



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES MAESTRIA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

CALIDAD DE PLANTAS DE *Pinus greggii* INOCULADAS CON UNA ESPECIE DE HONGO ECTOMICORRÍZICO Y FERTILIZADAS EN MEZCLAS DE SUSTRATO A BASE DE ASERRÍN

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

JULIO CÉSAR VICENTE ARBONA

Bajo la supervisión de:

DIRECTOR: DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO
CODIRECTORA: DRA. VIOLETA CARRASCO HERNÁNDEZ
ASESOR: DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES



Chapingo, Estado de México, julio de 2018

CALIDAD DE PLANTAS DE *Pinus greggii* INOCULADAS CON UNA ESPECIE
DE HONGO ECTOMICORRÍZICO Y FERTILIZADAS EN MEZCLAS DE
SUSTRATO A BASE DE ASERRÍN

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____


Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

CODIRECTORA: _____


Dra. Violeta Carrasco Hernández

ASESOR: _____


Dr. Antonio Villanueva Morales

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| LISTA DE TABLAS | v |
| DEDICATORIA | vi |
| AGRADECIMIENTOS..... | vii |
| DATOS BIOGRÁFICOS..... | viii |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL | 9 |
| 1.2. Literatura citada | 11 |
| CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 12 |
| 2.1. Producción de plantas en vivero..... | 12 |
| 2.2. Calidad de planta..... | 13 |
| 2.2.1. El aserrín y la corteza de pino como sustrato en vivero..... | 15 |
| 2.2.2. Fertilizantes de liberación controlada..... | 16 |
| 2.2.3. Micorrizas..... | 18 |
| 2.2.3.1. Ectomicorrizas..... | 19 |
| 2.3. Literatura citada | 22 |
| CAPÍTULO 3. Calidad de planta de <i>Pinus greggii</i> producidas en mezclas de sustrato a base de aserrín | 28 |
| RESUMEN..... | 28 |
| ABSTRACT..... | 29 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN..... | 29 |
| 3.2. OBJETIVOS | 32 |
| 3.3. MATERIALES Y MÉTODOS | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.4. | RESULTADOS | 36 |
| 3.4.1. | Características físicas de las mezclas de sustrato..... | 36 |
| 3.4.2. | Características químicas de las mezclas de sustratos..... | 37 |
| 3.4.3. | Evaluación de calidad de planta a nivel de vivero..... | 38 |
| 3.5. | DISCUSIÓN..... | 40 |
| 3.5.1. | Características físicas de las mezclas de sustrato..... | 40 |
| 3.5.2. | Características químicas de las mezclas de sustratos..... | 42 |
| 3.5.3. | Evaluación de calidad de planta a nivel de vivero..... | 43 |
| 3.6. | CONCLUSIONES..... | 50 |
| 3.7. | RECONOCIMIENTOS..... | 50 |
| 3.8. | REFERENCIAS | 51 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Mezclas de sustratos a base de aserrín..... | 32 |
| Tabla 2. Tratamientos..... | 33 |
| Tabla 3. Densidades aparentes, diámetro medio ponderado y porosidades..... | 36 |
| Tabla 4. Componentes de la curva de liberación de agua..... | 37 |
| Tabla 5. Características químicas de las mezclas de sustrato..... | 37 |
| Tabla 6. Comparación de medias entre tratamientos (T) para diámetro (D_c), altura (h), índice de esbeltez (I_e) y peso seco de la parte aérea (p_a)..... | 38 |
| Tabla 7. Comparación de medias entre tratamientos (T) para peso seco subterráneo (p_s), peso seco total (p), relación peso seco parte aérea: peso seco raíz (p_a/p_s) e índice de Dickson (QI)..... | 39 |
| Tabla 8. Comparación de medias entre tratamientos (T) para el análisis nutrimental foliar, pérdida de electrolitos de la raíz (PER) y porcentaje de colonización (PC).. | 40 |
| Tabla 9. Intervalos de calidad para los atributos morfológicos y fisiológicos evaluados..... | 44 |

DEDICATORIA

A mi madre Irma Arbona Gallegos, a mi padre Galdino Vicente Tenorio, a mis hermanos y a mis sobrinos. En especial a: José Eduardo Vicente Hernández, Nathanael Lucas Vicente, Fernando de Jesús Vicente Arbona y Leylandii Vicente Hernández, quienes siempre están en mi mente y son los motivos para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros de licenciatura y de maestría, en especial a Elizabeth Serrano Ramírez; que el conocerlos fue parte fundamental en mi formación académica y personal.

A Thania Lucero González Lázaro, a quien admiro y respeto. Agradezco a Dios el poder conocerla, ya que me motiva a seguir consiguiendo más metas.

Muchas gracias a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por brindarme la beca para realizar mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y a la **Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales** por permitirme realizar mis estudios de posgrado, así como por el financiamiento y sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

Al **Sr. Alejandro Mota Rivera** por la semilla de *Pinus greggii*, el aserrín y la corteza de pino que amablemente donó para la realización de la investigación.

A la **Dra. Violeta Carrasco Hernández**, quien durante estos dos años estuvo al pendiente del desarrollo de la investigación, desarrollo académico y que tuvo la paciencia de poder transmitir un poco del conocimiento que, ha acumulado durante su vida profesional.

Al **Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo**, por todas sus enseñanzas, por estar pendiente de la investigación y mi desarrollo académico.

Al **Dr. Antonio Villanueva Morales**, por sus enseñanzas en la parte estadística las cuales serán de mucha ayuda en lo que resta de mi vida profesional.

En General, a la doctora y a los dos doctores, por ser excelentes personas a quienes respeto y admiro, de quienes aprendí mucho y son un ejemplo a seguir.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Julio César Vicente Arbona

Fecha de nacimiento: 1 de octubre de 1992

Lugar de nacimiento: San Andrés Calpan, Puebla

No. Cartilla militar: 1267233

CURP: VIAJ921001HPLCRL01

Profesión: Ingeniero Forestal

Cédula profesional: 9938344

Desarrollo académico

Bachillerato: Centro tecnológico agropecuario No. 185 Ext. 1 (actualmente No. 255)

Licenciatura: División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La superficie deforestada en México es de 440 600 ha (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015), lo cual ha ocasionado la pérdida de flora y fauna, incrementos en la pérdida de suelo debido a la erosión tanto hídrica como eólica y la disminución en la cantidad de agua que es infiltrada al suelo. Lo anterior ha motivado al establecimiento de plantaciones forestales comerciales y de restauración que mitiguen el impacto ocasionado en las áreas deforestadas, mediante programas gubernamentales o de iniciativa privada.

Aún con los programas que incentivan el establecimiento de plantaciones, la superficie que se reforestó para el año 2016 fue de 137 601 ha (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017) la cual es inferior a la tasa de deforestación. Adicional a lo anterior, se encuentran los porcentajes de supervivencia de las plantas en campo que pueden ser considerados como bajos o medianos. Sin duda, uno de los factores que contribuye a esta problemática es la falta de calidad en la planta que se está llevando de vivero a campo.

La calidad de planta en vivero ha sido estudiada en diversos países, como Estados Unidos, donde se han establecido desde hace varias décadas normas para clasificar tal calidad en vivero. En México se han establecido algunos estándares para evaluar la calidad de planta, sin embargo, aún se sigue investigando, dada la gran cantidad de especies arbóreas tanto coníferas como latifoliadas que posee el país.

Cabe mencionar que la calidad de planta obtenida en vivero será resultado de las condiciones en las que se produzcan las plantas y las prácticas durante el ciclo de producción. Algunos factores que son importantes en la producción de plantas en vivero son el sustrato o la mezcla de sustrato empleada, la fertilización y la micorrización.

