION AND ATTACK OF *Fusarium* IN NURSERY.

Vicente García Flores, M.S.
Colegio de Postgraduados 2022

ABSTRACT

Obtaining quality plants from forestry species depends in several factors inherent to each stage of the nursery plant production process. Ensuring sanitary protection is one of the most important aspects. The presence of pathogens can affect the growth and vigor of plants or cause their death. Fungi of the genus *Fusarium* are the leading cause of death in plants in forestry nurseries, generating economic losses in the genus *Pinus*. To help increase plant resistance to this pathogen in nurseries, this study evaluated the effect of irrigation and fertilization on the incidence of disease in *Pinus devoniana* Lindl. seedlings growing in a nursery exposed to contamination by *Fusarium oxysporum*. Plastic trays with 25 interchangeable cavities (tubes) with a capacity of 220 ml were used. They were fixed in a completely randomized experimental design with a factorial arrangement (2 x 3 x 2). The treatments consisted of the application of two fertilization levels (F1 with 3.5 g L⁻¹, F2 with 7 g L⁻¹ of substrate), three irrigation levels R1 (daily), R2 (80 %) and R3 (70 %) in relation to the weight of trays to saturation, with and without *Fusarium oxysporum* inoculation (Fo1, Fo2), for a total of 12 treatments with four replicates. Each replicate was a 25-well tube tray. To evaluate incidence, the number of dead and symptomatic plants associated to *Fusarium* affectation was counted. The ANOVA showed that there is no evidence of interaction between the three factors. Only irrigation and inoculation showed significance as individual factors (p-value of 0.0008 and 0.0004, respectively). The highest number of diseased plants occurred in the daily (traditional) irrigation regimen and in the plants that were inoculated. *Fusarium oxysporum* was confirmed a pathogenic strain in *Pinus devoniana*. The irrigation scheme is highly related to the presence of this pathogen by causing a higher percentage of incidence with daily (traditional) irrigation. Meanwhile, the plants with irrigation at 80 % showed the smallest number of sick individuals. The speed of spread of the disease when the two factors interact at their highest incidence levels ("traditional" irrigation and "With" *Fusarium* inoculation) was estimated at 100 days.

Keywords: Cultural practices, intensity of irrigation and fertilization, incidence of disease

DEDICATORIA

A mis padres

Estela Flores González y Vicente García Hernández

A mis hermanos

Armando García Flores y Mateo García Flores

A mi esposa e hijos

Esperanza Montiel Flores, Xareni R. García Montiel y Jürgen V. García Montiel

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento y las facilidades otorgadas para la realización de mi programa de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) por proporcionarme los recursos para mi formación como Maestro en Ciencias.

Al Proyecto: Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR 2018-1 A-S-67865, por proporcionar los recursos y la oportunidad de desarrollar mi tema de tesis en apego a los objetivos de dicho proyecto.

A los Drs. Arnulfo Aldrete, Javier López Upton y Manuel Aguilera Rodríguez, por haber participado como miembros de mi Consejo Particular, por su amistad, paciencia, disposición, asesoría y consejo para concluir mis estudios de maestría.

A la Dra. Silvia Edith García Díaz, por brindarme la oportunidad de ser parte de este proyecto.

A Hugo Ontiveros Palma por su invaluable apoyo en la toma de datos y seguimiento constante al experimento.

Al todo el personal administrativo del Postgrado en Ciencias Forestales, por su apoyo y consejo en la realización de los trámites requeridos durante toda esta etapa académica.

A todos los compañeros y amigos del posgrado (Marce, Frida, Gaby, Norma, Dana, Zaira, Rigo, Raquel, Jesús, Sebastián, Mitsuo, Iván y Alberto) que hicieron posible la realización del presente estudio y por los buenos momentos.

A todos... por todo... ¡muchísimas gracias!

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Clasificación de <i>Pinus devoniana</i>	4
2.2. Características botánicas.....	4
2.3. Distribución de la especie	5
2.4. Importancia de <i>Pinus devoniana</i> en México	6
2.5. Producción de planta de calidad en vivero.....	7
2.5.1. Atributos morfológicos	8
2.5.2. Fisiología de la planta.....	12
2.5.3. Interacción de variables	14
2.6. Conceptos básicos de riego en vivero.....	18
2.6.1. Calidad y cantidad del agua.....	20
2.7. Fertilización en los viveros forestales.....	22
2.7.1. Factores físicos y químicos de los nutrientes.....	23
2.7.2. Características de los fertilizantes	23
2.7.3. Concentración de nutrientes.....	25
2.7.4. Niveles nutricionales recomendados en las etapas de crecimiento .	25

2.8.	Descripción y distribución de <i>Fusarium Sp.</i>	28
2.8.1.	Distribución e importancia de <i>Fusarium</i>	29
2.8.2.	Características morfológicas	31
2.8.3.	<i>Fusarium oxysporum</i>	31
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1.	Área de estudio	33
3.2.	Establecimiento del experimento y tratamientos aplicados	33
3.3.	Patogenicidad e incidencia	34
3.4.	Estándares e índices morfológicos.....	36
3.5.	Diseño experimental y análisis estadístico	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1.	Análisis de varianza	38
4.2.	Incidencia acumulada de plantas enfermas.	38
4.3.	Interacción de factores.....	40
4.4.	Índices morfológicos	41
4.5.	Cálculo de velocidad de propagación de <i>Fusarium Oxysporum</i>	41
4.6.	Discusión	43
5.	CONCLUSIONES	45
6.	LITERATURA CITADA.....	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Parámetros fisiológicos y morfológicos de calidad de planta establecidos por la Comisión Nacional Forestal en México.....	14
Cuadro 2: Intervalos de calidad de planta de Pinus devoniana para los atributos morfológicos y fisiológicos	17
Cuadro 3: Concentraciones recomendadas por etapa de crecimiento en vivero.....	27
Cuadro 4: Especies de Fusarium, huésped y distribución geográfica.....	29
Cuadro 5: Tratamientos de interacción de los niveles de riego, inoculación y fertilización propuestos	34
Cuadro 6: Análisis de varianza de cada factor y la interacción entre ellos (Riego, Fertilización y Fusarium).....	37
Cuadro 7: Medias descriptivas por tratamiento de los índices morfológicos calculados.....	40
Cuadro 8: Valores obtenidos de la regresión “distribución Weibull”	41
Cuadro 9: Estimación del tiempo que se requiere para que se presenten los síntomas de la enfermedad en la interacción de factores.....	42
Cuadro 10: Tabla “anexa” de valores para el cálculo de la sección de índices morfológicos.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de Pinus devoniana en México (CONABIO, 2009)	6
Figura 2: Incidencia acumulada de plantas enfermas para los tres niveles de riego: (R1) Esquema de riego tradicional (algunas veces diario, otras cada dos o hasta tres días), (R2) aplicación del riego cuando el peso de las charolas baje a 80% en relación con el peso de las mismas a saturación, (R3) aplicación del riego cuando el peso de las charolas baje a 70% en relación con el peso de las mismas a saturación.....	38
Figura 3: Incidencia acumulada de plantas enfermas para los dos niveles de inoculación: (Fo1) Inoculación con solución de Fusarium oxysporum y (Fo2) Sin inoculación.....	38
Figura 4: Incidencia por número de plantas enfermas respecto a su media de cada uno de los 12 tratamientos generados	39

1. INTRODUCCIÓN

En México en los últimos años se han implementado estrategias ecológicas con el fin de obtener beneficios inmediatos y que en el futuro permitan reducir los posibles impactos del cambio climático.

Entre estas estrategias destacan los acuerdos internacionales como el protocolo de Kioto (1997), Plataforma de Durban (2011), Acuerdo de Paris (2015) y Acuerdo de Glasgow (2021), mediante las cuales se acuerda preservar y expandir las zonas boscosas, cuidar la cantidad y la calidad de agua disponible, utilizar de manera más limpia y eficiente la energía producto de combustibles fósiles y desarrollar las actividades agrícolas acordes con el medio ambiente para revertir los efectos del cambio climático (IPCC, 2021).

En lo referente a preservar y ampliar las zonas boscosas de los países en desarrollo, como México, se requiere de importantes acciones de manejo, conservación y restauración forestal. Para ello la dependencia encargada en México es la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la cual en cada ejercicio fiscal destina recursos importantes para incrementar la supervivencia de las reforestaciones e incentivar la producción de planta con la cantidad, calidad y las especies requeridas acorde a los predios localizados en diferentes ecosistemas.

En el 2019 se produjeron poco más de 80 millones de árboles para reforestación, de los cuales más de 72 millones fueron mediante el uso de contenedores (charolas), 6 millones en bolsa de polietileno y 2 millones más a raíz desnuda. Las especies más cultivadas pertenecen a los ecosistemas templados. La planta utilizada se produjo en viveros de las organizaciones sociales (56 millones), de la Secretaría de la Defensa Nacional (15 millones de plantas) y el resto en viveros de gobiernos estatales, municipales y particulares (CONAFOR, 2019).

Sin importar el grado de tecnificación de los viveros, éstos han presentado problemas fitosanitarios que se reflejan en la disminución de la calidad y cantidad de plantas. De acuerdo con diagnósticos realizados a viveros forestales por la Gerencia de Restauración de la CONAFOR, los problemas frecuentes de sanidad son provocados principalmente

por hongos, entre los más importantes se encuentran *Fusarium*, *Pythium*, y *Rhizoctonia*, que causan enfermedades conocidas comúnmente como *Damping-off*, mal del semillero, secadera, ahogamiento o chupadera (SEMARNAT, 2019).

Tanto en climas templados como tropicales, algunas especies del género *Fusarium* ocasionan pérdidas económicas de gran importancia en los viveros forestales. Los ataques se presentan durante las etapas de preemergencia, post-emergencia y cuando la planta está en desarrollo (García-Díaz, 2017). La enfermedad de la secadera causada por *Fusarium* ha sido una limitante en la calidad de la planta de especies del género *Pinus*, ocasionando pérdidas de hasta un 40 % en su producción (Cibrián *et al.*, 2007).

La presencia de *Fusarium* se ha atribuido a diversos factores como la transmisión a través de semilla contaminada, agua del riego o sustrato. Una vez en el vivero, la proliferación de este patógeno puede ser favorecido por prácticas de manejo inapropiado de la planta, tales como aplicación de láminas de riego en exceso y remoción tardía de cubiertas protectoras; fertilización en exceso y ausencia de monitoreo que permita identificar los contagios en etapas tempranas de crecimiento (Gordon *et al.*, 2015).

En la presente investigación se efectuó un experimento de producción de plántula de *Pinus devoniana* Lindl. con el propósito de evaluar su respuesta e incidencia a la inoculación de *Fusarium oxysporum* bajo distintos niveles de riego y fertilización.

1.1. Objetivos

Objetivo general:

- Evaluar el efecto del riego y fertilización en la incidencia de *Fusarium oxysporum* durante el crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus devoniana* Lindl. expuestas a un ambiente contaminado por la enfermedad.

Objetivos particulares:

- Analizar el efecto del nivel de riego en la incidencia de *Fusarium oxysporum* en plantas de *Pinus devoniana* Lindl.
- Analizar la interacción del riego y fertilización en la incidencia de *Fusarium oxysporum* en plantas de *Pinus devoniana* Lindl.
- Determinar la velocidad de propagación del *Fusarium oxysporum* en plantas sanas expuestas a un ambiente contaminado por la enfermedad.

1.2. Hipótesis

A mayor intensidad de riego y fertilización, mayor incidencia de *Fusarium oxysporum* y menor tolerancia de la planta.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Clasificación de *Pinus devoniana*

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2020) y la Base de Datos de Gimnospermas (2021), taxonómicamente la especie se clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae– Plantas

Subreino: Tracheobionta– Plantas vasculares

Superdivisión: Spermatophyta– Plantas con semilla

División: Coniferophyta– Coníferas

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae– Familia de los pinos

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus devoniana* Lindley.

Sinonimia: *Pinus michoacana*

Nombre vulgar: pino, pino lacio, ocote escobetón, pino blanco, pino michoacano.

2.2. Características botánicas

Perry (1991) indicó que el fuste de los árboles llega a medir de 20 a 30 m y diámetros de hasta 1 metro cuando es adulto; fuste recto con ramas morenas oscuras, ásperas y dispuestas horizontalmente, copa densa y piramidal. La corteza agrietada áspera de color castaño rojizo, el grosor total de la corteza varía de 7 a 20 mm. Acículas en grupos de cinco a seis en varios fascículos de 30 a 35 cm de largo; ásperas, triangulares, de color verde brillante, con estomas en las tres caras, bordes finamente aserrados, con tres canales resiníferos medios. Fascículos con vainas de 25 a 30 mm de largo, de color castaño claro. Estróbilos subcilíndricos u oblongos, en grupos de dos a tres, de color moreno, base ancha, escamas con puntas cortas y gruesas. 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 de ancho (abiertos) de color moreno opaco, algo resinosos, persistentes y fuertes, extendidos o ligeramente colgantes, casi derechos o levemente encorvados, colocado en pares o en grupos de tres raras veces solitarios sobre pedúnculos gruesos y fuertes.

Durante sus primeros años muestra escaso crecimiento en altura y se asemeja a una hierba (crecimiento cespitoso), durante esta etapa desarrolla una gran raíz principal, transcurrido ese tiempo, comienza un rápido crecimiento en altura (Perry, 1991). Este tipo de crecimiento también ocurre en otras especies de pino de hoja larga como: pino chamaite (*Pinus montezumae*), pino lacio (*Pinus pseudostrobus*), pino apache (*Pinus engelmannii*), pino de hoja larga (*Pinus palustris*), pino blanco (*Pinus tropicalis*), pino de Florida (*Pinus elliottii* var. *densa*), y pino de sumatra (*Pinus merkusii*). Este pino se mezcla con *Pinus montezumae* dando origen a individuos con características intermedias entre ellos. Ambos forman parte del grupo "montezumae" que incluye también al pino de las alturas (*P. hartwegii*). Se le puede distinguir de especies similares por sus ramas gruesas y peludas, hojas largas y rígidas de color verde brillante con vainas fasciculares muy largas, oscuras y resinosas y los conos leñosos muy grandes y gruesos (Perry, 1991).

2.3. Distribución de la especie

Pinus devoniana Lindley se distribuye a lo largo de la Sierra Madre Occidental, extendiéndose por el sur hasta las montañas de Chiapas y en los estados del Centro-Sur en el Eje Neovolcánico (Figura 1). La distribución de esta especie se ubica entre los paralelos 16° 35' a 21° 15' de latitud Norte y meridianos 92° 15' a 105° 05' de longitud Oeste. En México se le ha observado y reportado en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Veracruz, Guanajuato, Tlaxcala, Zacatecas, Colima, Hidalgo y Puebla (Aceves *et al.*, 2018).



Figura 1: Distribución de *Pinus devoniana* en México (CONABIO, 2009).

2.4. Importancia de *Pinus devoniana* en México

A nivel mundial, el género *Pinus* está constituido por más de cien especies, es el género de coníferas más extenso del hemisferio norte incluyendo México (Eckert y Hall, 2006). Aproximadamente el 85% de los recursos maderables a nivel mundial, proviene de este grupo de especies forestales. En México estas especies se destacan por su distribución e importancia económica, por ejemplo, *Pinus devoniana* es endémica de México y Guatemala (CONABIO, 2009).

La importancia económica de *P. devoniana* radica en que la madera es de buena calidad, se utiliza en ebanistería, en la fabricación de muebles, duelas, parquet, leña y para la producción de resinas en los estados de Michoacán, México y Oaxaca; su madera se destina principalmente a la industria de la celulosa y el aserrío, de donde se obtienen una gran diversidad de productos con un valor económico elevado (Flores-Velázquez *et al.*, 2007). Sin embargo, *P. devoniana* requiere de un largo periodo de tiempo para poder ser aprovechado, ya que tarda al menos 10 años en alcanzar la talla necesaria para su explotación comercial (Zepeda y Acosta, 2000).

2.5. Producción de planta de calidad en vivero

La calidad de planta se ha definido como: “Capacidad que tienen las plantas para adaptarse y desarrollarse a las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero” (Prieto *et al.*, 2009).

Otra definición de planta de calidad: “es la que reúne las características morfológicas y fisiológicas necesarias para sobrevivir y crecer en las condiciones ambientales en las que será plantada” (Duryea, 1985; Rodríguez, 2008).

En el proceso de producción o propagación de planta el viverista debe llevar a cabo diversas acciones dentro del cultivo, todas ellas con el fin de propiciar las condiciones ambientales óptimas; así como la disponibilidad de los recursos e infraestructura necesarios que influyan de manera positiva en la germinación, desarrollo y crecimiento del material vegetativo (Haase, 2008).

Existen muchos factores y consideraciones importantes en el manejo de las condiciones dentro de los viveros forestales: riego eficiente, aplicación de fertilizantes, manejo de la sombra, densidad de plantas, diseño y tamaño de contenedor, por mencionar algunos. El manejo integral de esos factores traerá consigo el desarrollo de plántulas que cumplan con las características morfológicas deseadas y de esa manera potenciar la producción de planta de calidad (Landis *et al.*, 1990).

Cuando los viveros producen planta de calidad, se tienen altas probabilidades de tener éxito en los procesos de reforestación, debido a que este material vegetativo tiene mayores probabilidades de supervivencia y desarrollo cuando se establece en un lugar que cumpla con los requerimientos mínimos ambientales necesarios para esa especie (Mas, 2003).

La calidad de planta se evalúa a través de una serie de parámetros morfológicos (forma y estructura) y fisiológicos (funciones y procesos vitales) que se utilizan para describir a la planta en el momento de su establecimiento y que permitirán un seguimiento más controlado de su comportamiento en campo. Por lo tanto, los árboles

de buena calidad se escogen de un tamaño apropiado según los estándares de la especie. Deben estar sanos, frondosos, de buen porte y presentar una proporción balanceada entre la parte aérea y la raíz (Rodríguez, 2008).

Para obtener mejores resultados de supervivencia en el establecimiento de plantaciones o reforestaciones, el utilizar planta de calidad es una de las decisiones que asegura en mayor medida el éxito (Grossnickle y South, 2017).

2.5.1. Atributos morfológicos

La morfología de la planta se define por la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero (Birchler *et al.*, 1998).

Los parámetros morfológicos de la planta son atributos determinados física o visualmente y son utilizados para determinar la calidad de la planta. Pese a su importancia, estos no son determinantes al evaluar el desempeño de las plantas después de su plantación en campo, ya que la supervivencia y crecimiento en esa etapa están influenciados por las condiciones ambientales del sitio de establecimiento (Gomes *et al.*, 2002).

Los atributos morfológicos son el resultado de una serie de respuestas fisiológicas a la disponibilidad de recursos y a los tipos de estrés durante la fase de cultivo. Lo deseable es que la planta alcance los valores dentro de los rangos apropiados, lo cual implica por una parte que el desarrollo de la planta sea grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical estén equilibradas (Cobas *et al.*, 2001).

La morfología es la manifestación física de las plantas y los atributos físicos más importantes son:

a) Altura.

Es muy utilizada como indicador de calidad ya que es fácil de medir y suele ser buen predictor de la altura futura en campo, aunque por sí sola no es recomendable considerarla como parámetro de calidad ya que ofrece de manera somera una aproximación al área fotosintética y de transpiración (Mexal y Landis, 1990).

Influye en la competencia de la planta con la vegetación herbácea y arbustiva que la rodea. Para las especies del género *Pinus* de rápido crecimiento se recomienda que, al momento de trasladar las plantas a campo, éstas tengan alturas entre 15 y 30 cm (Norma Mexicana para la certificación de viveros forestales, 2016); para las especies con crecimiento cespitoso la altura no se considera determinante. Al realizar la aplicación de riego y fertilización de manera adecuada, la altura es modificada dentro del vivero (Sharma y Negi, 2018).

Un error común que suele presentarse es correlacionar el comportamiento en campo con la altura de la planta, excluyendo otros parámetros. Diferentes estudios han concluido que la altura inicial de las plantas no se correlaciona o lo hace de forma negativa con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura después de la plantación (Birchler *et al.*, 1998).

b) Diámetro del cuello de la raíz.

Se considera que esta variable morfológica es la característica de calidad más importante y es utilizada para predecir la supervivencia de la planta en campo. Está asociada al vigor de la planta en campo y es un parámetro que define la robustez del tallo (Ivetic *et al.*, 2016).

Se ha experimentado y comprobado que las plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva; aunque esto varía con la especie (Cobas *et al.*, 2001).

El diámetro es fácil de medir y da una aproximación de la sección transversal del transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo. Además, está influenciado por la densidad del cultivo en vivero y puede verse afectado por prácticas culturales como el repicado apical y también se puede mejorar a través de un aumento en la velocidad y la uniformidad en la germinación (Birchler *et al.*, 1998).

Si se asocia a una estimación de la biomasa de la raíz, el diámetro se puede utilizar para predecir la supervivencia de la planta en campo. En diferentes estudios se ha encontrado que a mayor diámetro, mayor tasa de supervivencia tienen los brinzales y

ésta aumenta de 5 a 7% por cada milímetro de incremento en el diámetro de los mismos. Cuando las plantas alcanzan un diámetro entre 5 y 6 mm, usualmente logran alcanzar una supervivencia alta (> 80%) (Mexal y Landis, 1990).

c) Sistema radical.

El sistema debe desarrollar una raíz principal la cual debe ser recta, con raíces secundarias fibrosas y abundantes puntos de crecimiento, las cuales son de color blanco lechoso. Entre más grande sea el sistema radical de la planta, tendrá más puntos de crecimiento y mayor posibilidad de explorar el suelo para captar agua y nutrientes, además, incrementará la probabilidad de asociación micorrícica (Schultz y Thompson, 1990).

Las raíces laterales que emergen de la raíz principal crecen hacia abajo al chocar con las paredes del contenedor, contrario a su desarrollo horizontal natural (Escobar, 2012). Cuando se utilizan cavidades muy pequeñas o las plantas permanecen en las charolas por mucho tiempo la deformación se acentúa y se generan raíces laterales con crecimiento envolvente y ascendente, formando algunas veces una madeja de raíces (Sung y Dumroese, 2013).

Para prevenir dichas deformaciones en las raíces una práctica muy importante que se realiza en los viveros es la “poda de raíces laterales”. Para poder efectuarla se han puesto en práctica dos técnicas principales: 1.- Poda radical química que consiste en impregnar con sales de cobre (Cu) las paredes interiores de las cavidades donde se producen las plantas y 2.- Poda radical aérea que se efectúa mediante el uso de tubetes y charolas de plástico con aberturas laterales (Sánchez *et al.*, 2016).

La deformación radical generada en vivero persiste y se incrementa en campo, ocasionando reducción en el crecimiento de la planta y susceptibilidad a patógenos y fenómenos naturales extremos (Sung y Dumroese, 2013).

A nivel general se ha señalado que la planta producida con poda radical desarrolla en campo una raíz con crecimiento similar al de las plantas de regeneración natural. Adicionalmente se menciona que presenta supervivencia, crecimiento y resistencia a patógenos superiores a la planta sin poda (Regan *et al.*, 2015).

La importancia de la presencia de raíces finas radica en que en ellas se produce la absorción de agua y nutrimentos, ya que suelen ser más activas y permeables, frente a las gruesas, cuya misión se concreta fundamentalmente en el anclaje de las plantas (Davis y Jacobs, 2005).

El desarrollo del sistema radical depende principalmente del agua que contenga el sustrato y es determinante en su crecimiento y desarrollo. El crecimiento de la raíz no se produce de manera proporcional al agua que recibe; por lo tanto, si una planta recibe abundante agua el crecimiento de la raíz no se estimulará de manera importante, pero si el agua escasea, será necesario que la planta tenga un sistema radical amplio para que sobreviva (Schultz, 1989).

El porcentaje de raíces finas favorece aquellos tratamientos que presentan un nivel fuerte de endurecimiento del sistema radical. Lo anterior está fundamentado en que la planta cuando se desarrolla en un sustrato con abundante agua, disminuye el desarrollo de las raíces finas, pues no presenta limitante alguna para absorber agua del suelo, lo mismo puede suceder cuando las condiciones de humedad son adversas en el sustrato, donde se inhibe el desarrollo de raíces finas. (Grossnickle, 2005).

d) Biomasa aérea y radical.

La biomasa aérea y de raíz (peso) es el reflejo del desarrollo que logró la planta en vivero. Tiene fuerte correlación con la supervivencia y el crecimiento de las plantas en campo. Al igual que el diámetro del tallo, la biomasa de la parte aérea es un indicador de la superficie fotosintética y del área de transpiración, además representa la capacidad de la planta para almacenar carbohidratos (Robles *et al.*, 2017).

El peso seco es un indicador efectivo cuando se relaciona el peso seco de la parte aérea con el peso seco del sistema radical. La poda de raíz y/o de la parte aérea, el aumento del área de crecimiento y la siembra temprana mejoran la relación peso de raíz/peso del tallo (Araujo *et al.*, 2007).

En términos generales, se ha visto que en plantas con poda de raíz se tienen crecimientos mayores y mejores rendimientos al momento de establecerse en campo. Los incrementos de biomasa (altura y diámetro) y las proporciones de la parte aérea y radical, se ven influenciados de manera positiva por esta práctica (South *et al.*, 2016).

2.5.2. Fisiología de la planta

El análisis fisiológico de las plantas requiere de llevar a cabo mediciones de parámetros fisiológicos de manera puntual, ya que estos describen el estado de la planta en el momento de realizar la medición. Suelen cambiar rápidamente y su validez no se extiende más de cuatro semanas, con ello se pueden establecer diferencias en cuanto al estado fisiológico de las plantas (Villalón-Mendoza *et al.*, 2016).

Para evaluar la aptitud de cierto número de plantas no basta con analizar un solo parámetro, sino que deben estudiarse varios de ellos y las relaciones que puedan surgir de sus interacciones. Algunos de ellos son el crecimiento potencial de la raíz, el estado hídrico y el nivel de nutrimentos (García, 2007).

a) Contenido de humedad.

Es el estado hídrico de la planta y se presenta de manera dinámica ya que sufre cambios dependiendo de la humedad que exista en el sustrato y en el ambiente; cuando las plantas están sometidas a déficit hídrico por periodos prolongados de tiempo el proceso de asimilación de CO₂ y de transpiración se alteran, lo que genera déficit en los procesos fotosintéticos y a su vez, un efecto negativo en su crecimiento (Prieto *et al.*, 2012).

b) Contenido de nutrimentos.

Cuando el contenido de nutrimentos es bajo, la tasa de crecimiento se ve limitada e inician una serie de síntomas que son propios de cada especie y de cada ambiente. Para prevenir la deficiencia de nutrientes en la planta se deben conocer de manera anticipada los que están presentes en el sustrato y los iniciales en el follaje; con ello se logra tener un punto de referencia para que sea comparado en cualquier estadio posterior de la planta (Herrera *et al.*, 2014).

Para el desarrollo óptimo de la planta los nutrimentos deben estar disponibles en la cantidad y momento adecuados. En caso contrario las plantas se verán afectadas en su crecimiento, productividad y estado fisiológico (Ritchie, 2003).

Los requerimientos de nutrimentos son particulares para cada especie; estos requerimientos no son constantes y cambian según como las plantas crecen y se desarrollan (Birchler *et al.*, 1998). El contenido de nutrientes junto con el manejo del riego son probablemente las prácticas culturales de mayor importancia en la producción de planta, especialmente en contenedores (Landis *et al.*, 1989).

Los viveristas se auxilian de la fertilización para mantener el estado nutrimental de las plantas, con ello se contribuye a tener plantas vigorosas y que sean capaces de resistir la etapa de trasplante. El crecimiento depende de los niveles de nutrimentos que puede aportar el sustrato y los que se adicionan; por ello, se recomienda conocer el nivel óptimo de nutrientes dependiendo de la fase de crecimiento en que se encuentran las plantas (Landis *et al.*, 1989).

En el año 2009 la CONAFOR propuso una serie de parámetros que indican las características requeridas en calidad de planta (Cuadro 1).

Cuadro 1: Parámetros fisiológicos y morfológicos de calidad de planta establecidos por la Comisión Nacional Forestal en México.

Parámetro	Tipo de planta	Cualidades
Procedencia del germoplasma	Para todo tipo	Fuente identificada
Diámetro del tallo (Medido en mm y al cuello, 3-5 mm del nivel del sustrato)	Coníferas NO cespitosas	Mínimo 4 mm
	Coníferas cespitosas	Mínimo 6 mm
	Latifoliadas	Mínimo 5 mm
Altura de la planta (Medida de cm del cuello a la punta apical del tallo)	Coníferas NO cespitosas	15 a 25 cm
	Coníferas cespitosas	No aplica
	Latifoliadas	20 a 35 cm
Raíz	Para todo tipo	Con un eje central y raíces laterales bien distribuidas, sin malformaciones o nudos abundantes puntos de Crecimiento
Micorrizas	Pinos	Cobertura en cepellón mínima al 40%
	Latifoliadas	No visibles a simple vista
Lignificación	Para todo tipo	Al menos 2/3 del tallo principal
Vigor	Para todo tipo	Color de follaje propio de la especie
Integridad	Para todo tipo	Sin daños mecánicos
Sanidad	Para todo tipo	Sin alteraciones morfo-fisiológicas y libre de plagas y enfermedades bióticas y abióticas

Fuente: CONAFOR (2009)

2.5.3. Interacción de variables

La forma en la que algunos de los parámetros descritos en la sección anterior interactúan determina parámetros más confiables para evaluar la calidad de planta. Al

relacionar más de una variable, se disminuye el error de evaluar una característica determinada como elemento único y se propicia un mejor análisis al considerar a la planta como un conjunto de variables que están interactuando (Saenz *et al.*, 2014).

a) Índice de robustez (relación altura/diámetro).