Un sustrato de uso común en viveros tecnificados es la turba de musgo (peat moss). Debido a su costo elevado, pues es importada de Canadá y Estados Unidos, se han estudiado algunos sustratos alternativos más económicos, como lo son el aserrín y

la corteza de pino, estos han sido usados para producir plantas de algunas especies de coníferas obteniéndose plantas de buena calidad (Aguilera-Rodríguez et al., 2016; Hernández-Zarate et al., 2014; Maldonado-Benítez et al., 2011).

Debido al alto costo que representa el usar fertilizantes convencionales y la contaminación que generan en los mantos acuíferos se ha estudiado el uso de fertilizantes de liberación controlada en la producción de vivero, con dosis que van de 4 a 8 g L⁻¹ de sustrato, y se ha logrado obtener plantas de calidad con buenas concentraciones nutrimentales (Aguilera-Rodríguez et al., 2015, 2016).

En cuanto a la micorrización, estudios realizados en algunas especies de coníferas producidas en vivero han encontrado un efecto positivo en la altura, el peso seco aéreo y total, y en el porcentaje de colonización cuando se hizo inoculación con uno o más hongos ectomicorrízicos (Carrasco-Hernández et al., 2011; Carrera-Nieva & López-Ríos, 2004; Rentería-Chávez et al., 2017). En sustratos a base de aserrín, Aguilera-Rodríguez et al. (2015) señalaron la presencia de micorrizas en las plantas producidas. Sin embargo, no se detalló que fueran inoculadas o el porcentaje de colonización.

Los objetivos del presente estudio fueron: (1) evaluar la calidad de plantas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. producidas en mezclas de sustrato a base de aserrín, fertilizadas e inoculadas con una especie de hongo ectomicorrízico, (2) evaluar las características físicas y químicas de las mezclas de sustrato para verificar que se encuentran dentro de los estándares para producir plantas en contenedores y (3) evaluar el porcentaje de colonización, para confirmar que ésta no se vea afectada por las mezclas de sustrato y a causa de los niveles de fertilización.

En el presente documento se detalla en la revisión de literatura la información relacionada con la calidad de planta, el aserrín de pino, los fertilizantes de liberación controlada, las micorrizas y las ectomicorrizas; mientras que en el último capítulo se presenta el artículo científico resultado de la investigación realizada.

1.2. Literatura citada

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2015). Producción de *Pinus pseudostrabus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Carrasco-Hernández, V., Pérez-Moreno, J., Espinosa-Hernández, V., Almaraz-Suárez, J. J., Quintero-Lizaola, R., & Torres-Aquino, M. (2011). Contenido de nutrientes e inoculación con hongos ectomicorrízicos comestibles en dos pinos neotropicales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1), 83–96. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100006>
- Carrera-Nieva, A., & López-Ríos, G. F. (2004). Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(2), 93–98.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Compendio de datos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Roma.
- Hernández-Zárate, L., Aldrete, A., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48(6), 627–637.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>
- Maldonado-Benitez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389–398.
- Rentería-Chávez, M. C., Pérez-Moreno, J., Cetina-Alcalá, V. M., Ferrera-Cerrato, R., & Xoconostle-Cázares, B. (2017). Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrízicos en dos sustratos. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(1), 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.004>

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de plantas en vivero

Actualmente la producción de plantas de especies forestales en vivero es parte fundamental de la puesta en marcha de programas de reforestación y de establecimiento de plantaciones forestales comerciales, así como para programas dasonómicos urbanos o en el establecimiento de sistemas agroforestales. Ya sea que las plantas sean producidas en viveros tradicionales o tecnificados, en bolsa, en contenedor o a raíz desnuda, un concepto que toma relevancia es el de calidad de planta, dado que cuando se utiliza planta de calidad la supervivencia es mayor (Rodríguez-Trejo, 2008).

En términos generales, un vivero es el sitio que cuenta con la suficiente extensión territorial que le permite albergar un conjunto de instalaciones, equipo, herramientas e insumos, en el cual laborará personal que aplicará técnicas para la producción de plantas de calidad apropiada, según la especie y el lugar de plantación. En el vivero se les proporciona a las plantas los cuidados necesarios durante el cultivo y manejo hasta que puedan ser plantadas en su ubicación definitiva (Nicolas & Roche-Hamon, 1988).

La producción en vivero es el único momento en el que es posible llevar a cabo el control sobre ciertas variables que afectan la producción de planta de calidad, por lo cual es el punto esencial de partida para poder realizar cualquier programa de plantación (Dumroese et al., 1998). Sin embargo, en algunos viveros es común tener un enfoque en el logro de una meta de producción y no uno sobre la calidad física y genética de la planta (Wightman & Cruz, 2003), lo cual debe ser factor de impacto en los bajos porcentajes de supervivencia presentados en los programas de reforestación, dado que el primer enfoque mencionado no considera como mayor relevancia la calidad sino la cantidad.

La calidad de planta en vivero ha sido estudiada durante varias décadas y como se ha señalado es un punto importante en los programas de plantaciones, por lo que en el siguiente apartado se detallan algunos aspectos relevantes.

2.2. Calidad de planta

El concepto de calidad de planta se remonta al año de 1917, cuando Tillotson (1917) escribió su obra “Nursery practice on the national forests” en la cual hace una breve discusión sobre los estándares de clasificación de plantas en vivero.

Estados Unidos es uno de los países que durante varias décadas ha realizado estudios sobre la calidad de planta producida en vivero. Durante los años 1930 y posteriores en este país se elaboraron manuales que dedicaron secciones a explicar las normas de clasificación y la importancia del diámetro del tallo como una especificación de las plantas objetivo (Mexal & Landis, 1990). Diversos estudios observaron que el diámetro del tallo es una de las mejores características morfológicas para clasificar las plantas (Engstrom & Stoeckeler, 1941; Stoeckeler & Slabaugh, 1965; Wakeley, 1954).

Dado que la calidad de la planta no puede ser clasificada considerando solamente una o dos características morfológicas, en el año de 1960 se probaron en plántulas de *Picea glauca* (Moench) Voss y *Pinus strobus* L., de cuatro viveros del noreste de los Estados Unidos, siete fórmulas que combinaron en formas diferentes indicadores morfológicos como el diámetro del cuello, altura, peso seco total, de la parte aérea y subterránea (Dickson et al., 1960a). De esas siete formulas se seleccionó la que mejor explicaba la calidad de la planta bajo las especificaciones establecidas por las normas de los viveros, y actualmente se le conoce como el índice de calidad de Dickson.

Posteriormente el índice fue usado para observar la existencia de relaciones entre la calidad de planta y los diferentes niveles de fertilidad del suelo en la producción de planta, a raíz desnuda, de *Picea glauca*, *Pinus strobus* y *Pinus resinosa* Aiton de cuatro viveros de Estados Unidos. Se encontró que el contenido de nutrientes por

planta estuvo estrechamente relacionado con la calidad de los brinzales, y que la calidad de planta se ve afectada por dos factores ambientales, que son: la fertilidad del suelo del vivero y la densidad de plantas (Dickson et al., 1960b).

El diámetro del cuello, la altura, los pesos secos y el índice de Dickson, han sido utilizados para clasificar la calidad de planta en vivero; sin embargo, para poder decir que una planta es de calidad se tiene que confirmar su rendimiento en campo.

Se considera que una planta de calidad será aquella que posea ciertos atributos morfológicos y fisiológicos que le permitan establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en las condiciones imperantes del sitio de plantación (aclimatarse), alcanzando niveles definidos de supervivencia que satisfacen los objetivos de los programas de plantaciones comerciales o de reforestación (Duryea, 1985; Johnson & Cline, 1991; Mexal & Landis, 1990; Rodríguez-Trejo, 2008; Toral, 1997).