La robustez se considera una característica que influye en el desempeño temprano de la plantación. Se determina mediante la relación entre la altura y el diámetro y su valor para coníferas no cespitosas debe ser menor a seis. Es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por viento, de su supervivencia y crecimiento en sitios secos. Valores más altos indican que la planta es delgada del tallo en relación a la altura que tiene (Landis *et al.*, 1990).

Bajo condiciones favorables, la planta de mayor tamaño generalmente crece mejor que planta más pequeña; sin embargo, en sitios con restricciones la planta más grande no sobrevive tan bien como la de menor tamaño (García, 2007).

b) Relación altura del tallo: longitud de la raíz principal (AT:LR).

Ayuda a predecir el éxito de la plantación. Debe existir equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radical de la planta. La relación 1:1 favorece altas tasas de supervivencia en los sitios de plantación sin limitantes ambientales; en sitios con limitantes de humedad se sugiere utilizar brinzales con relaciones de 0.5:1 a 1:1; mientras que en sitios sin limitantes de humedad las relaciones pueden ser de 1.5:1 a 2.5:1. Se recomienda que los viveristas y plantadores establezcan la relación deseada en base a las especies y características del sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2009).

c) Relación peso seco de la parte aérea y el peso seco del sistema radicular.

La producción de biomasa tanto de la parte aérea como de las raíces de la planta es importante debido a que refleja el desarrollo de la planta en vivero. Una relación igual a uno, significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez, 2008).

Una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.5 ya que valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta; el cociente de esta relación no debe ser mayor a 2.5, particularmente cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación (García, 2007).

d). Índice de calidad de Dickson (ICD).

Dickson y colaboradores (1960) desarrollaron un índice de calidad que permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir el comportamiento de las plántulas en campo. Este índice agrupa variables relacionadas con la calidad de planta. A mayor valor del índice, mejor calidad de planta. El índice de calidad de Dickson (ICD) se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco de raíz (g)}}}$$

Este índice es el mejor parámetro para indicar la calidad de planta, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar planta de menor altura, pero con mayor vigor (Fonseca *et al.*, 2002).

Para poder clasificar los valores de los atributos morfológicos y fisiológicos de las variables anteriores y asignarle un intervalo de calidad de planta se utilizó como referencia el Cuadro 2:

Cuadro 2: Intervalos de calidad de planta de *Pinus devoniana* para los atributos morfológicos y fisiológicos.

Variable	Tipo de planta	Calidad		
		Baja	Media	Alta
Altura (cm)	Conífera no cespitosa	<10.0	10.0 -11.9	≥12.0
	Conífera cespitosa	<3.5	3.5 - 4.9	≥5.0
	Latifoliada	<12.0	12.0 – 14.9	≥15.0
Diámetro (mm)	Conífera no cespitosa	<2.5	2.5 – 3.9	≥4.0
	Conífera cespitosa	<6.0		≥6.0
	Latifoliada	<2.5	2.5 – 4.9	≥5.0
Índice de Esbeltez	Conífera no cespitosa	≥8.0	7.9 – 6.0	<6.0
	Conífera cespitosa	≥6.0		<6.0
	Latifoliada	≥8.0	7.9 – 6-0	<6.0
Relación PSA/PSR	Todas	≥2.5	2.4 – 2.0	<2.0
Índice de Dickson	Todas	<2.0	0.2 – 0.4	≥0.5

*Modificado de Sáenz *et al.* (2014), Rodríguez (2008) y Conafor (2009).

La implementación de labores de manejo cultural desde el vivero, el tipo de sustrato, el tipo de contenedor, la calidad de la semilla, el régimen de nutrición y el manejo adecuado del agua de riego, son los elementos principales para obtener planta con las mejores características morfológicas y fisiológicas (Leyva, 2008).

En la actualidad existen escasos estudios de producción de planta en vivero para *Pinus devoniana*, debido a que la planta tiene un crecimiento cespitoso, sin embargo, Bernaola *et al.* (2016), recomiendan que la producción de plantas en vivero de *Pinus devoniana* se lleve a cabo utilizando un sistema de doble trasplante, propuesto por Salcedo *et al.* (2012), que se basa en el traspaso de la planta producida en charola a contenedores individuales con volumen más grande.

Este método registra un incremento en las biomásas aérea y radical. A pesar de que los costos de producción aumentan, también se garantiza mayor éxito en la supervivencia y desarrollo en campo (Ritchie, 2003).

2.6. Conceptos básicos de riego en vivero

Se tiene identificado que el agua es un factor primordial para la producción de plantas. En condiciones naturales representa la principal limitante, debido a la disponibilidad y distribución de la misma. Casi todos los procesos fisiológicos de la planta están afectados en mayor o menor medida por el agua. La influencia del agua en el proceso de las plantas se refleja en los puntos siguientes (Peñuelas y Ocaña, 1996):

- Constituye del 80 al 90% del peso fresco de la planta.
- Es el medio de transporte para los nutrientes dentro de la planta.
- Es un reactivo bioquímico en muchos procesos de la planta, el principal es la fotosíntesis.
- El agua es el principal factor que mantiene la turgencia de las células de las plantas.
- Es indispensable para la transpiración y el intercambio gaseoso.

El contenido de agua en una planta en un cierto momento, está dado por la cantidad de agua que se transpira menos la cantidad de agua que se absorbe. La diferencia entre estas dos cantidades es la tensión de agua dentro de la planta. Si la tensión de agua es muy grande, pueden ocurrir daños fisiológicos en la planta por falta de agua, es recomendable mantener los niveles de tensión de agua lo más bajos posibles durante la fase de crecimiento rápido (Landis *et al.*, 1989).

El estado hídrico juega un papel importante en el desarrollo y calidad de la planta. El proceso más afectado por un déficit de agua en la planta, es el crecimiento o expansión celular, sin embargo, también se pueden producir los siguientes efectos: acumulación de solutos y hormonas que retrasan el crecimiento, reducción en la síntesis de proteínas y reducción de la fotosíntesis, entre otros (White *et al.*, 2019).

Según Landis *et al.* (1989), existen los siguientes factores que afectan la disponibilidad de agua para las plantas:

a) El sustrato

Se caracteriza por tener alta capacidad de retención de agua, por sus componentes orgánicos, esta retención está basada en las características de textura y estructura y composición del sustrato. El movimiento del agua en sustrato, se da por medio de la infiltración y la conductividad capilar. El nivel de infiltración está relacionado directamente con la porosidad del medio, y es el nivel en el cual es absorbida el agua de riego en el sustrato (Ansorena, 1994).

La conductividad capilar es el nivel de movimiento del agua, que está dentro del sustrato, este movimiento es producido principalmente por el consumo de agua de la planta. Cuando se riega un contenedor, el agua que se infiltra en el sustrato se mueve hacia el fondo de la celda y dependiendo de la porosidad del sustrato, el agua es fácil de utilizar o no por las plantas. La porosidad total debe estar alrededor del 75% y la porosidad de aireación en torno a un 30% (Salto *et al.*, 2013).

b) El contenedor

La retención y el movimiento de agua dentro del sustrato en un contenedor, son diferentes a lo que ocurre en un suelo no confinado. Cuando el agua se infiltra en el contenedor, ésta llega hasta el fondo, pero no se drena hasta que la fuerza producida por la altura de la columna de agua vence las fuerzas de adhesión y cohesión (Prieto *et al.*, 2007).

Esto produce que siempre exista una capa de sustrato saturado en el fondo del contenedor; mientras más fina sea la textura del sustrato, mayor será la capa de sustrato saturado en el fondo de la celda. La capa de sustrato que queda arriba de esta capa saturada es el sustrato de drenado libre (Salto *et al.*, 2013).

Las pérdidas de agua en los contenedores se pueden dar por dos factores, evaporación y transpiración, cuando ocurren los dos al mismo tiempo se dice que hay

pérdidas por evapotranspiración. La cual aumenta con altas temperaturas, baja humedad y circulación de aire (Landis *et al.*, 1989).

2.6.1. Calidad y cantidad del agua

La calidad y cantidad de agua aplicada a las plantas es determinante para su producción. Un vivero exitoso debe contar con agua de buena calidad durante el ciclo de cultivo. La calidad está determinada por dos factores: a) la concentración y composición de sales disueltas (salinidad total e iones tóxicos individuales) y, b) la presencia de hongos fitopatógenos, semillas de malezas, algas, y posible contaminación con plaguicidas (Landis *et al.*, 1989).

La cantidad de agua utilizada para producir planta forestal depende de: el clima (temperatura, humedad relativa, radiación solar y evapotranspiración), el tipo de sistema de riego, el sustrato utilizado y las características de la planta (Moya, 2009).

La frecuencia y la cantidad de riego están dadas por las necesidades de cada especie, el tipo de contenedor, sustrato utilizado y la combinación de estos. Los riegos se deben aplicar en cantidad suficiente para saturar el sustrato y permitir una pequeña lixiviación (10% aproximadamente) de modo que arrastre las sales sobrantes de la solución del medio de cultivo (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Es muy importante realizar análisis de la calidad del agua antes de regar y durante el período de riegos. Algunas consideraciones importantes para efectuar los riegos son:

- La cantidad de agua por aplicar y la periodicidad de los riegos depende de la humedad relativa y temperatura prevaleciente en el sitio de la producción y de la fase de crecimiento de las plantas.
- En la etapa de establecimiento regar en forma ligera; el exceso de humedad propicia que el sistema radical tenga un crecimiento limitado y aumenta la probabilidad de aparición de enfermedades y/o plagas.
- En la etapa de crecimiento rápido aplicar riegos fuertes para que el sustrato se mantenga con la humedad suficiente en todo el cepellón.

- Nunca dejar que la planta alcance el punto de marchitamiento permanente. El doblamiento de la yema principal es un indicador físico de estrés en las plantas.
- Los riegos alternados con periodos secos minimizan la proliferación de musgo y algas.
- El sustrato debe tener humedad uniforme en todo el contenedor.

Para poder hacer las correcciones necesarias. Las más comunes son: acidificación, osmosis revertida, desionización, ablandadores de agua, cloración y filtración (Kent y Zwiazek, 2004).

Daniels y compañía (2012) mencionan que es importante determinar la humedad del sustrato en los envases, cuando el volumen es limitado, pueden desarrollarse tensiones hídricas críticas en poco tiempo. Cualquier método debe basarse en observaciones reales y en la experiencia de los viveristas. Algunas alternativas son:

a) Revisión visual y táctil

Consiste en observar la humedad disponible en la superficie del sustrato y/o extraer el cepellón de algunos envases tomados aleatoriamente y analizar el nivel de humedad visible en el cepellón, la humedad no debe ser menor a 1/3 de su longitud. Otra alternativa es observar la condición de la planta, cuando la yema apical tiende a doblarse, es señal de que existe estrés en las plantas. Pese a las obvias limitaciones, la técnica visual y táctil es ampliamente utilizada y resulta efectiva cuando el viverista tiene conocimientos y experiencia (Blom *et al.*, 2008).

b) Peso del contenedor

El peso de la charola depende de varios factores: tipo y tamaño de contenedor, características del sustrato, grado de compactación del sustrato, especie cultivada y etapa de crecimiento de la planta (Daniels *et al.*, 2012). El viverista puede determinar cuándo regar mediante el pesado de varios contenedores, con diferentes niveles de humedad, desde saturado hasta semiseco. Para determinar el peso de los contenedores se requiere una báscula de precisión; el procedimiento de pesado del contenedor debe ser ajustado en relación al peso de la planta (Dumroese *et al.*, 2006).

Las principales fuentes de agua en los viveros son los pozos profundos, canales de riego superficial, estanques artificiales o una combinación de ellos. Generalmente existe también una fuente secundaria de agua que asiste a la principal cuando esta falla o es insuficiente, tales como estanques de reserva o riachuelos cercanos (Dumroese *et al.*, 2006).

2.7. Fertilización en los viveros forestales

Después del riego, la fertilización es la práctica más importante en el crecimiento de las plantas, ya que influye en la regulación del crecimiento, en el flujo de energía y en la síntesis de complejos orgánicos moleculares (Trubat *et al.*, 2010).

Los fertilizantes al ingresar al sustrato se reducen a iones que son absorbidos por las partículas del medio de crecimiento, estos iones nutrientes permanecen en el medio hasta que son absorbidos por las raíces (Douglas y Landis, 2009).

El consumo de los nutrientes por las raíces se realiza a través de dos formas de absorción: La forma pasiva, que es el movimiento de iones nutrientes del medio de cultivo hacia el interior de las raíces utilizando como medio de transporte el agua, que es absorbida a su vez debido a la diferencia de presiones causada por la transpiración (Garate y Bonilla, 2000).

La forma activa, es cuando ocurre la absorción de los nutrientes aún en contra de un gradiente osmótico entre las células de las raíces y las partículas del sustrato. La principal diferencia entre la absorción pasiva y la activa es que la pasiva no utiliza energía para la absorción de nutrientes, mientras que la activa sí (Landis *et al.*, 1989).

La deficiencia de un nutriente, está dado por una baja concentración del nutriente en la planta. Esta baja concentración causa trastornos fisiológicos en la planta. Cuando la concentración es muy baja la planta puede exhibir síntomas en su follaje que son llamados síntomas de deficiencia, cada nutriente tendrá un exclusivo síntoma de deficiencia cuando sus concentraciones sean bajas (Douglas y Landis, 2009).

2.7.1. Factores físicos y químicos de los nutrientes

El medio de crecimiento utilizado comúnmente en la producción de plantas en contenedores, tiene dos componentes principales: orgánico e inorgánico, rara vez se utiliza suelo en la mezcla del sustrato (Gallardo, 2003).