Se debe tener en cuenta que la calidad de la planta observada en su morfología (fenotipo) es resultado de su genética (genotipo) y del ambiente de propagación (Landis, 1995). Por lo tanto, la calidad ideal de una planta forestal producida en vivero debe estar sujeta a su “adecuación para cada propósito” (Ritchie, 1984; Willen & Sutton, 1980).

El encargado del vivero y del programa de establecimiento de plantaciones comerciales o de reforestación, debe tener en mente que no existe una planta que pueda ser catalogada para “todo propósito” ya que una planta que luce “vigorosa y bonita” en el vivero, no sobrevivirá ni crecerá bien en todos los sitios de plantación (Landis, 1995).

En México se utilizan algunos indicadores e índices morfológicos y fisiológicos que han sido mencionados en la literatura de Estados Unidos y que son adecuados para ser empleados en los viveros de este país. No obstante, muchas veces el control de calidad de planta solo se realiza a nivel de vivero, pero éste se debe visualizar en dos formas: 1) para alcanzar ciertos estándares morfológicos y fisiológicos que

denoten calidad en vivero y 2) que dichos estándares sean comprobados estadísticamente en campo (Rodríguez-Trejo, 2008).

El presente estudio solo contempla el primer punto señalado por Rodríguez-Trejo (2008), pero se considera de relevancia que más estudios incluyan ambos puntos.

2.2.1. El aserrín y la corteza de pino como sustrato en vivero

El aserrín y la corteza de pino pueden considerarse como desperdicio de las actividades de aserrío en la producción forestal. El aserrín puede representar el 11.11% del volumen de una troza de 4 pies, aserrada con sierra banda de 1/8 de pulgada. Bajo el supuesto que la troza de 4 pies tuviera un grosor de corteza de 1 cm y un diámetro de 32 cm, el volumen de corteza representaría el 12% del volumen de la troza.

En el año 2016 se destinaron 4 793 563 m³ de madera en rollo para la producción de escuadría (INEGI, 2017). Suponiendo que los porcentajes antes señalados ocurrieran en todos los aserraderos de México y que el volumen de madera en rollo destinado para la producción de escuadría es con corteza, el volumen de aserrín y corteza para el año 2016 que se pudo haber generado es de aproximadamente 1 107 792.41 m³.

Dado el alto volumen de aserrín y corteza que se puede generar cada año y que para la mayoría de los aserraderos solo representa un problema, es factible emplearlo en la producción de plantas en vivero. Cabe señalar que el precio de la turba de musgo es elevado pues es un producto importado, mientras que el aserrín y corteza son productos de bajo precio.

Estudios realizados en plantas de *Pinus greggii*, *P. montezumae* Lamb., *Pinus pseudostrobus* Lindl., producidas en mezclas de sustrato a base de aserrín y corteza de pino entre sus componentes principales, obtuvieron plantas de buena calidad comparables o mejores a las producidas con una mezcla testigo de turba de musgo, perlita y vermiculita. Encontraron valores adecuados de diámetro del tallo, altura, relación peso seco aéreo y subterráneo, índice de calidad de Dickson (Aguilera-

Rodríguez et al., 2015, 2016; Hernández-Zárte et al., 2014; Maldonado-Benitez et al., 2011). Sin embargo, no se comprobó que la calidad de dichas plantas se viera reflejada en una mayor supervivencia en campo.

Existen estudios que demuestran cómo ciertos indicadores e índices pueden pronosticar la supervivencia en campo, pero se debe considerar que el efecto de uno u otro de ellos será distinto para cada especie y sitio de plantación.

Estudios realizados en plantas de *P. nigra* ssp. *nigra* var. *nigra* Arnold producidas en un sustrato de turba de musgo, corteza humificada y aserrín, y de *P. pseudostrobus* producidas en turba de musgo y tierra de monte, encontraron que el índice de esbeltez, la relación del peso seco aéreo y subterráneo, la altura o el diámetro del cuello del tallo fueron los mejores atributos para pronosticar la supervivencia en campo (Ivetić et al., 2016; Sigala-Rodríguez et al., 2015). Plantas de calidad de *P. montezumae* tuvieron una alta supervivencia (>83%) en una exposición norte con respecto a una exposición sur, sin efecto de la altitud en el intervalo de estudio (Robles-Villanueva et al., 2017)

Finalmente, cabe señalar que el llevar a campo plantas con atributos deseables no garantiza altos porcentajes de supervivencia; más bien, el llevar ese tipo de plantas aumenta las posibilidades de supervivencia después de ser plantadas (Grossnickle, 2012). Así también, un grupo de indicadores o índices pueden predecir la supervivencia en campo de cierta especie y no de otras.

2.2.2. Fertilizantes de liberación controlada

El desarrollo de los fertilizantes de liberación controlada (FLC) fue un proceso paralelo a los avances realizados sobre el crecimiento en contenedores durante las décadas de los 1980 y 1990. Los primeros disponibles solo contenían nitrógeno, pero posteriormente incluyeron potasio, fósforo y otros nutrientes, incluidos algunos micronutrientes (Rudin, 2015).

La necesidad de controlar la liberación de nutrientes surgió por diversas razones, entre algunas de ellas destacan: una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes que

impacta en los costos de producción, la protección del ambiente y el facilitar el manejo de la producción. Los FLC se prestan a la solución de algunos problemas específicos, como la liberación de nutrientes en formas difíciles de conseguir (Oertli, 1980).

La mayoría de los productos que se han desarrollado se pueden agrupar en uno de las siguientes clases: fertilizantes recubiertos, uso de compuestos pocos solubles, aquellos en los cuales los nutrientes están unidos (ya sea química o físicamente) a una sustancia portadora, liberación de nutrientes a través de la actividad microbiana y productos naturales con propiedades de liberación lenta (Oertli, 1980).

Los FLC son la forma más novedosa y técnicamente más avanzada de suministrar nutrientes minerales a las plantas de vivero. En comparación con los fertilizantes convencionales, su patrón gradual de liberación de nutrientes satisface mejor las necesidades de la planta, minimiza la lixiviación y, por lo tanto, mejora la eficiencia del uso de fertilizante (Landis & Dumroese, 2009).

Las investigaciones sobre el uso de FLC en viveros forestales no es tan amplia en México y en la práctica su uso no está muy difundido en todos los viveros del país. En México, para *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* producidos en mezclas de sustrato que usaron aserrín y corteza de pino, y fertilizadas con FLC de diferentes periodos de liberación y de diferentes marcas comerciales, se encontró que en general la calidad de las plantas mejoró cuando se usó una combinación de dos o tres concentraciones de 6 y 8 g L⁻¹, en periodos de liberación de 4 a 6 meses o de 8 a 9 meses (Aguilera-Rodríguez et al., 2015, 2016).

Algunos estudios realizados en otros países han destacado que plantas de *Picea glauca*, *Pinus halepensis* Mill., *P. jeffreyi* Balf., y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, fertilizadas con diferentes FLC con dosis que van de los 3 a los 16 g L⁻¹ han presentado un mayor crecimiento en altura, diámetro y concentraciones nutrimentales foliares con respecto a las no fertilizadas, así como un mayor crecimiento conforme se incrementa la dosis de fertilización. El efecto fue registrado por algunos estudios en vivero y en campo, para los que llevaron a campo las

plantas no encontraron correlación con la supervivencia (Haase et al., 2006; Krasowski et al., 1999; Olliet et al., 1999; Olliet et al., 2004; Walker, 2002).

2.2.3. Micorrizas

El término micorriza fue propuesto por Frank (1885) en su trabajo sobre la asociación entre hongos y árboles, y literalmente significa hongo-raíz. El término fue propuesto para definir las asociaciones simbióticas, mutualistas, entre las raíces de las plantas y los micelios de los hongos.

La micorriza se da mediante la interacción de miembros del reino Fungi (Basidiomicetos, Ascomicetos, Glomeromicetos y Zigomicetos) y la mayoría de las plantas vasculares (Brundrett et al., 1991; Harley & Smith, 1983; Kendrick, 1992; Smith & Read, 2008). Es de importancia mencionar que, los hongos micorrízicos forman extensas redes miceliales en los suelos de bosques templados y boreales (Smith & Read, 2008).

Se reconocen diversos tipos de micorrizas, que involucran diferentes grupos de hongos, planta hospedera y patrones morfológicos distintos (Brundrett et al. 1996; Honrubia et al., 2002; Smith & Read, 2008). Los grupos que se reconocen son siete: micorriza arbuscular (MA), ectomicorriza (ECM), ectendomicorriza, micorriza arbutoide, micorriza ericoide, micorriza monotropoide y micorriza orquideoide (Brundrett et al., 1996; Smith & Read, 2008).

Las evidencias moleculares propuestas por Gargas et al. (1995), muestran que la simbiosis micorrízica debió aparecer en repetidas ocasiones a lo largo del tiempo y en diferentes lugares de la geografía emergida en el paleozoico. Diversos estudios sugieren que la existencia de los *Glomeromycota* es de al menos el ordovícico (Redecker et al., 2000), como precursores de las actuales especies de hongos responsables de la micorriza arbuscular, siendo que tales estructuras endotróficas se remontan al devónico temprano (Taylor et al., 2003).

Se sugiere que las simbiosis micorrízica fue transcendental en el proceso de terrestreización (Pirozynski & Malloch, 1975). Aproximadamente entre el 80 al 92%

de las especies y familias de plantas, tienen una relación micorrízica, siendo la predominante la micorriza arbuscular (Wang & Qiu, 2006). Para el presente estudio el grupo de micorriza que toma importancia es el de las ectomicorrizas, del cual se habla en el siguiente apartado.

2.2.3.1. Ectomicorrizas

Las ectomicorrizas (ECM) son asociaciones mutualistas entre hongos “superiores” y ciertas familias de Gimnospermas o Angiospermas (Brundrett et al., 1996). Una raíz ectomicorrízica se caracteriza por presentar tres componentes principales; un manto de tejido fúngico que encierra la raíz, un crecimiento interno de las hifas entre las células epidérmicas y corticales llamada red de Hartig y un sistema de hifas que crece hacia afuera o micelio externo, y tanto el manto como la red de Hartig pueden no estar bien desarrolladas (Brundrett et al., 1996; Smith & Read, 2008).

Se estima que al menos 6,000 especies de plantas y 20,000 especies de hongos están involucradas en esta simbiosis ecológica y económicamente importante (Brundrett, 2009; Rinaldi et al., 2008).

El origen de las ectomicorrizas se estima fue hace aproximadamente unos 200 millones de años, a mediados de la era mesozoica, coincidiendo con la aparición de sus plantas hospedantes (Cairney, 2000). Las pináceas debieron de surgir entre el jurásico y el triásico, pero fue en el Cretácico el periodo de su diversificación (Malloch et al., 1980).

Una gran cantidad de especies de árboles de las zonas templadas boreales y australes del mundo forman ECM (Pérez-Moreno & Read, 2004); sin embargo, diversas especies de árboles tropicales y subtropicales en América, África, Asia y Australia pueden formar ECM (Founoune et al., 2002; Moyersoén et al., 1998; Moyersoén, Fitter, & Alexander, 1998; Onguene & Kuyper, 2002; Pérez-Moreno, 1998). En el trópico se han reportado al menos 49 géneros distribuidos en 13 familias, formando ECM (Pérez-Moreno & Read, 2004).

Las ECM proveen en general a sus plantas hospedantes: protección a la raíz, un mayor alcance de exploración y asimilación de nutrientes. El micelio de las ECM actúa como una red de comunicación y de transferencia de nutrientes que conecta a las plantas hospedantes vecinas afectando los procesos del ecosistema y la dinámica de la comunidad, incluido el establecimiento de plantas, la sucesión de plantas y la resiliencia del ecosistema (Horton & van der Heijden, 2008; Selosse et al., 2006; Simard et al., 2012; Simard et al., 2003; Simard & Austin, 2010; Simard & Durall, 2004; van der Heijden & Horton, 2009).

Dado el efecto positivo que proveen las ECM a sus plantas hospedantes, es de importancia que las plantas que se producen en vivero presenten esta asociación para que puedan competir con otras especies del sitio de plantación y tengan una mejor supervivencia, dadas las ventajas que les confieren.

El efecto benéfico de las ECM se ha registrado en estudios realizados con *P. greggii*, *P. patula* Schiede ex Schlttdl. & Cham. y *P. pseudostrobus* inoculadas con una o varias especies ECM, de los géneros *Hebeloma*, *Laccaria* y *Suillus*. Se encontró que las plantas inoculadas presentaron mejores pesos secos de la parte aérea y subterránea, así como mayor contenido nutrimental, respecto de las no inoculadas (Carrasco-Hernández et al., 2011; Carrera-Nieva & López-Ríos, 2004; Martínez-Reyes et al., 2012; Méndez-Neri et al., 2011; Rentería-Chávez et al., 2017).

Efecto similar se registró en plantas de *P. contorta* Douglas ex Loudon, *Picea glauca* y *Picea mariana* (Mill.) Britton & et al., producidas en contenedor y en las de *P. sylvestris* L. y *Larix sibirica* Ledeb., producidas a raíz desnuda, inoculadas con 6 especies de ECM, donde también destacan que los niveles de fertilización no afectaron la colonización y que es posible reducir en un 33% la cantidad usada de fertilizantes en vivero mediante el uso de ECM selectas (Khasa et al., 2001).

El efecto benéfico de las ECM no solo ha sido registrado en algunos atributos morfológicos medidos en vivero. Plantas de *P. pseudostrobus*, *P. pinea* L., *P. thunbergii* Parl, y *Pseudotsuga menziesii* producidas en diferentes condiciones de vivero e inoculadas con una o más especies de ECM, tuvieron un mejor porcentaje

de supervivencia en campo, con respecto a plantas no inoculadas (Gómez-Romero et al, 2013; Nakashima et al., 2016; Parladé et al., 2004; Pera et al., 1999)

En cuanto al estudio de la asociación ECM en plantas producidas en mezclas de sustrato que empleen aserrín y corteza de pino como componentes principales, Aguilera-Rodríguez et al. (2015) mencionaron haber encontrado la presencia de esta asociación pero no señalan la especie ni el porcentaje de colonización.

En el siguiente capítulo se muestra el artículo resultado de la investigación realizada, el cual se envió a la revista Madera y Bosques, y que se incluye con la estructura y formato de envío para la misma.