Landis y otros (1989), mencionan que este tipo de sustrato artificial puede crear los siguientes problemas:

- Sensibilidad al amonio: las raíces se pueden dañar debido a una alta concentración de amonio. Esta alta concentración de amonio es debido a la bajas tasa de conversión de amonio a nitrato, afectadas por el pH bajo del sustrato.
- Lixiviación de fósforo: Los químicos que ayudan a fijar el P (óxido de Fe y Al) no están presentes en el medio artificial, así que el P se pierde por lixiviación al no ser fijado en el medio.
- Deficiencia de micronutrientes: Es debido a que en el medio artificial no se encuentra una cantidad suficiente de nutrientes de este tipo. En etapa de crecimiento se debe tener un pH menor para facilitar la retención de micronutrientes. El mejor pH para medios de cultivo artificial u orgánicos está dentro del rango de 5.5 a 6.0, ya que a altas concentraciones se produce una baja en la absorción de otros (Antagonismo).
- pH menor: La baja fertilidad de los medios de cultivo artificiales, se convierte en una ventaja para el viverista, porque él puede decidir las concentraciones de nutrientes que se van mantener, el equilibrio adecuado y el tiempo en que las plantas recibirán sus nutrientes. Además, se facilita la lixiviación de todos los nutrientes del sustrato.

2.7.2. Características de los fertilizantes

Según Landis *et al.* (1989) los fertilizantes se clasifican dependiendo de los nutrientes que contengan, en: Fertilizantes macronutrientes (N, P, K), Fertilizantes secundarios (Ca, Mg, S) y Fertilizantes micronutrientes.

a) Fertilizantes de macronutrientes:

Las presentaciones de estos tipos de fertilizantes pueden ser líquidas o sólidas. En las presentaciones sólidas los fertilizantes se presentan en forma de gránulos. Las presentaciones líquidas o sólidos solubles, por lo regular se utilizan en sistemas de inyección de fertilizante al riego. El contenido de nutrientes de estos fertilizantes, esta expresado en forma de porcentaje de nitrógeno, más los porcentajes de óxidos de fósforo y de potasio. Así un fertilizante 20-20-20 tendrá 20% de nitrógeno, 20% de P_2O_5 (8.8% de fósforo) y un 20% de K_2O (16.6% de potasio) (Zewide y Reta, 2021).

Los iones de nitrógeno que más se consumen son el amoníaco y el nitrato, siendo este último el más fácil de absorber para las plantas. El nivel de liberación de nutrientes, depende del tipo de fertilizante, así un fertilizante líquido liberará el nutriente más rápidamente que un fertilizante sólido. Por esto los fertilizantes sólidos se recomienda incorporarlos en la mezcla del sustrato, mientras que los fertilizantes líquidos se usan en fertiirrigaciones. Existe en la actualidad fertilizantes sólidos de liberación lenta o controlada, útiles para programas de fertilización (Garate y Bonilla, 2000).

El pH y el nivel de sales del suelo son afectados por el tipo de fertilizantes que se utilicen. Cada fertilizante posee un índice de sal, y el viverista debe escoger el fertilizante con menor índice de producción de sales. Los fertilizantes a base de amonio tienden a bajar el pH del medio, mientras los fertilizantes a base de nitrato lo tenderán a elevar (Garate y Bonilla, 2000).

El tipo de fertilizante también influye en la eficiencia de la planta para utilizar los nutrientes. Los fertilizantes líquidos son los menos eficientemente absorbidos por las plantas, mientras que los fertilizantes sólidos de liberación lenta son el caso contrario (Landis *et al.*, 1989).

b) Fertilizantes de nutrientes secundarios:

En este grupo los más importantes son el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg) los cuales se pueden incorporar a través de cales. Otro elemento a considerar es el azufre (S) y este se puede incorporar a través del agua; pero en general estos nutrientes se presentan en los fertilizantes de macronutrientes como complemento (Garate y Bonilla, 2000).

c) Fertilizantes de micronutrientes:

Debido a la naturaleza de los sustratos, se hace necesaria la incorporación de micronutrientes. Un tipo de fertilizante de micronutrientes son las sales inorgánicas, las más comunes son los sulfatos de Fe, Cu, Mn y Zn. Otro tipo de fertilizantes son los Quelatos sintéticos, que son moléculas formadas por los iones metálicos recubiertos con un agente quelante (orgánico), que protege al micronutriente de la inactivación química (Landis *et al.*, 1989).

2.7.3. Concentración de nutrientes

La forma más común de medir la concentración de los nutrientes es por medio de las partes por millón o ppm. Las ppm son medidas proporcionales de concentración y 1 ppm es igual a 1 mg/L (Steenis, 1997)

Si hay exceso en la concentración de ciertos iones, podrá afectar la absorción y utilización de otros; además el equilibrio iónico afecta el pH de la solución del sustrato. Una de las investigaciones que se han hecho sobre el equilibrio de nutrientes, es la proporción de uso entre fertilizantes de nitrato y de amonio. Se ha llegado a la conclusión que, en un vivero, se debe usar menos del 40 al 50% de nitrógeno amoniacal en sus fertilizaciones. Esto debido a que concentraciones muy altas de iones de amonio en el sustrato pueden dañar la raíz (Metcalf *et al.*, 2011).

2.7.4. Niveles nutricionales recomendados en las etapas de crecimiento

Debido a que la necesidad de nutrimentos varía conforme las plantas crecen, el nivel de nutrimentos, principalmente N, P y K, debe ajustarse a las diferentes fases de crecimiento: establecimiento, crecimiento rápido y endurecimiento o preacondicionamiento (Landis, 1989).

La etapa de establecimiento es la que comienza con la siembra de las semillas, pasando por la germinación, emergencia y desarrollo de las primeras hojas verdaderas o de las acículas primarias; en general se recomienda que la concentración P en comparación con los otros macronutrientes (N y K) sea mayor, por ejemplo, se podría utilizar un fertilizante de fórmula 9-45-15 (Dumroese *et al.*, 2012).

La etapa de crecimiento rápido o desarrollo inicia cuando las plantas terminan su estadio cotiledonar y finaliza cuando alcanzan aproximadamente 80% de la altura. El nutriente principal deberá ser el nitrógeno, por lo que fórmulas como el 18-6-18 son aceptables para esta etapa (Garate y Bonilla, 2000).

La fase de endurecimiento comprende la fase final de crecimiento de las plantas en vivero; tiene como objetivo favorecer la lignificación de la planta para que soporte su manejo hasta el establecimiento en campo, resista el estrés hídrico y los cambios ambientales existentes en el sitio de plantación. Los cambios físicos que pueden apreciarse son la formación de la yema terminal y reducción en la tasa de crecimiento apical; en cambio, el diámetro del cuello tiende a engrosar. El potasio es el de mayor concentración entre los tres macronutrientes, por lo que se pueden utilizar fertilizantes como el sulfato de potasio o mezclas como el 11-20-35 (Landis *et al.*, 1989; Leyva *et al.*, 2008).

En el siguiente cuadro se presentan las concentraciones de nutrientes en partes por millón, recomendadas para las distintas etapas de crecimiento en un vivero forestal.

Cuadro 3: Concentraciones recomendadas por etapa de crecimiento en vivero.

Nutriente	Concentraciones recomendadas (ppm)		
	Establecimiento	Crecimiento rápido	Endurecimiento
Macronutrientes			
N	50	150	150
P	100	60	60
K	100	150	150
Ca	80	80	80
Mg	40	40	40
S	60	60	60
Micronutrientes			
Fe	4.00	4.00	4.00
Mn	0.80	0.80	0.80
Zn	0.32	0.32	0.32
Cu	0.15	0.15	0.15
Mo	0.02	0.02	0.02
B	0.50	0.50	0.50
Cl	4.00	4.00	4.00

Fuente: Landis *et al.* (1989).

Para llevar a cabo la incorporación de fertilizantes al medio de crecimiento existen 2 presentaciones principales: fertilizantes secos y fertilizantes líquidos. Para incorporar los primeros se recomienda realizarlo en la etapa de mezclado. Las ventajas que se tienen son que no se necesita de un equipo especial de inyección, los costos de mano de obra son bajos, se pueden mantener niveles de aceptables de nutrientes minerales durante los meses de lluvias en los viveros al aire libre. Lo más recomendable es utilizar la incorporación de fertilizantes en la mezcla, junto con la fertirrigación (Landis *et al.*, 1989).

En general se recomienda que los fertilizantes se incorporen momentos antes de ser utilizada la mezcla, debido a que pueden aumentar la cantidad de sales en el medio si son almacenados durante largo tiempo (Garate y Bonilla, 2000).

El yeso y la cal dolomítica pueden ser mezclados con anterioridad, estos no producen problemas de acumulación de sales. Los fertilizantes sólidos que comúnmente se incorporan al medio son aquellos que contienen nutrientes como el P, Ca y Mg, que son insolubles y difíciles de lixiviar. También se utilizan los fertilizantes de liberación lenta, tales como los Osmocote® y Multicote® (Artero *et al.*, 1999).

Existen en el mercado fertilizantes de micronutrientes que se pueden incorporar al sustrato en el proceso de mezclado. Los principales tipos de fertilizantes son los quelatados y los de liberación lenta. Sin embargo, por sus costos y desventajas técnicas, se recomienda usar fertilizantes líquidos para la incorporación de micronutrientes. (Lucena, 2009).

2.8. Descripción y distribución de *Fusarium Sp.*

De acuerdo con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No. 8 “Determinación de la situación de una plaga en un área” (CIPF, 2017), *Fusarium* es un hongo patógeno que se encuentra presente en México.

Taxonómicamente la especie se clasifica de la siguiente manera (EPPO, 2020):

Reino: Fungi

Phylum: *Ascomycota*

División: *Deuteromycota*

Clase: *Sordariomycetes*

Orden: *Hypocreales*

Familia: *Nectriaceae*

Género: *Fusarium*.

Especie: *Fusarium spp.*

Especie del presente escrito: *Fusarium oxysporum*

Nombre vulgar: Pudrición de raíces, podredumbre, marchitez.

2.8.1. Distribución e importancia de *Fusarium*.

El género *Fusarium* presenta una distribución cosmopolita y es endémico de zonas maiceras de todo el mundo (Mendoza *et al.*, 2003).

Las especies de *Fusarium* se encuentran entre los patógenos de plantas más comunes y extendidos en el mundo y son de gran importancia económica. Muchas especies de plantas se ven afectadas con al menos una enfermedad ocasionada por *Fusarium* (Leslie y Summerell, 2006). La American Phytopathological Society informó que 81 de 101 plantas económicamente importantes tienen al menos una enfermedad por *Fusarium spp.* En el Cuadro 3 se presentan algunas de las especies de *Fusarium* más importantes, sus hospederos y distribución.

Cuadro 4: Especies de *Fusarium*, huésped y distribución geográfica.

Especies de fusarium	Plantas Hospederas	Distribución geográfica
<i>F. acuminatum</i>	Legumbres	Regiones templadas
<i>F. andiyazi</i>	Sorgo	África, Australia, EE. UU.
<i>F. anthophilum</i>	Muchas especies de plantas	Regiones templadas
<i>F. avenaceum</i>	Claveles, cereales y legumbres	Regiones templadas
<i>F. aywerte</i>	Pastos	Australia
<i>F. babinda</i>	Suelo	Australia
<i>F. bigoniae</i>	Begonia	Alemania
<i>F. brevicatenulatum</i>	Estriga asiática	África
<i>F. bulbicola</i>	Especies de plantas de bulbo	Europa
<i>F. camptoceras</i>	Plátano y cacao	Regiones tropicales y subtropicales
<i>F. circinatum</i>	Coníferas	Chile, Japón, México, Sudáfrica, EE. UU.
<i>F. culmorum</i>	Cereales	Regiones templadas
<i>F. fujikuroi</i>	Arroz	Zonas de cultivo de arroz
<i>F. globosum</i>	Maíz y trigo	África, japon.
<i>F. guttiforme</i>	Piña	Cuba, Sudamérica
<i>F. konzum</i>	Pastos	EE. UU.
<i>F. lactis</i>	Higo	EE. UU.
<i>F. musarum</i>	Plátano	Panamá
<i>F. nygamai</i>	Sorgo	Regiones áridas
<i>F. oxysporum</i>	Diversas plantas	Todo el mundo
<i>F. poae</i>	Cereal	Todo el mundo
<i>F. pseudonygamai</i>	Mijo	África, EE. UU.
<i>F. ramigenum</i>	Ficus carica	EE. UU.
<i>F. redolens</i>	Diversos anfitriones	Regiones templadas
<i>F. sacchari</i>	Maíz, caña de azúcar	México, Filipinas

Especies de fusarium	Plantas Hospederas	Distribución geográfica
<i>F. semitectum</i>	Plátano	Regiones subtropicales
<i>F. solani</i>	Diversas plantas	Todo el mundo
<i>F. subglutinans</i>	Maíz	Zonas frías de cultivos de maíz
<i>F. succisae</i>	Succisa pratensis	Europa
<i>F. thapsinum</i>	Sorgo	Zonas de cultivo de sorgo
<i>F. torulosum</i>	Varias especies de plantas	Regiones templadas
<i>F. udum</i>	Arveja	Asia meridional, África subsahariana
<i>F. venenatum</i>	Varias especies de plantas	Europa
<i>F. verticillioides</i>	Maíz	Todo el mundo

Fuente: (Babadoost, 2018).

2.8.2. Características morfológicas

A nivel laboratorio, *Fusarium* presenta características microscópicas propias de la especie. La fiálide es generalmente fina, en 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 macroconidios presentan forma de medialuna, hialinos y septados. Los microconidios, son ausentes en algunas especies, poseen variadas formas (fusiformes, ovales, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas “falsas cabezas”) en cadenas largas o cortas. De igual forma, pueden observarse las clamidosporas características con doble pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada, en pareja o en grupo (Tapia y Amaro, 2014).

2.8.3. *Fusarium oxysporum*

En México ya sea en climas templados y tropicales, en viveros tradicionales y modernos, la especie *Fusarium oxysporum* ocasiona grandes pérdidas económicas; los ataques se presentan durante las etapas de preemergencia, post-emergencia y cuando la planta está en desarrollo (García-Díaz, 2017).

Es considerado un hongo cosmopolita, por lo cual afecta tanto a latifoliadas y coníferas. Afecta a varias especies de pino entre ellas a *P. cembroides*, *P. devoniana*, *P. montezumae*, *P. greggii*, *P. pseudostrobus* y *P. radiata*. García *et al.* (2007) asocian el *Damping-off* y pudrición de raíz con *F. oxysporum* en *P. ayacahuite*, *P. montezumae* y *P. michoacana*. Alvarado *et al.* (2004) reportan *P. ayacahuite*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. rudis*, *P. teocote*, *Abies religiosa* y *Cupressus lusitanica*, afectados por *Fusarium*.