2.3. Literatura citada

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2015). Producción de *Pinus pseudo-strobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Brundrett, M. C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1–2), 37–77. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9877-9>
- Brundrett, M. C., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. ACIAR Monograph 32. Canberra, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Brundrett, M. C., Kendrick, B., & Peterson, C. A. (1991). Efficient lipid staining in plant material with Sudan red 7b or fluoral yellow 088 in polyethylene glycol-glycerol. *Biotechnic and Histochemistry*, 66(3), 111–116. <https://doi.org/10.3109/10520299109110562>
- Cairney, J. W. G. (2000). Evolution of mycorrhiza systems. *Naturwissenschaften*, 87(11), 467–475. <https://doi.org/10.1007/s001140050762>
- Carrasco-Hernández, V., Pérez-Moreno, J., Espinosa-Hernández, V., Almaraz-Suárez, J. J., Quintero-Lizaola, R., & Torres-Aquino, M. (2011). Contenido de nutrientes e inoculación con hongos ectomicorrízicos comestibles en dos pinos neotropicales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1), 83–96. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100006>
- Carrera-Nieva, A., & López-Ríos, G. F. (2004). Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(2), 93–98.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960a). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960b). Seedling quality-soil fertility relationships of white spruce, and red and white pine in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(3), 237–241. <https://doi.org/10.5558/tfc36237-3>
- Dumroese, R. K., Landis, T. D., & Wenny, D. L. (1998). *Raising Forest Tree Seedlings at Home: Simple Methods for Growing Conifers of the Pacific Northwest From Seeds*. USA: USDA Forest Service.
- Duryea, M. L. (1985). Evaluating seedling quality: Importance to reforestation. In M. L. Duryea (Ed.), *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles*,

- procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 1–4). Oregon: USA: Forest Research Laboratory, Oregon State University.
- Engstrom, H. E., & Stoeckeler, J. H. (1941). *Nursery practice for trees and shrubs suitable for planting on the prairie-plains*. Washington, DC: U.S.: United States Department of Agriculture. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.65705>
- Founoune, H., Duponnois, R., Bâ, A. M., & El Bouami, F. (2002). Influence of the dual arbuscular endomycorrhizal/ectomycorrhizal symbiosis on the growth of *Acacia holosericea* (A. Cunn. ex G. Don) in glasshouse conditions. *Annals of Forest Science*, 59(1), 93–98. <https://doi.org/10.1051/forest:2001008>
- Frank, B. (1885). Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte Der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 3(4), 128–145. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1885.tb04240.x>
- Gargas, A., Depriest, P. T., Grube, M., & Tehler, A. (1995). Multiple Origins of Lichen Symbioses in Fungi Suggested by SSU rDNA Phylogeny. *Science*, 268(5216), 1492–1495. <https://doi.org/10.1126/science.7770775>
- Gómez-Romero, M., Villegas, J., Sáenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrabus* en cárcavas. *Madera y Bosques*, 19(3), 51–63.
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5–6), 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Haase, D. L., Rose, R., & Trobaugh, J. (2006). Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 31(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-5396-6>
- Harley, J. L., & Smith, S. E. (1983). *Mycorrhizal symbiosis*. England & USA: Academic Press.
- Hernández-Zárate, L., Aldrete, A., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48(6), 627–637.
- Honrubia, M., Morte, M. A., & Díaz, G. (2002). Dinamismo del componente fúngico micorrízico y su incidencia en la regeneración del bosque mediterráneo. En J. Charco (Ed.), *La regeneración natural del bosque mediterráneo en la península Ibérica: evaluación de problemas y propuesta de soluciones* (pp. 87–113). Madrid, España: asociación para la Recuperación el Bosque Autóctono y Ministerio de Medio Ambiente.
- Horton, T. R., & van der Heijden, M. G. A. (2008). The role of symbioses in seedling establishment and survival. In M. A. Leck, V. T. Parker, & R. L. Simpson (Eds.), *Seedling Ecology and Evolution* (pp. 189–214). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815133.011>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>
- Ivetić, V., Grossnickle, S., & Škoric, M. (2016). Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. *IForest*, *10*(1), 99–107. <https://doi.org/10.3832/ifor1722-009>
- Johnson, J. D., & Cline, M. L. (1991). Chapter 8 Seedling Quality of Southern Pines. In M. L. Duryea & P. M. Dougherty (Eds.), *Forest Regeneration Manual. Forestry Sciences, vol. 36*. (pp. 143–159). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3800-0_8
- Kendrick, B. (1992). *The Fifth Kingdom*. Focus Publishing/R. Pullins Company.
- Khasa, P. D., Sigler, L., Chakravarty, P., Dancik, B. P., Erickson, L., & Mc Curdy, D. (2001). Effect of fertilization on growth and ectomycorrhizal development of container-grown and bare-root nursery conifer seedlings. *New Forests*, *22*(3), 179–197. <https://doi.org/10.1023/A:1015674921878>
- Krasowski, M. J., Owens, J. N., Tackaberry, L. E., & Massicotte, H. B. (1999). Above- and below-ground growth of white spruce seedlings with roots divided into different substrates with or without controlled-release fertilizer. *Plant and Soil*, *217*(1–2), 131–143. <https://doi.org/10.1023/a:1004604221074>
- Landis, T. D. (1995). Initial Planning and Feasibility Assessment. In T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual vol. 1: Nursery Planning, Development, and Management. Agriculture Handbook 674* (pp. 1–25). Washington, DC: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes*, 5–12.
- Maldonado-Benitez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, *45*(3), 389–398.
- Malloch, D. W., Pirozynski, K. A., & Raven, P. H. (1980). Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbioses in vascular plants (A Review). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *77*(4), 2113–2118. <https://doi.org/10.1073/pnas.77.4.2113>
- Martínez-Reyes, M., Pérez-Moreno, J., Villarreal-Ruiz, L., Ferrera-Cerrato, R., Xoconostle-Cázares, B., Vargas-Hernández, J. J., & Honrubia-García, M. (2012). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con el hongo comestible ectomicorrízico *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Quél. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *18*(2), 183–192. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.112>
- Méndez-Neri, M., Pérez-Moreno, J., Quintero-Lizaola, R., Hernández-Acosta, E., & Lara-Herrera, A. (2011). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii*

- inoculado con tres hongos comestibles ectomicorrízicos. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 73–81.
- Mexal, J. G., & Landis, T. D. (1990). Chapter 3 Target Seedling Concepts : Height and Diameter. In *Proceedings, Western Forest Nursery Association* (pp. 13–35). Fort Collins, CO: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Moyersoén, B., Alexander, I. J., & Fitter, A. H. (1998). Phosphorus nutrition of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal tree seedlings from a lowland tropical rain forest in Korup National Park, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 14(1), 47–61. <https://doi.org/10.1017/S0266467498000054>
- Moyersoén, B., Fitter, A. H., & Alexander, I. J. (1998). Spatial distribution of ectomycorrhizas and arbuscular mycorrhizas in Korup National Park rain forest, Cameroon, in relation to edaphic parameters. *New Phytologist*, 139(2), 311–320. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00190.x>
- Nakashima, H., Eguchi, N., Uesugi, T., Yamashita, N., & Matsuda, Y. (2016). Effect of ectomycorrhizal composition on survival and growth of *Pinus thunbergii* seedlings varying in resistance to the pine wilt nematode. *Trees*, 30(2), 475–481. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1217-0>
- Nicolas, J. P., & Roche-Hamon, Y. (1988). *El vivero*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Oertli, J. J. (1980). Controlled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, 1(2), 103–123. <https://doi.org/10.1007/BF01073182>
- Oliet, J., Planelles, R., Segura, M. L., Artero, F., & Jacobs, D. F. (2004). Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.019>
- Oliet, J., Segura, M. L., Martín, F., Blanco, E., Serrada, R., López, M., & Artero, F. (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), 207–222.
- Onguene, N. A., & Kuyper, T. W. (2002). Importance of the ectomycorrhizal network for seedling survival and ectomycorrhiza formation in rain forests of south Cameroon. *Mycorrhiza*, 12(1), 13–17. <https://doi.org/10.1007/s00572-001-0140-y>
- Parladé, J., Luque, J., Pera, J., & Rincón, A. M. (2004). Field performance of *Pinus pinea* and *P. halepensis* seedlings inoculated with *Rhizopogon* spp. and outplanted in formerly arable land. *Annals of Forest Science*, 61(6), 507–514. <https://doi.org/10.1051/forest:2004045>
- Pera, J., Álvarez, I. F., Rincón, A., & Parladé, J. (1999). Field performance in northern Spain of Douglas-fir seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 9(2), 77–84. <https://doi.org/10.1007/s005720050003>

- Pérez-Moreno, J. (1998). La ectomicorriza una simbiosis mutualista en el sostenimiento de Gaia, el planeta viviente. En R. Ferrera-Cerrato & J. Pérez-Moreno (Eds.), *Manejo de agroecosistemas sostenibles* (pp. 93–120). Xalapa, México: Universidad Veracruzana.
- Pérez-Moreno, J., & Read, D. J. (2004). Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29(5), 239–247.
- Pirozynski, K. A., & Malloch, D. W. (1975). The origin of land plants: A matter of mycotrophism. *Biosystems*, 6(3), 153–164. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(75\)90023-4](https://doi.org/10.1016/0303-2647(75)90023-4)
- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486), 1920–1921. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>
- Rentería-Chávez, M. C., Pérez-Moreno, J., Cetina-Alcalá, V. M., Ferrera-Cerrato, R., & Xoconostle-Cázares, B. (2017). Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrízicos en dos sustratos. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(1), 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.004>
- Rinaldi, A. C., Comandini, O., & Kuyper, T. W. (2008). Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity*, 33, 1–45.
- Ritchie, G. A. (1984). Chapter 23 Assessing Seedling Quality. In *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings* (pp. 243–259). Covallis, Oregon: USA: Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory, Oregon State University.
- Robles-Villanueva, F., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2017). Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 55–76.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Universidad Autónoma Chapingo, México: Mundi-Prensa.
- Rudin, L. (2015). Controlled release fertilizers: recent nursery trials in Sweden. *Acta Horticulturae*, 1085(46), 257–260. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1085.46>
- Selosse, M. A., Richard, F., He, X., & Simard, S. W. (2006). Mycorrhizal networks: des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology and Evolution*, 21(11), 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.07.003>
- Sigala-Rodríguez, J. Á., González-Tagle, M., & Prieto-Ruiz, J. Á. (2015). Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y precondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 20–31.

- Simard, S. W., & Austin, M. E. (2010). The Role of Mycorrhizas in Forest Soil Stability with Climate Change. In *Climate Change and Variability* (Vol. 15, pp. 275–302). <https://doi.org/10.5772/9813>
- Simard, S. W., Beiler, K. J., Bingham, M. A., Deslippe, J. R., Philip, L. J., & Teste, F. P. (2012). Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. *Fungal Biology Reviews*, 26(1), 39–60. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2012.01.001>
- Simard, S. W., & Durall, D. M. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1140–1165. <https://doi.org/10.1139/b04-116>
- Simard, S. W., Jones, M. D., & Durall, D. M. (2003). Carbon and Nutrient Fluxes Within and Between Mycorrhizal Plants. In M. G. A. van der Heijden & I. R. Sanders (Eds.), *Mycorrhizal Ecology* (Ecological, pp. 33–74). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-38364-2_2
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3a Ed.). England: Academic Press.
- Stoeckeler, J. H., & Slabaugh, P. E. (1965). *Conifer nursery practice in the prairie-plains*. Washington, DC: U.S.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Taylor, T. N., Klavins, S. D., Krings, M., Taylor, E. L., Kerp, H., & Hass, H. (2003). Fungi from the Rhynie chert: a view from the dark side. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 94(4), 457–473. <https://doi.org/10.1017/S0263593303000324>
- Tillotson, C. R. (1917). *Nursery practice on the national forests*. USA: USDA Agric. Bull.
- Toral, I. M. (1997). *Conceptos de calidad de plantas en viveros forestales*. Documento Técnico 1. Guadalajara, Jal. México: Ciclo Económico Forestal. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco.
- van der Heijden, M. G. A., & Horton, T. R. (2009). Socialism in soil? the importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 97(6), 1139–1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01570.x>
- Wakeley, P. C. (1954). *Planting the southern pines*. Washington, DC: U.S.: Forest Service, U. S. Department of Agriculture.
- Walker, R. F. (2002). Growth and nutritional responses of bareroot Jeffrey pine on a Sierra Nevada surface mine to minisite applications of fertilizer and lime. *New Forests*, 24(3), 225–238. <https://doi.org/10.1023/A:1021337321332>
- Wang, B., & Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16(5), 299–363. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6>
- Wightman, K. E., & Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 45–51.
- Willen, P., & Sutton, R. F. (1980). Evaluation of stock after planting. *New Zealand Journal Forest*, 10(1), 297–299.

CAPÍTULO 3.

Calidad de planta de *Pinus greggii* producidas en mezclas de sustrato a base de aserrín

Seedling quality of *Pinus greggii* produced in sawdust-based substrate mixtures

RESUMEN

En México la superficie deforestada es elevada y los porcentajes de supervivencia en las reforestaciones no son altos, por lo cual es importante llevar planta de calidad a campo. Factores como los sustratos o mezclas de sustrato, la fertilización y la inoculación de plantas en vivero, están relacionados directamente con los resultados que se obtienen en campo. El objetivo general del presente estudio fue evaluar la calidad, a nivel de vivero, de plantas de *P. greggii* que se produjeron considerando los factores antes señalados. Las plantas producidas presentaron diámetro del cuello del tallo > 4 mm y un índice de calidad de Dickson calificado como medio a alto. Los tratamientos presentaron deficiencias en *N* y *P*. Los porcentajes de colonización ectomicorrízica fueron $> 40\%$ en los tratamientos inoculados. El tratamiento T1 [mezcla S1 (80% aserrín; 20% corteza), fertilización tipo A (8 g de fertilizantes de liberación controlada + 75 ppm de N) e inoculación ectomicorrízica con *Laccaria laccata* (3 g en polvo)], fue uno de los que produjo planta de mejor calidad. Se recomienda el uso de T1 por el bajo costo que tiene respecto a los otros tratamientos evaluados y por la presencia de ectomicorrizas que producirán un efecto benéfico más evidente en el sitio de plantación.

PALABRAS CLAVE: Índice de calidad Dickson, inoculación, fertilización de liberación controlada, pérdida de electrolitos de la raíz, ectomicorriza.

ABSTRACT

In Mexico the deforested area is high and the survival percentages in the reforestations are not high, which is why it is important to bring a seedling quality to the field. Factors such as the growing media, fertilization and inoculation of plants in the forest nursery, are directly related to the results obtained in the field. The general objective of the present study was to evaluate the quality, at the nursery level, of plants of *P. greggii* that were produced considering the aforementioned factors. The plants produced had a diameter > 4 mm and a Dickson quality index rated as medium to high. The treatments showed deficiencies in *N* and *P*. The percentages of ectomycorrhizal colonization were >40% in the inoculated treatments. The T1 treatment [mixture S1 (80% sawdust, 20% bark), fertilization type A (8 g of controlled-release fertilizers + 75 ppm of *N*) and ectomycorrhizal inoculation with *Laccaria laccata* (3 g in powder)], was one of those that produced the best seedling quality. The use of T1 is recommended because of the low cost it has compared to the other treatments evaluated and the presence of ectomycorrhizas that will produce a more evident beneficial effect at the planting site.

KEY WORDS: Dickson quality index, inoculation, controlled-release fertilizers, root electrolyte leakage, ectomycorrhiza

3.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, dados los problemas de deforestación y la falta de abastecimiento del mercado maderero en México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) impulsa el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y de restauración mediante el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR).

La superficie reforestada para el 2016 fue de 137 601 ha (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017) y, de acuerdo con la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2015) para el año 2010 se deforestaron un total 440 600 ha en México. Mientras que para un periodo de 1993 a 2007 se estima que aproximadamente se deforestaron 500 000 ha año⁻¹ en el país (Rosete-Vergés et al., 2014).