El ciclo de la enfermedad causada por *Fusarium* se da de la manera siguiente: sobrevive en forma de esporas o clamidosporas, que son estructuras que resisten condiciones ambientales adversas. Pueden manifestarse de forma endémica y llegan a ser asintomáticos. El desarrollo de la enfermedad llega a ocasionar serios problemas cuando se tienen temperaturas altas, exceso de riego que causa alta humedad, pH altos o bajos y altos contenidos nutrimentales principalmente el nitrógeno origina la presencia de la enfermedad (James, 2005).

La sintomatología que causa en los almácigos en preemergencia, es la inhibición de germinación de la semilla, donde se observa un ablandamiento, la cual, al extraerse del sustrato se observara que existe muerte del embrión y pudrición de la radícula recién emergida. No hay emergencia de la plántula (Robles *et al.*, 2016).

En post-emergencia hay secamiento, pudrición a nivel del cuello, posteriormente el tallo se colapsa después de que las plántulas emergen del suelo, por lo cual se le da el término de chupadera, y es muy notorio en la etapa de plántula. Los síntomas aéreos se reconocen por presentar acículas esparcidas y cloróticas, seguidas por una muerte descendente (García-Díaz, 2017).

Durante el desarrollo de la planta al cual se le conoce como tardío, existe marchitez del brote principal en algunas especies de pino y causa un marchitamiento general, coloración de acículas amarillentas y luego color rojizo, e incluso en algunas especies de pino se presenta en el tallo una coloración de color violeta y finalmente se presenta una muerte descendente acompañada del secamiento del tallo. En raíz existen diferentes avances de pudrición y se hacen muy quebradizas (James, 2005).

Se puede diseminar por semilla, agua, aire, sustrato, herramientas y equipos, personal, tubetes y a través de sus vectores las moscas fungosas. Landis et al. (1989) argumentan que la enfermedad de la chupadera (secadera) se presenta por factores culturales y ambientales propicios para la enfermedad. Entre ellos destacan la calidad de semillas que pueden estar contaminadas por hongos y producir plántulas débiles que hacen susceptibles al patógeno.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El experimento se estableció 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 y a una altitud de 2240 m.

3.2. Establecimiento del experimento y tratamientos aplicados

El sustrato que se utilizó estuvo compuesto por turba de musgo, agrolita y vermiculita en proporción de 60:20:20 %.

La semilla de *P. devoniana Lindl* se recolectó de los bosques de Zinapécuaro, Michoacán. Este lote de semillas fue recolectado en el año 2019. Previo a la siembra, se hizo la desinfección de la semilla a través de un lavado con hipoclorito de sodio al 10% durante 10 minutos. Posteriormente se dejó la semilla en remojo por 24 horas y finalmente se hizo nuevamente una desinfección con hipoclorito de sodio al 5% durante tres minutos.

La siembra de semilla se realizó el día 19 de noviembre de 2020, colocando dos semillas en cada cavidad o tubete.

Para este experimento se propusieron tres variables de estudio: riego, fertilización e inoculación con *Fusarium oxysporum*:

- a) Se implementaron 3 niveles de riego: (R1) Esquema de riego tradicional por calendario, basado en la experiencia del encargado de efectuar el riego, (algunas veces diario, otras cada dos o hasta tres días), (R2) aplicación del riego cuando

el peso promedio de las charolas se reduzca al 80% en relación con el peso de las mismas a saturación, (R3) aplicación del riego cuando el peso promedio de las charolas se reduzca al 70% en relación con el peso de las mismas a saturación.

- b) El fertilizante utilizado fue de liberación controlada Multicote® 8 (los nutrientes se liberan en un periodo de ocho meses), con fórmula 12-25-12; con N total, N nítrico, N amoniacal, N ureico, Fósforo y Potasio, 12, 3.5, 5.8, 2.7, 25 y 12% respectivamente) y se evaluaron dos niveles (dosis) de fertilización: (F1), correspondiente a la dosis baja (3.5 g / L de sustrato) y (F2), correspondiente a la dosis alta (7 g / L de sustrato).
- c) Para la inoculación con *Fusarium oxysporum* se tomaron 12 cajas con micelio puro de 7 días de crecimiento, se molieron en una licuadora y se diluyeron en 12 L de agua destilada estéril a una concentración de 1×10^{-6} esporas por ml. El día 25 de febrero de 2020, cuando la planta tenía 3 meses de edad, se realizó la inoculación. Con una micropipeta se obtuvo una muestra representativa de dicha dilución para realizar un conteo de esporas con ayuda un microscopio estereoscópico y basándose en el conteo de la cámara de Neubauer, esto con el fin de obtener una concentración de esporas de 1×10^{-6} .

Una vez obtenida dicha concentración, se seleccionaron todos los tratamientos etiquetados con *Fusarium oxysporum*, se inocularon directo al sustrato utilizando jeringas nuevas de 20 ml. En cada cavidad de las charolas seleccionadas se aplicó 20 ml de dilución. Los tratamientos utilizados quedaron como se indica en el Cuadro 5.

3.3. Patogenicidad e incidencia

La patogenicidad de la cepa *F. oxysporum* empleada, se determinó por su capacidad para causar enfermedad, mediante los síntomas típicos de la secadera y pudrición de la raíz, para ello se realizó el registro de síntomas diariamente de las plantas con síntomas del experimento establecido.

Para determinar el efecto de los tratamientos se evaluó diariamente la incidencia de *F. oxysporum* y se obtuvo el porcentaje acumulado de plantas enfermas. La evaluación

de incidencia y patogenicidad, se realizó desde marzo hasta principios de septiembre de 2020 (cuando la planta tenía 9 meses de edad).

Cuadro 5: Tratamientos de interacción de los niveles de riego, inoculación y fertilización propuestos.

Tratamiento	Nivel de Riego	Inoculación	Nivel de fertilización
T1	Tradicional	Sin <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T2	Tradicional	Con <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T3	80%	Sin <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T4	80%	Con <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T5	70%	Sin <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T6	70%	Con <i>Fusarium</i>	F1 (3.5 g/L)
T7	Tradicional	Sin <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)
T8	Tradicional	Con <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)
T9	80%	Sin <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)
T10	80%	Con <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)
T11	70%	Sin <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)
T12	70%	Con <i>Fusarium</i>	F2 (7.0 g/L)

La incidencia de la secadera se evaluó diariamente por tratamiento durante 8 meses. El porcentaje de incidencia se determinó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de incidencia} = \frac{\text{Número de plantas con síntomas} * (100)}{(\text{Número total de plantas})}$$

Se evaluó la relación que existe entre la incidencia del hongo fitopatógeno *F. oxysporum* con el nivel de riego y la dosis de fertilizante aplicada a plántulas en el vivero.

3.4. Estándares e índices morfológicos

La evaluación del crecimiento de las plántulas sanas se realizó a principios de septiembre de 2020, nueve meses después de la siembra. De la parte central de cada una de las charolas se seleccionaron al azar 4 plantas, 16 plantas por tratamiento y 192 plantas evaluadas en todo el experimento.

Las variables medidas fueron: (D) diámetro del tallo medido en la sección llamada el cuello de la raíz; (A) altura de la parte aérea, medida desde el punto donde se midió el diámetro del tallo hasta el ápice de la yema terminal; peso seco de la raíz (PSR) y peso seco de la parte aérea (PSA).

Para poder realizar el proceso de secado, se tomaron las 192 plantas y mediante proceso de agitado y enjuagado con agua “corriente” se les retiraron los residuos de sustrato que aun conservaban adheridos a las raíces. De esta manera se obtuvieron de manera aislada, las muestras de la parte aérea y de la raíz. Se colocaron en una bolsa de papel Kraft, se marcaron y se pusieron a secar en horno de secado FELISA, FE-143) a 70 °C, durante 72 horas.

Con una balanza analítica (OHAUS, modelo Galaxy 200) se procedió a pesar las muestras, previamente deshidratadas para obtener PSA y PSR. Posteriormente se evaluó la relación peso seco de la parte aérea sobre el peso seco de la raíz (PSA/PSR), índice de esbeltez (IE), obtenido al dividir la altura de la planta en cm, entre el valor del diámetro en mm; índice de calidad de Dickson (ICD), obtenido con la ecuación: $PST/(A/D) + (PSA/PSR)$ (Dickson *et al.*,1960).

3.5. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial (3 x 2 x 2). Se utilizaron tres niveles de riego R1 (Tradicional), R2 (80 %) y R3 (70 %); dos niveles de fertilización (F1 con 3.5 g, F2 con 7 g) y dos niveles de inoculación, sin y con aplicación de *Fusarium oxysporum* (Fo1, Fo2), para un total de 12 tratamientos con cuatro repeticiones. Cada repetición fue una mesa portatubetes de 25 cavidades. Para evaluar incidencia se contabilizó el número de plantas con síntomas o muertas (100 plantas por tratamiento, en total 1,200 plantas). Para medir los índices morfológicos la unidad

experimental estuvo constituida por 4 plantas sanas, que fueran representativas de cada tratamiento, esto debido a la mortandad de planta (16 plantas por tratamiento, dando un total de 192 plantas). El análisis estadístico se realizó con el Software SAS® OnDemand para académicos.

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + F_j + Fo_k + RF_{ij} + FFo_{jk} + RFo_{ik} + RFFo_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

- μ es la media general,
- R_i efecto del valor R (Riego)
- F_j efecto del valor F (Fertilizante)
- Fo_k efecto del valor Fo (*Fusarium*)
- RF_{ij} interacción del valor R con F
- FFo_{jk} interacción del valor F con Fo
- RFo_{ik} interacción del valor R con Fo
- $RFFo_{ijk}$ interacción entre los valores R, F y Fo
- ε_{ijkl} Efecto del error experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

Al evaluar el efecto de cada factor más la interacción entre ellos mediante un análisis de varianza “ANOVA” (Cuadro 5), se obtuvieron dos factores significativos ($p < 0.001$): el riego y la inoculación con *Fusarium oxysporum*.

Cuadro 6: Análisis de varianza de cada factor y la interacción entre ellos (Riego, Fertilización y Fusarium)

Factor	gl	Error	Valor F	Pr(>F)
Riego	2	58.930	8.78	0.0008**
Fusarium	1	123.521	15.45	0.0004**
Fertilización	1	0.521	0.07	0.8000
Riego x Fusarium	2	14.001	1.14	0.3298
Riego x Fertilización	2	23.251	1.72	0.1930
Fertilización x Fusarium	1	0.021	0.00	0.9596
Riego x Fertilización x Fusarium	1	4.180	0.41	0.6672

*gl= grados de libertad

4.2. Incidencia acumulada de plantas enfermas.

Las primeras plantas enfermas se detectaron a principios de marzo y finales de agosto, el nivel de riego “Tradicional” (R1) presentó 44.8% de plantas enfermas, siendo el más alto de los tres evaluados, seguido del nivel de riego al 70% con una incidencia acumulada del 36.5% de plantas enfermas y finalmente el nivel de riego a 80% en relación con el peso de las misma a saturación tuvo un porcentaje acumulado de plantas enfermas de 28% (Figura 2).

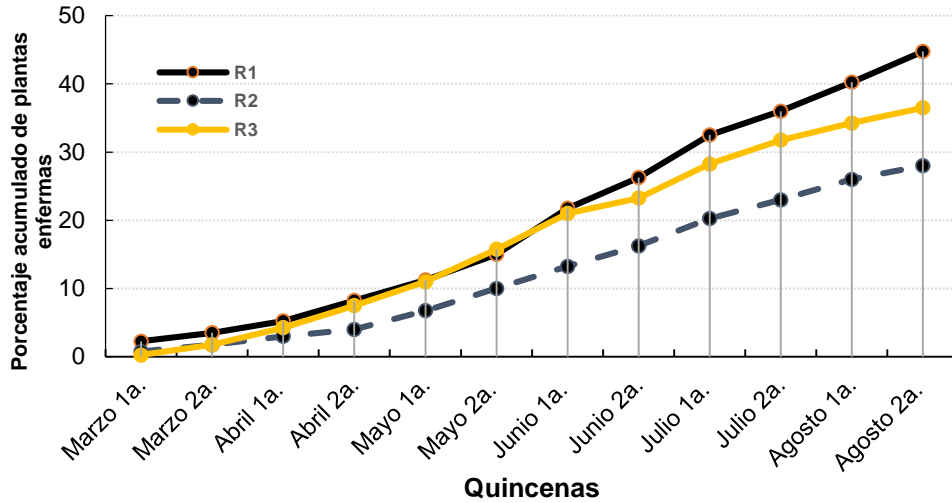


Figura 2: Incidencia acumulada de plantas enfermas para los tres niveles de riego: (R1) Esquema de riego tradicional (algunas veces diario, otras cada dos o hasta tres días), (R2) aplicación del riego cuando el peso de las charolas baja a 80% en relación con el peso de las mismas a saturación, (R3) aplicación del riego cuando el peso de las charolas baja a 70% en relación con el peso de las mismas a saturación.

En las plantas que fueron inoculadas con *Fusarium oxysporum* alcanzaron un 42.8% de incidencia de la enfermedad (Figura 3); mientras que, las que no fueron inoculadas presentaron un 30% en el mismo indicador.

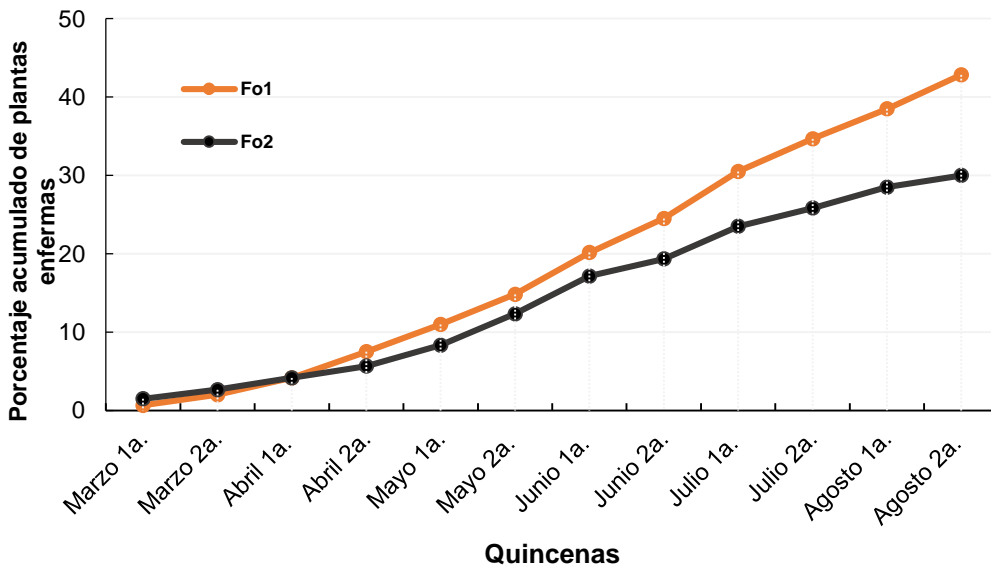


Figura 3: Incidencia acumulada de plantas enfermas para los dos niveles de inoculación: (Fo1) Inoculación con solución de *Fusarium oxysporum* y (Fo2) Sin inoculación.