El informe final del Monitoreo de Restauración Forestal y Reconversión Productiva 2014, para los rubros sobre restauración, mantenimiento y sistemas agroforestales, señaló que en general el nivel de supervivencia de las plantaciones establecidas en 2014 fue de 56.6% (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2016), cuyo valor puede considerarse relativamente bajo.

Dados los niveles de supervivencia y la necesidad de producir planta que abastezca las necesidades de demanda, toma importancia el término de calidad de planta, planta de calidad o planta objetivo. La planta de calidad es aquella que es capaz de alcanzar niveles definidos de supervivencia, crecimiento y desarrollo en el sitio de plantación (se aclimata), debido a que posee ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que se lo permiten (Duryea, 1985; Rodríguez-Trejo, 2008).

Algunos aspectos relevantes para tener planta de calidad en vivero son: los sustratos o mezclas empleadas, la fertilización y la micorrización. Cabe mencionar que aproximadamente un 60% de viveros siguen empleando turba de musgo como parte de las mezclas de sustrato (Aguilera-Rodríguez et al., 2015), la cual llega a tener un precio demasiado elevado.

Lo anterior ha motivado a investigar sobre sustratos alternativos, como el aserrín de pino. Estudios realizados por Sánchez-Córdova et al. (2008) y Aguilera-Rodríguez et al. (2016), por mencionar algunos, destacan que mezclas de sustratos a base de aserrín son adecuadas para producir plantas en vivero dentro de los rangos de estándares de calidad.

En cuanto a la fertilización, Landis y Dumroese (2009) mencionan que los fertilizantes de liberación lenta o controlada (FLC) son la forma más novedosa y técnicamente más avanzada de suministrar nutrientes minerales a los cultivos de vivero. Con estos últimos, Aguilera-Rodríguez et al. (2015, 2016) han obtenido buenos resultados en *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. montezumae* Lamb., usando mezclas de sustrato que emplearon el aserrín y la corteza de pino como componentes principales.

La micorrización en vivero en México ha comenzado a ser investigada con un poco más de intensidad, por lo que es necesario seguir realizando más estudios sobre este tema. De acuerdo con Wilkinson (2009), aquellas plantas que abandonan el vivero con asociaciones micorrizicas son más capaces de sobrevivir en campo, por lo que inocular plantas en vivero es la mejor oportunidad para introducir estos organismos benéficos previamente seleccionados. Estudios realizados por Carrasco-Hernández et al. (2011), Carrera-Nieva y López-Ríos (2004) y Méndez-Neri et al. (2011), destacan la importancia de las micorrizas en la producción de pinos en vivero.

3.2. OBJETIVOS

Evaluar la calidad de las plantas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. producidas en mezclas de sustrato a base de aserrín, fertilizadas e inoculadas con el hongo ectomicorrízico *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke 1884, así como las no inoculadas, mediante el uso de indicadores e índices morfológicos y fisiológicos.

Evaluar las características físicas y químicas de las mezclas de sustrato con el objetivo de verificar que se encuentran dentro de los estándares para producir plantas en contenedor y evaluar el porcentaje de colonización ectomicorrízica en los diferentes tratamientos.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un vivero forestal ubicado en las coordenadas 19° 29' 24" N y 98° 52' 15" O, a una altitud de 2,280 msnm. Las mezclas de sustrato que se elaboraron tuvieron como base el aserrín de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham y en menor proporción otros productos (Tabla 1). Una vez preparados los sustratos se esterilizaron a 85 °C durante 36 h.

Tabla 1. Mezclas de sustratos a base de aserrín.

| Mezcla | Aserrín % | Corteza % | Turba de Musgo % | Composta % | Perlita % | Vermiculita % |
|--------|--------------|--------------|---------------------|---------------|--------------|------------------|
| S1 | 80 | 20 | | | | |
| S2 | 80 | | 20 | | | |
| S3 | 80 | | | 20 | | |
| S4 | 60 | 10 | 10 | | 10 | 10 |
| S5 | 60 | 10 | | 10 | 10 | 10 |

Se analizaron las siguientes propiedades físicas de los sustratos: diámetro medio ponderado de partículas (*DMP*), densidad aparente (*Da*), porosidad de retención de agua (*PRH*), porosidad de aireación (*PA*) y porosidad total (*PT*), estas tres últimas por el procedimiento

descrito por Landis (1990). También se evaluaron las propiedades químicas: *pH*, conductividad eléctrica (*CE*) y capacidad de intercambio catiónico (*CIC*). Adicional a lo anterior se obtuvieron las curvas de liberación de agua y sus componentes mediante el método de batería de embudos (De Boodt et al., 1974).

Los tratamientos planteados en el estudio incluyeron el total de las mezclas de sustrato más dos dosis de fertilización (6 y 8 g L⁻¹ de sustrato) de fertilizante de liberación lenta Osmocote Plus (15-9-12) + fertilización complementaria con de 75 ppm de *N* (0.375 g L⁻¹ de agua) y dos dosis de inoculación (0 y 3 g en polvo por planta). Con base en lo anterior se obtuvieron 20 tratamientos los cuales se muestran en la Tabla 2. Para cada tratamiento se tuvieron 27 plantas.

Tabla 2. Tratamientos.

| Tratamiento | MS | Fertilización | Inoculación |
|-------------|----|---------------|-------------|
| T1 | | A | I |
| T2** | S1 | A | N |
| T3 | | B | I |
| T4** | | B | N |
| T5 | | A | I |
| T6** | S2 | A | N |
| T7 | | B | I |
| T8** | | B | N |
| T9 | | A | I |
| T10** | S3 | A | N |
| T11 | | B | I |
| T12** | | B | N |
| T13 | | A | I |
| T14** | S4 | A | N |
| T15 | | B | I |
| T16** | | B | N |
| T17 | | A | I |
| T18** | S5 | A | N |
| T19 | | B | I |
| T20** | | B | N |

*Mezcla de sustrato (MS), fertilización A (8 g de FLC por litro de sustrato + 75 ppm de Nitrógeno), fertilización B (6 g de FLC por litro de sustrato + 75 ppm de Nitrógeno), inoculado con 3 g de inóculo en polvo (I); no inoculado (N) y tratamiento control (**).*

Las semillas de *P. greggii* se remojaron 24 h como tratamiento pre-germinativo y posteriormente se desinfectaron con peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% durante 20 min. Los tubetes que se utilizaron fueron de polietileno negro (54 tubetes por charola) con capacidad de 350 ml, los cuales también se desinfectaron con alcohol al 75% y posteriormente se llenaron con el sustrato correspondiente a cada tratamiento. En cada tubete se realizó la siembra directa a una profundidad de 1 cm. Una vez que comenzó la emergencia, que fue a partir de los 20 días, se aplicó Captán durante una semana y media cada tercer día (2.5 g L^{-1}).

La preparación del inóculo ectomicorrízico en polvo y su aplicación se realizó conforme a la metodología seguida por Carrasco-Hernández et al. (2018). En el presente trabajo se aplicaron dos inoculaciones de 1.5 g por planta. La primera inoculación se realizó dos meses después de que la planta emergió y la segunda inoculación a los cuatro meses. Después de cada inoculación se realizaron tres aplicaciones de Cercobin ® cada 15 días (1 g L^{-1}).

Debido a que las plantas presentaron un color de follaje amarillento, a los 5 meses se aplicó fertilizante soluble 20-20-20 (*N-P-K*) específico para la etapa de crecimiento rápido en vivero. La meta de aplicación fue 75 ppm de *N*. Se realizaron tres aplicaciones durante los riegos. Los riegos de las plantas se realizaron cada tercer día. Posteriormente mejoró el color de follaje. Las plantas permanecieron en vivero 10 meses hasta su evaluación.