4.3. Interacción de factores.

La interacción de los tres factores descritos: nivel de riego (R), Inoculación con *Fusarium* (Fo) y dosis de fertilización (F), generó los doce tratamientos implementados en la presente investigación. Los tratamientos T2, T8 y T12 presentan el mayor número de plantas enfermas, mientras que los tratamientos T9, T3 Y T5 presentan el menor número de plantas enfermas (Figura 4).

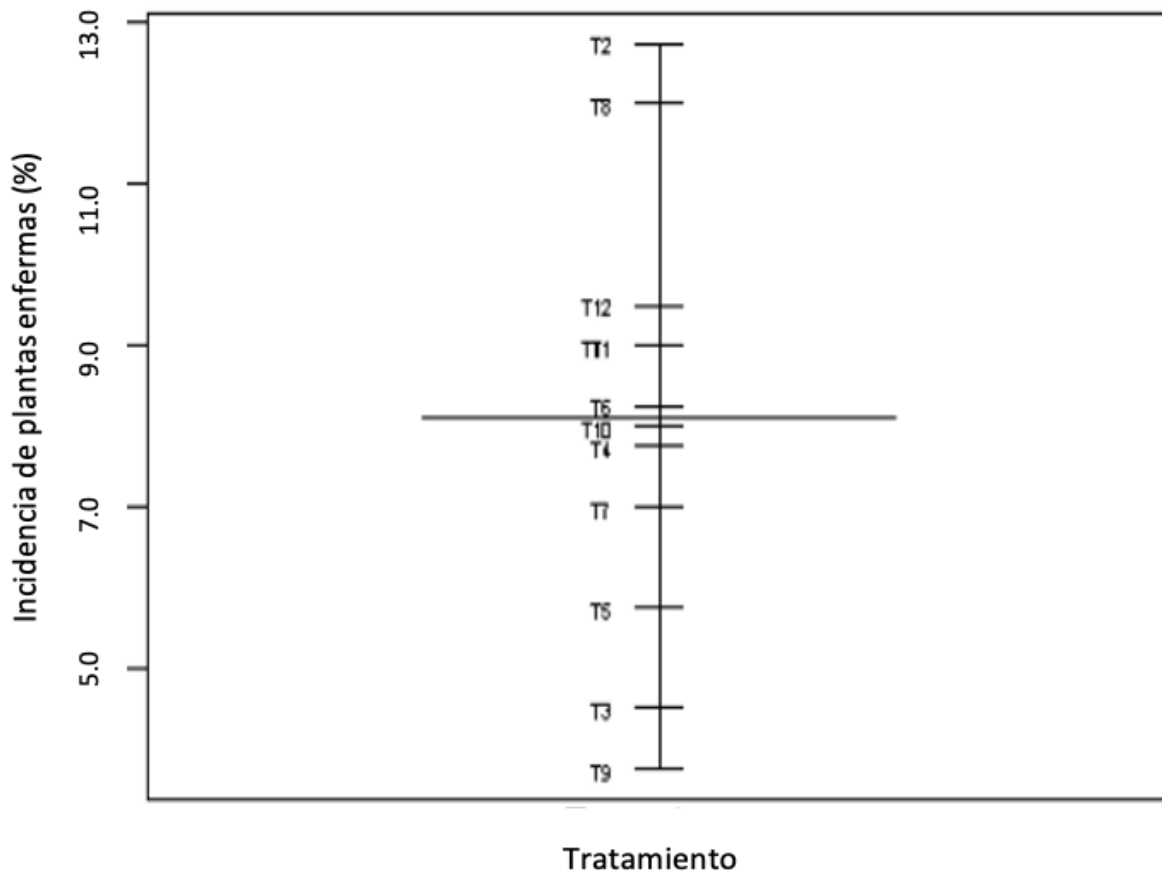


Figura 4: Incidencia en porcentaje de plantas enfermas respecto a su media de cada uno de los 12 tratamientos generados.

Los resultados del análisis de los tratamientos, reafirman lo expuesto en los apartados análisis de varianza e incidencia de plantas enfermas por factor aislado. De tal manera, que los factores significativos son el riego y la inoculación con *Fusarium oxysporum* y de estos, los esquemas de riego tradicional y los que recibieron la inoculación fueron los que presentaron mayor porcentaje de incidencia de enfermedad en las distintas interacciones presentadas.

4.4. Índices morfológicos

Se midió, calculó y registró la información correspondiente a los estándares e índices morfológicos. En el cuadro 6 se presentan los promedios de los tres indicadores más importantes calculados. (En el anexo A se encuentran los datos completos de para generar estos índices).

Cuadro 7: Medias descriptivas por tratamiento de los índices morfológicos calculados.

TRATAMIENTO	PSA/PSR	IE	ICD
T1	3.24 ± 0.70 a	1.56 ± 0.13 d	1.47 ± 0.09 a
T2	3.84 ± 0.44 a	1.80 ± 0.34 a b c d	1.44 ± 0.47 a
T3	3.20 ± 0.56 a	1.69 ± 0.21 b c d	1.31 ± 0.31 a
T4	3.71 ± 0.96 a	1.67 ± 0.35 c d	1.37 ± 0.25 a
T5	3.48 ± 0.61 a	1.57 ± 0.28 d	1.28 ± 0.28 a
T6	3.14 ± 0.59 a	1.66 ± 0.29 c d	1.24 ± 0.27 a
T7	3.64 ± 0.68 a	2.21 ± 0.38 a b c	1.43 ± 0.43 a
T8	3.92 ± 0.94 a	1.93 ± 0.10 a b c d	1.15 ± 0.13 a
T9	3.66 ± 0.61 a	2.29 ± 0.50 a	1.33 ± 0.13 a
T10	3.89 ± 0.68 a	2.10 ± 0.31 a b c d	1.45 ± 0.21 a
T11	3.32 ± 0.72 a	2.28 ± 0.13 a b	1.26 ± 0.18 a
T12	3.95 ± 0.55 a	2.08 ± 0.43 a b c d	1.09 ± 0.17 a

PSA/PSR: Relación entre los pesos secos de la parte aérea y de la raíz. **IE:** Índice de Esbeltez **ICD:** Índice de Calidad de Dickson.

*Se presentan las medias ± desviación estándar. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

4.5. Cálculo de velocidad de propagación de *Fusarium Oxysporum*

Con este fin se utilizó el modelo de tiempo acelerado de Weibull:

$$\ln(T) = \alpha + \delta x + \sigma \varepsilon$$

Donde:

$\ln(T)$ = Logaritmo natural en relación al tiempo

α = Parámetro de forma

δx = Factor de tiempo

$\sigma \varepsilon$ = Factor de escala

La razón de riesgo de Weibull se describe a continuación:

$$HR_W = (mi^\beta)^{\lambda-1}$$

Donde:

HR_W = Razón de riesgo de Weibull,

β = Coeficiente que indica el efecto de la variable independiente dada

λ = parámetro de forma del modelo.

Al realizar el análisis se obtuvo:

Cuadro 8: Valores obtenidos de la regresión “distribución Weibull”.

	Valor	Error	Valor Z	Valor P
Intercepto	6.1229	0.1376	44.48	<2e-16
Riego	0.0997	0.0404	2.46	0.014**
Inoculación	-0.2980	0.0665	-4.48	7.4e-06**
Logaritmo (Escala)	-0.3947	0.0450	-8.78	<2e-16
Escala	0.674			

Utilizando los valores obtenidos para cada una de las variables (intercepto, riego, inoculación y escala) se calcularon los valores para cada uno de los factores de estudio de interés (riego e inoculación) obteniendo lo siguiente:

Cuadro 9: Estimación del tiempo que se requiere para que se presenten los síntomas de la enfermedad en la interacción de factores.

FACTORES		
Factor “riego”	Factor “inoculación”	Tiempo estimado para que se presente la enfermedad (días)
Tradicional	Con inoculación	100
Tradicional	Sin Inoculación	134
80%	Con inoculación	110
80%	Sin Inoculación	149
70%	Con inoculación	122
70%	Sin Inoculación	164

4.6. Discusión

Los resultados nos indican que el riego es el factor que presentó mayor significancia en la incidencia de plantas enfermas, esto se explica porque el agua sirve como el medio dispersor de varios agentes patógenos, en este caso *Fusarium* (Cibrían *et al.*, 2007).

El nivel de riego al 70% del peso de la charola a saturación fue el que tuvo la mayor significancia en la incidencia de plantas enfermas después del riego “tradicional”, eso se explica debido a que a ese nivel de riego, la falta de agua se vuelve un factor relevante para las funciones fisiológicas de la planta y esa escasa disponibilidad de agua la coloca en un estado de vulnerabilidad frente a factores externos que puedan influir en su metabolismo (como *Fusarium* en este caso).

Los esquemas de riego más frecuentes generan mayores posibilidades de contagio ante la presencia de un hongo con las características presentadas, en este caso, por *Fusarium oxysporum* (Gordon, 2015). Es por ello que el riego de tipo “tradicional”, el cual se aplicó diario o cada dos días, fue el que presentó una mayor cantidad de plantas enfermas.

Cibrían *et al.* (2007) mencionan que dosis altas de fertilización generan el medio adecuado para la dispersión de *Fusarium sp.*, a pesar de ello las dosis de fertilización utilizadas para el presente experimento se encuentran dentro del rango de aceptables y comúnmente utilizadas en la producción de planta en vivero. Es por ello que no presentaron significancia al momento de evaluar la incidencia de plantas enfermas.

Los cálculos de velocidad de propagación de la enfermedad son consistentes con el análisis gráfico, ya que utilizando la distribución de Weibull se estimó que la enfermedad se hará presente en la mayoría de las interacciones a partir de los 100 días y en el análisis gráfico se nota el incremento de la incidencia de la enfermedad entre los meses 3 y 4.

En lo referente a los índices morfológicos, en el Índice de Esbeltez se presentan diferencias significativas, siendo el tratamiento 1 el que presentó el valor menor, lo que indica un mejor balance entre la parte aérea y radical de la planta. En los otros dos indicadores las plantas no presentan diferencias significativas, acorde a los tratamientos y factores estudiados. Recordemos que las plantas que formaron parte del análisis de estándares e índices morfológicos al momento de seleccionarlas no presentaban síntomas visibles de la presencia de *Fusarium oxysporum*. La relación Peso seco de la parte aérea/Peso seco de la raíz (PSA/PSR) de los doce tratamientos analizados se encuentra entre los valores de 3.14 y 3.95. El índice de esbeltez (IE) entre 1.56 y 2.29 y finalmente el Índice de Calidad de Dickson (ICD) varió de 1.09 a 1.47.

Lo anterior según Rodríguez (2008) y Sáenz *et al.* (2014), ubica la relación Peso seco de la parte aérea/Peso seco de la raíz (PSA/PSR) en un intervalo de calidad de planta “baja”, ya que según estos autores para tener calidad “alta” los valores deben ser menores a dos. La clasificación de acuerdo al Índice de Esbeltez (IE), es de calidad “alta”, ya que para coníferas cespitosas reportan que el valor para considerar calidad de planta alta debe ser menor a 6, ya que valores superiores a seis propicia daños por viento, sequía y helada. Finalmente, para el Índice de Calidad de Dickson se consideran plantas de calidad “alta” por tener valores superiores a 0.5.

5. CONCLUSIONES

Los distintos niveles de aplicación de riego, tienen alta relación con la presencia y afectación de *Fusarium oxysporum* en *Pinus devoniana*. El riego definido como “Tradicional” (diario o cada dos días) generó un porcentaje mayor de incidencia en presencia del patógeno.

Las plantas que fueron inoculadas con *Fusarium oxysporum* también tuvieron un porcentaje significativamente mayor de incidencia de la enfermedad en comparación con aquellas que no fueron inoculadas. La diferencia de los porcentajes de incidencia, se volvió más evidente a partir del tercer mes de la inoculación.

La velocidad de propagación de la enfermedad al interactuar los dos factores en sus niveles de mayor incidencia (riego “tradicional” y “Con” inoculación de *Fusarium*) se estimó en 100 días. En cinco de las seis interacciones se tiene el riesgo de incidencia a partir de los 100 hasta los 164 días.

6. LITERATURA CITADA

- Aceves, R., L., D., J. G. Méndez, M. A. García A. y J. A. Nájera L. 2018. Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia* 52(7): 1043-1057.
- Alvarado, R., D., S. Castro Z., C. Cigarrero C., R. Álvarez R. y L. de L. Saavedra R. 2004. Manual de detección y manejo de enfermedades bajo el sistema de "contenedor": caso vivero San Luis. CONAFOR. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente y Colegio de Postgraduados. 73 p.
- Ansorena-Miner, J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 111-123.
- Araujo, C., J., G., D. Guerra B. and L. M. Da Silva S. 2007. Growth of bare root *Pinus taeda*, seedlings cultivated under five densities in nursery. *Science Agric.*, Piracicaba, Brazil, 64 (1): 23-29.
- Artero, F., A., M., E. Blanco, F. Domínguez, M. Segura, J. Oliet y R. Serrada. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero: Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de "*Pinus halepensis* Mill". *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 8 (1): 207-228.
- Babadoost, M. 2018. *Fusarium*: Historical and Continued Importance. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen>. [Consultado el 18 de enero de 2022].
- Bernaola, P., R., M., J. F. Zamora N., J. L. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M. y E. Salcedo P. 2016. Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33): 74-93. doi: 10.29298/rmcf.v7i33.91
- Birchler, T., W. Rose R., A. Royo y M. Pardos. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Oregon State University, Oregon. EE.UU y Universidad Politécnica de Madrid, España. 13 p.
- Disponible en: <http://www.inia.es/gcontrec/pub/11.T>. [Consultado el 26 diciembre de 2021].
- Blom, T. J., D. Kerec y N. Al-Batal. 2008. The effect of moisture content in the substrate on rooting of seedlings in plug trays. *Acta Horticulturae* 782(2):305-310.
- Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. 2007. Enfermedades forestales en México/Forest diseases in Mexico. Universidad Autónoma Chapingo-Conafor-Semarnat, USDA Forest Service, Natural Resources Canada, Conafor. Chapingo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 587 p.
- CIPF. 2017. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 8 Determinación de la situación de una plaga en un área. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. Disponible en:

https://www.ippc.int/static/media/files/publicación/2017/06/ISPM_08_1998.pdf
[Consultado el 03 enero de 2022].

- Cobas L., M., I. Castillo M. y E. González I. 2001. Comportamiento de diferentes parámetros morfológicos en la calidad de la planta de *Hibiscus elatus* Sw. cultivada en viveros sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. *Ciencia Tecnología y Medio Ambiente*. 20(3): 14-23.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración. 9 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2019. El Sector Forestal Mexicano en cifras 2019 CONAFOR. Disponibles en <http://www.conafor.gob.mx>. [Consultado en enero de 2022].
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2009. Catálogo taxonómico de especies de México. México. 89 p.
- Daniels, A. B., M. Barnard D., L. Chapman P. and L. Bauerle W. 2012. Optimizing substrate moisture measurements in containerized nurseries. *HortScience* 47(1):98-104.
- Davis, A. and D. Jacobs. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests* 30. 295-311.
- Dickson, A., L. Leaf A. and F. Hosner J. 1960. Quality appraisal of White spruce and White pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36 (1): 10-13.
- Douglass, F. J. and T. D. Landis. 2009. Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management. Chapter 11. Fertilization. U.S Department of Agriculture, Forest Service. 302 p.
- Dumroese, R., K., J. R. Pinto, F. Douglass, D. Anthony S. and B. Horiuchi. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal* 7(3):253–261.
- Dumroese, R., K., J., F. Douglass y K. Wilkinson M. 2012. Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido. Producción de plantas en viveros forestales: Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones; Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco UNPSJB, Argentina. 5:133-142.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. (1) 1-4.

- Eckert, A., J. and B. D. Hall, 2006. Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (*Pinaceae*): Phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. *Mol. Phylo. Evo.* 40(1): 166-182. doi: 10.1016/j.ympev.2006.03.009
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) 2020. *Fusarium* EPPO Global Database. Disponible en: <https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG> [Consultado el 29 noviembre de 2021].
- Escobar R., R. 2012. Fase de cultivo: endurecimiento. *In*: M. Buamscha G., L. T. Contardi, R. Dumroese K., J. A. Enricci, R. Escobar R., H. E. Gonda, D. Jakobs F., T. Landis D., T. Luna., J. Mexal G. y K. Wilkinson M. Producción de Planta en Viveros Forestales. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, Argentina. 151-152.
- Flores-Velázquez, R., E. Serrano G., V.H. Palacio M. y G. Chapela. 2007. Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques* 13:47-59.
- Fonseca, E., S. Valeri, E. Miglioranza, N. Fonseca y L. Couto. 2002. Padrao de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, producidas sobre diferentes períodos de sombreamento. *R. Arvore* 26(4): 515-523.
- Gallardo, C. 2003. Materiales comúnmente utilizados en la formulación de sustratos. *In* Actas Jornada Técnica: Introducción al uso de sustratos en la producción comercial de plantines de viveros. EEA INTA, Concordia, Entre Ríos: (1): 5-12.
- Gárate, A. e I. Bonilla, 2000. Nutrición mineral y producción vegetal. *In*: Fundamentos de Fisiología Vegetal. MacGraw Hill Interamericana. España (2):113-130.
- García-Díaz, S. E. 2017. Especies de *Fusarium* asociadas a la secadera y pudrición de raíz de pino en viveros forestales del centro de México: patogenicidad y biocontrol. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. 177 p.
- García M., A. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. *In*: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. 10 p. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312>. [Consultado el 11 enero de 2022].
- Gomes, J., M., L. Couto, H. Leite G., A. Xavier y L. R. García S. 2002. Parâmetros morfológicas na avaliação da qualidade de Mudanças de *Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore* 26 (6):655-664
- Gordon, T., R., C. L. Swett and M. J. Wingfield. 2015. Management of *Fusarium* diseases affecting conifers. *Crop Protection* 73 p.
- Grossnickle, S. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests* 6: 273-294.

- Grossnickle, S. y B. South D. 2017. Seedling quality of southern pines: influence of plant attributes. *Tree Planters' Notes* 60 (2): 1-12.
- Haase, D. 2008. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes*. 52: 24-30.
- Herrera-Ramírez, D., A., J. D. León, M. Ruiz R. N. D. Osorio V., G. Correa L., E. Ricardo R. y A. Uribe B. 2014. Evaluación de requerimientos nutricionales en vivero de especies tropicales empleadas en silvicultura urbana. *Revista EIA* 11(21): 41-54. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.41-54> [Consultado el 13 de enero de 2022].
- Ivetic, V., J. Devetakovic and Z. Maksimović. 2016. Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. *Reforesta* 35:6-21.
- James, R. L. 2005. *Fusarium* populations within peat-based growing media USDA forest service nursery, Coeur D'alene, Idaho . Plant Pathologist, USDA Forest Service, Northern Region, Forest Health Protection. 7 p.
- Kent, G. A. and J. J. Zwiazek. 2004. Boron and water uptake in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 51:145-153.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation. *Agriculture Handbook* 674. U.S.D.A. Forest Service. Washington, DC, USA. 62 p.
- Landis, T., R. Tinus, S. McDonald and J. Barnett. 1990. Containers and growing media, Vol. 2. The container tree nursery manual. *Agriculture Handbook* 674. U.S.D.A. Forest Service. Washington, DC, USA. 88 p.
- Leslie, J., F. and B. A. Summerell. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing. 387 p
- Leyva, R., F., R. Rosell P., A. Ramírez R. e I. Romero R. 2008. Manejo de endurecimiento por riego para elevar la calidad de las plantas de *Eucalyptus* sp. cultivadas en vivero de la Unidad Silvícola Campechuela. Universidad de Granma. Granma. Cuba. 14 p.
- Lucena J., J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres* 56 (4): 527-535.
- Mas P., J. 2003. Guía práctica para la producción de planta en un vivero. Boletín Técnico Número 5, Vol. 1. Comisión Forestal del Estado. Morelia, Michoacán, México. 37 p.
- Mendoza E., M., A. O. López B., A. Oyervides G., G. Martínez Z., C. De León, E. Moreno M. 2003. Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca de maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21: 267-271

- Metcalfe, R. J., J. Nault and J. Hawkins B. 2011. Adaptations to nitrogen form: comparing inorganic nitrogen and amino acid availability and uptake by four temperate forest plants. *Canadian Journal of Forest Research* 41:1626-1637.
- Mexal, J.G. and T. D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forest Service 13:105-119
- Moya J., A. 2009. Riego Localizado y Fertirrigación. 4a ed. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. 575 p.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático). 2021. Reporte AR6. Cambio climático 2021: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/reports/>. [Consultado el 08 de enero de 2022].
- Peñuelas R., J., L. y L. Ocaña B. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Perry, J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, USA. 231 p.
- Prieto R., J., A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. J. Návar C. 2007 Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques*. 13(1): 79-97.
- Prieto R., J., A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.
- Prieto R., J., Á., R. J. Almaraz R., J. J. Corral R. y A. Díaz V. 2012. Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(12): 19-28. Recuperado en 19 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000400003&lng=es&tlng=es.
- Ritchie, G. A., 2003. Root physiology and phenology: the key to transplanting success. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Association USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station Proceedings. Ogden, UT, USA. 166 p.
- Robles V., F. A., D. A. Rodríguez T. y A. Villanueva M. 2017. Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(42): 13-17.
- Robles Y., L., S. G. Leyva M., A. Cruz G., M. Camacho T., D. Nieto A. y J. M. Tovar P. 2016. *Fusarium oxysporum* Schltdl. and *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. cause

wilting of *Pinus* spp. seedlings in the nursery. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (36): 25-36.

Rodríguez T., D. A. 2008. *Indicadores de Calidad de Planta Forestal*. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa. México. 156 p.

Sáenz R., J., T., H. J. Muñoz F., C. M. A. Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. 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. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63439016008>

[Consultado el 19 de febrero de 2022].

Salcedo, E., R. Bernaola, E. Hernández, F. López-Dellamary y J. Villa. 2012. Propuesta metodológica para la reforestación de áreas con condiciones edafoclimáticas especiales. Estudio de caso *Pinus hartwegii* Lindl. en el Nevado de Colima. *Recursos Forestales en el Occidente de México*. Diversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Tomo I. Amaya Ediciones S. de R.L. de C.V. Guadalajara, Jal., México. 343 p.

Salto, C., S., M. A. García y L. Harrand. 2013. Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. Quebracho - *Revista de Ciencias Forestales* 21(2): 90-102. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48130000010>

[Consultado el 19 de febrero de 2022].

Sánchez A., H., A. Aldrete, J.J. Vargas H. y V.M Ordaz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50: 481-492.

Schultz, R. C. 1989. Tree Root System Development. USDA Forest Service. Focus Funds and McIntire-Stennis Funds. Journal Paper No. J-13889 of the Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station, Ames, IA, Project No. 2485. 16 p.

Schultz R., C. y J. R. Thompson, 1990. Nursery practices that improve hardwood seedling root morphology. *Tree Planters' Notes* 41: 21-32.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2019. SEMARNAT. Estrategia nacional de Sanidad Forestal 2019-2024. Gerencia de Sanidad Forestal. Disponible en: [http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Estrategia%20Nacional%20de%20Sanidad%](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Estrategia%20Nacional%20de%20Sanidad%20). [Consultado el 12 de enero de 2022].

Sharma, S. y P. Negi. 2018. Effect of Seedling Height and Diameter of Nursery Stock of Ban Oak on Out Planting Survival. *Journal of Tree Sciences* 37(1): 68-76.

- Steenis, E., V. 1997. Nutrition and Fertilization: PPM vs. Millimoles. Forest Seedling Nutrition from the Nursery to the Field. 7 p.
- South, D. B., T. E. Starkey and S.A. Enebak. 2016. Forestry nursery practice in Southern United States. FORESTA 1: 106-146.
- Sung, S. S. and K. R. Dumroese. 2013. Root system architecture: the invisible trait in: container longleaf pine seedlings. Proceedings. RMRS-P-69 USDA. Forest Service. pp: 26-31.
- Tapia C. y J. Amaro. 2014. Género *Fusarium*. Revista Chilena de Infectología 31(1): 85-86. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-> [Consultado el 26 de enero de 2022].
- The Gymnosperm Database. 2021. Base de datos de gimnospermas a nivel mundial. Disponible en: https://www.conifers.org/pi/Pinus_devoniana.php. [Consultado el 02 de enero de 2022].
- Trubat, R., J. Cortina y A. Vilagrosa. 2010. Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. Journal of Arid Environments 74:491-497.
- USDA (US Department of Agriculture) and NRCS (Natural Resources Conservation Service). 2020. The Plants Database. National Plant Data Team. Disponible en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=PIPA13>. [Consultado el 30 de noviembre de 2021].
- Villalón-Mendoza, J., C., J. A. Ramos R., B. Vega L., A. Marino M. P. Muños y F. Garza-O. 2016. Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 12 (1):46-52.
- White, S., J. Owen J., J. Majsztzik, L. Oki, P. Fisher, C. Hall, J. Lea C., John and R. Fernández. 2019. Greenhouse and Nursery Water Management Characterization and Research Priorities in the USA. Water 11(2):23-31.
- Zepeda, B., E., M. y M. M. Acosta. 2000. Incremento y rendimiento maderable de *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla Puebla. Madera y Bosques 6:15-27.
- Zewide, I. and Y. Reta. 2021. Review on the role of soil macronutrient (NPK) on the improvement and yield and quality of agronomic crops. Journal of Agriculture and Food Research 9:7-11.

Cuadro 10: Tabla “anexa” de valores para el cálculo de la sección de índices morfológicos

*PSA= Peso seco de la parte aérea, PSR= Peso seco de la raíz, PST=Peso seco total, IE=Índice de Esbeltez,

ICD= Índice de Calidad de Dickson

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
1	1	1	18	9.84	9.6	2.3	11.9	4.174	1.829	1.982
1	1	2	14.5	8.3	7.5	1.6	9.1	4.688	1.747	1.414
1	1	3	14	10.5	7.6	1.8	9.4	4.222	1.333	1.692
1	1	4	11.5	5.71	4.0	1.7	5.7	2.353	2.014	1.305
1	2	1	10.5	5.14	2.7	0.9	3.6	3.000	2.043	0.714
1	2	2	8	5.09	2.7	1.5	4.2	1.800	1.572	1.246
1	2	3	13.5	8.66	5.5	1.5	7.0	3.667	1.559	1.340
1	2	4	7	7.25	6.3	2.5	8.8	2.520	0.966	2.525
1	3	1	12.5	4.66	4.8	1.3	6.1	3.692	2.682	0.957
1	3	2	7	6.15	4.9	1.1	6.0	4.455	1.138	1.073
1	3	3	8.5	8.53	6.2	2.0	8.2	3.100	0.996	2.002
1	3	4	11.5	8.42	7.7	1.9	9.6	4.053	1.366	1.772
1	4	1	9.5	6.27	3.6	1.4	5.0	2.571	1.515	1.224
1	4	2	10.5	7.64	4.0	2.4	6.4	1.667	1.374	2.105
1	4	3	8	6.11	3.1	1.0	4.1	3.100	1.309	0.930
1	4	4	11.4	7.63	3.9	1.4	5.3	2.786	1.494	1.238
2	1	1	14	12.87	7.2	2.5	9.7	2.880	1.088	2.445
2	1	2	11	7.9	2.8	0.8	3.6	3.500	1.392	0.736
2	1	3	12.5	9.87	4.7	1.7	6.4	2.765	1.266	1.588
2	1	4	12.5	8.28	6.2	1.7	7.9	3.647	1.510	1.532
2	2	1	14	8.84	7.4	2.0	9.4	3.700	1.584	1.779
2	2	2	12.5	5.81	7.2	1.7	8.9	4.235	2.151	1.394
2	2	3

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
2	2	4								
2	3	1	10.5	7.82	2.6	0.9	3.5	2.889	1.343	0.827
2	3	2	12.5	3.27	4.5	0.7	5.2	6.429	3.823	0.507
2	3	3	12	8.86	4.3	1.0	5.3	4.300	1.354	0.937
2	3	4	12	6.25	2.5	0.9	3.4	2.778	1.920	0.724
2	4	1	14.5	5.51	4.9	1.0	5.9	4.900	2.632	0.783
2	4	2	13	10.97	10.0	3.0	13.0	3.333	1.185	2.877
2	4	3								
2	4	4								
3	1	1	7.5	11.76	3.8	1.3	5.1	2.923	0.638	1.432
3	1	2	12.5	4.96	2.7	0.7	3.4	3.857	2.520	0.533
3	1	3	10.5	5.98	2.5	0.9	3.4	2.778	1.756	0.750
3	1	4	9.5	7.43	6.8	1.4	8.2	4.857	1.279	1.336
3	2	1	13	10.73	5.3	2.0	7.3	2.650	1.212	1.890
3	2	2	10.5	7.49	3.8	1.7	5.5	2.235	1.402	1.512
3	2	3	14.5	5.83	4.9	1.6	6.5	3.063	2.487	1.171
3	2	4	12	8.15	4.0	1.5	5.5	2.667	1.472	1.329
3	3	1	14.5	8.41	4.2	1.4	5.6	3.000	1.724	1.185
3	3	2	13.5	9.36	2.4	0.9	3.3	2.667	1.442	0.803
3	3	3	13	7.22	3.2	0.9	4.1	3.556	1.801	0.765
3	3	4	11.5	9.11	3.4	1.7	5.1	2.000	1.262	1.563
3	4	1	9	11	8.5	1.6	10.1	5.313	0.818	1.647
3	4	2	12	4.79	8.7	2.3	11.0	3.783	2.505	1.749
3	4	3	12	4.39	7.0	2.2	9.2	3.182	2.733	1.555
3	4	4	12	6.19	5.8	2.1	7.9	2.762	1.939	1.681
4	1	1	10	6.57	3.2	1.4	4.6	2.286	1.522	1.208

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
4	1	2	11	9.01	3.8	1.6	5.4	2.375	1.221	1.502
4	1	3	11	6.22	3.1	1.2	4.3	2.583	1.768	0.988
4	1	4	7.5	10.15	8.0	3.0	11.0	2.667	0.739	3.230
4	2	1	16.5	10.02	7.0	1.9	8.9	3.684	1.647	1.670
4	2	2	11.5	10	6.0	1.6	7.6	3.750	1.150	1.551
4	2	3	12.5	7.62	4.7	1.1	5.8	4.273	1.640	0.981
4	2	4	14	8.72	5.9	1.4	7.3	4.214	1.606	1.254
4	3	1	13.5	6.61	5.3	1.5	6.8	3.533	2.042	1.220
4	3	2	13	7.64	6.7	1.4	8.1	4.786	1.702	1.249
4	3	3	13	9.03	6.7	1.0	7.7	6.700	1.440	0.946
4	3	4	13.5	7.65	5.8	1.4	7.2	4.143	1.765	1.219
4	4	1	14	5.7	3.6	1.1	4.7	3.273	2.456	0.820
4	4	2	16.5	7.54	9.0	2.1	11.1	4.286	2.188	1.715
4	4	3	15	11.67	5.7	1.5	7.2	3.800	1.285	1.416
4	4	4	13	5.05	4.3	1.4	5.7	3.071	2.574	1.010
5	1	1	10.5	4.7	4.5	1.1	5.6	4.091	2.234	0.885
5	1	2	11.5	12.45	4.3	1.3	5.6	3.308	0.924	1.323
5	1	3	11	7.14	4.1	1.2	5.3	3.417	1.541	1.069
5	1	4	11.5	6.3	4.9	1.0	5.9	4.900	1.825	0.877
5	2	1	13	8.33	4.3	1.4	5.7	3.071	1.561	1.231
5	2	2	9	9.44	5.4	2.6	8.0	2.077	0.953	2.640
5	2	3	8.5	8.47	5.5	1.7	7.2	3.235	1.004	1.699
5	2	4	8.5	6.89	6.0	1.1	7.1	5.455	1.234	1.062
5	3	1	14	5.79	5.6	1.0	6.6	5.600	2.418	0.823
5	3	2	11.5	5.89	4.7	1.2	5.9	3.917	1.952	1.005
5	3	3	10	7.2	3.8	1.3	5.1	2.923	1.389	1.183

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
5	3	4	12	6.97	5.4	1.7	7.1	3.176	1.722	1.450
5	4	1	11.5	5.33	3.9	1.5	5.4	2.600	2.158	1.135
5	4	2	13	6.82	4.4	1.4	5.8	3.143	1.906	1.149
5	4	3	10.5	8.7	3.1	1.8	4.9	1.722	1.207	1.673
5	4	4	9.5	8.28	3.9	1.3	5.2	3.000	1.147	1.254
6	1	1	7.5	7.3	4.0	2.3	6.3	1.739	1.027	2.277
6	1	2	9	7.09	5.7	1.6	7.3	3.563	1.269	1.511
6	1	3	8.5	4.85	2.8	0.8	3.6	3.500	1.753	0.685
6	1	4	8	8.42	4.4	1.8	6.2	2.444	0.950	1.826
6	2	1	7.5	5.87	2.8	1.6	4.4	1.750	1.278	1.453
6	2	2	11	6.24	3.9	1.5	5.4	2.600	1.763	1.238
6	2	3	15	7.57	5.6	1.8	7.4	3.111	1.982	1.453
6	2	4	13.5	7.25	3.6	1.4	5.0	2.571	1.862	1.128
6	3	1	14	6.35	4.1	1.4	5.5	2.929	2.205	1.071
6	3	2	14.5	6.85	6.0	1.3	7.3	4.615	2.117	1.084
6	3	3	11.5	7.6	3.6	1.5	5.1	2.400	1.513	1.303
6	3	4	13	6.58	4.9	1.2	6.1	4.083	1.976	1.007
6	4	1	10	9.67	5.5	1.5	7.0	3.667	1.034	1.489
6	4	2	10.5	4.54	2.8	0.7	3.5	4.000	2.313	0.554
6	4	3	9.5	6.91	5.1	1.2	6.3	4.250	1.375	1.120
6	4	4	9	4.35	2.5	0.8	3.3	3.125	2.069	0.635
7	1	1	11	5.34	4.5	1.4	5.9	3.214	2.060	1.119
7	1	2	15	6.92	5.4	1.7	7.1	3.176	2.168	1.329
7	1	3	12.5	7.43	8.0	3.0	11.0	2.667	1.682	2.529
7	1	4	16	8.52	8.0	3.1	11.1	2.581	1.878	2.490
7	2	1	14.5	5.57	4.5	1.6	6.1	2.813	2.603	1.126

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
7	2	2	12	5.61	4.9	1.3	6.2	3.769	2.139	1.049
7	2	3	13.5	6.07	3.8	1.1	4.9	3.455	2.224	0.863
7	2	4	14.5	6.98	7.1	2.4	9.5	2.958	2.077	1.887
7	3	1	14.5	8.83	8.6	1.8	10.4	4.778	1.642	1.620
7	3	2	9.5	7.25	6.4	2.0	8.4	3.200	1.310	1.862
7	3	3	15.5	5.13	4.2	0.9	5.1	4.667	3.021	0.663
7	3	4	17	10.07	10.6	3.0	13.6	3.533	1.688	2.605
7	4	1	16.5	6.19	4.8	1.0	5.8	4.800	2.666	0.777
7	4	2	18	8.57	7.9	1.7	9.6	4.647	2.100	1.423
7	4	3	14.5	4.36	3.8	1.0	4.8	3.800	3.326	0.674
7	4	4	13.5	4.75	4.7	1.1	5.8	4.273	2.842	0.815
8	1	1	12.5	6.6	4.3	1.3	5.6	3.308	1.894	1.077
8	1	2	11	4.98	5.2	1.0	6.2	5.200	2.209	0.837
8	1	3	12.5	6.18	5.5	1.5	7.0	3.667	2.023	1.230
8	1	4	8	5.47	2.5	1.2	3.7	2.083	1.463	1.043
8	2	1	13.5	7.35	6.7	1.8	8.5	3.722	1.837	1.529
8	2	2	12	6.54	4.5	1.4	5.9	3.214	1.835	1.169
8	2	3	13.5	5.82	5.3	1.3	6.6	4.077	2.320	1.032
8	2	4	13.5	6.4	4.4	1.6	6.0	2.750	2.109	1.235
8	3	1	11.5	6.71	7.6	1.6	9.2	4.750	1.714	1.423
8	3	2	15.5	5.63	5.2	0.8	6.0	6.500	2.753	0.648
8	3	3	10	6.5	4.7	1.0	5.7	4.700	1.538	0.914
8	3	4	13.5	6.78	7.0	1.3	8.3	5.385	1.991	1.125
8	4	1	12	11.47	6.3	2.1	8.4	3.000	1.046	2.076
8	4	2	13	6.49	4.8	1.4	6.2	3.429	2.003	1.141
8	4	3	12.5	5.18	4.0	1.1	5.1	3.636	2.413	0.843

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
8	4	4	12.5	7.13	4.1	1.2	5.3	3.417	1.753	1.025
9	1	1	11	8.41	5.0	1.5	6.5	3.333	1.308	1.400
9	1	2	16.5	8.89	6.7	1.4	8.1	4.786	1.856	1.220
9	1	3	17	7.35	5.0	1.5	6.5	3.333	2.313	1.151
9	1	4	15	7.32	6.4	1.4	7.8	4.571	2.049	1.178
9	2	1	16.5	5.14	3.7	1.1	4.8	3.364	3.210	0.730
9	2	2	17.5	6.34	5.8	2.2	8.0	2.636	2.760	1.482
9	2	3	16	6.63	6.1	2.1	8.2	2.905	2.413	1.542
9	2	4	20.5	5.97	4.0	1.9	5.9	2.105	3.434	1.065
9	3	1	13.5	5.91	5.6	1.7	7.3	3.294	2.284	1.309
9	3	2	14	6.73	6.9	1.4	8.3	4.929	2.080	1.184
9	3	3	12.5	10.19	7.3	2.1	9.4	3.476	1.227	1.999
9	3	4	19	8.82	7.7	1.8	9.5	4.278	2.154	1.477
9	4	1	19.5	11.37	9.5	2.4	11.9	3.958	1.715	2.098
9	4	2	18	6.68	3.8	1.3	5.1	2.923	2.695	0.908
9	4	3	18.5	6.38	5.8	1.0	6.8	5.800	2.900	0.782
9	4	4	20.5	9.18	6.6	2.2	8.8	3.000	2.233	1.682
10	1	1	13.5	7.23	8.0	2.0	10.0	4.000	1.867	1.704
10	1	2	17	6.25	4.9	1.3	6.2	3.769	2.720	0.955
10	1	3	17.5	8.32	8.4	1.4	9.8	6.000	2.103	1.209
10	1	4	17	8.33	8.4	1.6	10.0	5.250	2.041	1.372
10	2	1	17.5	7.19	7.1	1.8	8.9	3.944	2.434	1.395
10	2	2	16	6.77	5.2	1.2	6.4	4.333	2.363	0.956
10	2	3	19.5	7.91	5.3	1.2	6.5	4.417	2.465	0.945
10	2	4	17	7.08	7.9	2.2	10.1	3.591	2.401	1.686
10	3	1	18	7.48	6.2	2.0	8.2	3.100	2.406	1.489

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
10	3	2	18	8.82	6.3	1.6	7.9	3.938	2.041	1.321
10	3	3	21	8.05	8.0	1.9	9.9	4.211	2.609	1.452
10	3	4	15	9.84	6.8	2.2	9.0	3.091	1.524	1.950
10	4	1	13	8.02	5.7	1.5	7.2	3.800	1.621	1.328
10	4	2	12.5	8.14	5.3	1.7	7.0	3.118	1.536	1.504
10	4	3	11.5	8.02	6.2	2.3	8.5	2.696	1.434	2.058
10	4	4	15	7.11	7.3	2.4	9.7	3.042	2.110	1.883
11	1	1	15	6.98	6.1	1.6	7.7	3.813	2.149	1.292
11	1	2	12	4.77	3.1	1.4	4.5	2.214	2.516	0.951
11	1	3	14.5	5.58	4.8	1.8	6.6	2.667	2.599	1.254
11	1	4	13	5.06	3.0	1.3	4.3	2.308	2.569	0.882
11	2	1	13	7.62	6.0	2.2	8.2	2.727	1.706	1.850
11	2	2	18.5	6.65	5.7	1.0	6.7	5.700	2.782	0.790
11	2	3	18	8.17	7.2	1.4	8.6	5.143	2.203	1.171
11	2	4	14	6.74	5.5	1.5	7.0	3.667	2.077	1.219
11	3	1	12	6.47	3.9	1.3	5.2	3.000	1.855	1.071
11	3	2	18	8.76	6.3	1.7	8.0	3.706	2.055	1.389
11	3	3	14.5	6.26	4.5	1.6	6.1	2.813	2.316	1.189
11	3	4	16	6.33	5.4	1.3	6.7	4.154	2.528	1.003
11	4	1	16.5	6.27	6.2	1.6	7.8	3.875	2.632	1.199
11	4	2	15	5.91	4.9	1.8	6.7	2.722	2.538	1.274
11	4	3	13.5	6.53	5.0	1.8	6.8	2.778	2.067	1.403
11	4	4	14	7.57	5.4	2.8	8.2	1.929	1.849	2.170
12	1	1	13.5	7.49	4.5	1.2	5.7	3.750	1.802	1.027
12	1	2	13.5	7.34	4.0	1.5	5.5	2.667	1.839	1.221
12	1	3	15	8.87	6.3	1.6	7.9	3.938	1.691	1.404

Tratamiento	Repetición	Planta	Altura (cm)	Diámetro (mm)	PSA	PSR	PST	PSA/PSR	IE	ICD
12	1	4	11.5	7.03	3.3	1.2	4.5	2.750	1.636	1.026
12	2	1	12	6.33	5.2	1.0	6.2	5.200	1.896	0.874
12	2	2	13.5	6.67	4.4	1.3	5.7	3.385	2.024	1.054
12	2	3	16	6.98	5.0	2.1	7.1	2.381	2.292	1.519
12	2	4	13	8.38	6.6	1.3	7.9	5.077	1.551	1.192
12	3	1	16.5	6.19	4.4	2.1	6.5	2.095	2.666	1.365
12	3	2	16	4.4	5.8	1.0	6.8	5.800	3.636	0.721
12	3	3	20	8.34	6.9	1.4	8.3	4.929	2.398	1.133
12	3	4	12	5.55	5.5	2.0	7.5	2.750	2.162	1.527
12	4	1	9.5	4.72	2.9	0.9	3.8	3.222	2.013	0.726
12	4	2	13	6.2	4.7	1.1	5.8	4.273	2.097	0.911
12	4	3	12	5.78	5.4	0.9	6.3	6.000	2.076	0.780
12	4	4	12.5	8.31	5.0	1.0	6.0	5.000	1.504	0.922