Los indicadores morfológicos evaluados fueron: diámetro del cuello del tallo (*Dc*, mm); altura (*h*, cm); peso anhidro total (*p*, g); peso anhidro de la parte aérea (*pa*, g) y peso anhidro de la parte subterránea (*ps*, g). Los índices morfológicos evaluados fueron: relación de la

biomasa aérea entre biomasa subterránea (pa/ps), índice de esbeltez (Ie) (Duryea, 1985) y el QI , que es el índice de calidad de Dickson (Dickson et al., 1960a, 1960b).

También se realizaron dos pruebas relacionadas con los atributos fisiológicos. La primera, la prueba de pérdida de electrolitos de la raíz (PER) con base en la metodología descrita por Ritchie et al. (2010) con modificaciones. La segunda, la evaluación de tres nutrientes: N , P y K . La concentración de N se determinó conforme la metodología seguida por Alcántar y Sandoval (1999) mediante el método Kjeldahl. Las concentraciones de P y K se determinaron usando un equipo de espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES Agilent 725, Australia). El porcentaje de colonización de la raíz se realizó mediante la metodología seguida por Carrasco-Hernández (2010).

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar, con arreglo factorial $5 \times 2 \times 2$. Los tres factores considerados en el arreglo factorial son: el sustrato (5 niveles), la inoculación (2 niveles) y la fertilización (2 niveles). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\gamma\beta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta; μ = Media general; τ_i = Efecto de i -ésimo nivel del factor sustrato; β_j = efecto del j -ésimo nivel del factor fertilización; γ_k = efecto del k -ésimo nivel del factor inoculación; la combinación de letras representa las interacciones; ε = error experimental.

Los valores de respuesta de la evaluación de las plántulas se sometieron a un análisis de varianza para determinar la significancia de los efectos principales e interacciones de los factores y a una comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Lo anterior

se realizó con el programa Statistical Analysis System (SAS ®), mediante el procedimiento GLM.

3.4. RESULTADOS

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) para la mayoría de las variables evaluadas en las mezclas de sustrato y en los tratamientos, excepto para las variables *PRH*, *PT* y concentración foliar de *P* ($p > 0.05$), según se describe en los siguientes subtítulos.

3.4.1. Características físicas de las mezclas de sustrato

Todos los valores de densidad aparente fueron significativamente diferentes entre mezclas de sustrato, siendo S3 el que presentó el valor más alto. La *PA* tuvo su mayor valor en S3 y S1, que fueron significativamente diferentes de S2, S4 y S5. En cuanto a *DMP*, *PRH* y *PT*, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes mezclas de sustratos (Tabla 3).

Tabla 3. Densidades aparentes, diámetro medio ponderado y porosidades.

| MS | <i>Da</i> (g cm⁻³) | <i>DMP</i> (mm) | <i>PA</i> (%) | <i>PRH</i> (%) | <i>PT</i> (%) |
|-----------|--------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| S1 | 0.202 c | 1.15 a | 27.542 a | 51.600 a | 79.142 a |
| S2 | 0.168 e | 0.68 a | 22.688 b | 54.856 a | 77.544 a |
| S3 | 0.302 a | 0.90 a | 27.828 a | 48.684 a | 76.512 a |
| S4 | 0.186 d | 1.12 a | 23.944 b | 53.086 a | 77.030 a |
| S5 | 0.270 b | 0.99 a | 23.258 b | 51.658 a | 74.916 a |
| RV | 0.25 – 2.50 | 0.8 – 6.0 | 20-35 | --- | 60-80 |

Mezcla de sustrato (MS), densidad aparente (Da), diámetro medio ponderado (DMP), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de humedad (PRH), porosidad total (PT), rango de valores óptimos (RV). Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$) con la prueba de Tukey. Fuente de los RV: De Boodt y Verdonck (1972), Havis y Hamillton (1976), Martínez y Roca (2011) y Landis (1990).

Las curvas de liberación de agua no se incluyen, pero los resultados de sus componentes e intervalos óptimos, señalados por Baixauli y Aguilar (2002), Martínez y Roca (2011) y Pastor (2000), se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Componentes de la curva de liberación de agua.

| MS | EPT (%) | CA (%) | AFD (%) | AR (%) | ADD (%) | ATD (%) |
|-----------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| S1 | 83.5 | 23.6 | 8.7 | 9.3 | 41.9 | 18.0 |
| S2 | 83.3 | 18.2 | 12.2 | 11.8 | 41.2 | 23.9 |
| S3 | 77.6 | 8.6 | 20.0 | 16.6 | 32.4 | 36.6 |
| S4 | 79.7 | 11.5 | 18.0 | 15.2 | 35.0 | 33.1 |
| S5 | 76.7 | 27.2 | 7.8 | 11.4 | 30.3 | 19.2 |
| RV | | 10 - 30 | 20 - 30 | 4 - 10 | ---- | 24 - 80 |

Mezcla de sustrato (MS), rango de valores óptimo (RV), espacio poroso total (EPT), capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de retención (AR) y agua difícilmente disponible (ADD), agua total disponible (ATD).

3.4.2. Características químicas de las mezclas de sustratos

Los resultados de las características químicas de las mezclas de sustrato y sus intervalos óptimos sugeridos por Bunt (1988), Landis (1990) y Martínez y Roca (2011), se presentan en la Tabla 5. Los valores de *pH* encontrados fueron variables, el máximo corresponde a un *pH* básico y el mínimo uno ácido. Los valores de *CE* encontrados fueron menores a 0.450 dS m⁻¹ y los de *CIC* inferiores a 30 meq 100 g⁻¹.

Tabla 5. Características químicas de las mezclas de sustrato.

| MS | <i>pH</i> | <i>CE</i> (dS m⁻¹) | <i>CIC</i> (meq 100 g⁻¹) |
|-----------|------------------|--------------------------------------|--|
| S1 | 4.810 | 0.120 | 17.12 |
| S2 | 4.820 | 0.160 | 20.64 |
| S3 | 9.280 | 0.430 | 13.60 |
| S4 | 5.240 | 0.220 | 26.72 |
| S5 | 8.760 | 0.440 | 18.14 |
| RV | 5.0 - 6.5 | 0.75 - 3.5 | > 20 |

Mezcla de sustrato (MS), rango de valores óptimos (RV) conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC).

3.4.3. Evaluación de calidad de planta a nivel de vivero

Los valores de Dc promedio encontrados en los diferentes tratamientos se encuentran dentro de un intervalo de 4 a 6 mm. Se registraron valores h promedio en los diferentes tratamientos dentro de un intervalo de 39 a 55 cm (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de medias entre tratamientos (T) para diámetro (Dc), altura (h), índice de esbeltez (Ie) y peso seco de la parte aérea (pa).

| T | Dc (mm) | h (cm) | Ie | pa (g) |
|----|------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 4.9 ± 0.4 defg | 39.8 ± 3.5 g | 8.1 ± 0.6 efg | 4.6 ± 0.7 cdef |
| 2 | 4.8 ± 0.6 efg | 40.1 ± 6.4 fg | 8.3 ± 1.2 defg | 4.3 ± 1.3 ef |
| 3 | 5.1 ± 0.8 bcdef | 45.9 ± 5.1 bcdefg | 9.2 ± 1.6 cdef | 4.2 ± 1.3 ef |
| 4 | 5.0 ± 0.6 cdefg | 44.2 ± 5.9 cdefg | 8.9 ± 0.9 cdefg | 4.5 ± 1.1 def |
| 5 | 5.8 ± 0.8 ab | 52.7 ± 6.0 ab | 9.3 ± 1.5 cdef | 6.0 ± 1.4 ab |
| 6 | 5.6 ± 0.5 abcd | 54.4 ± 8.6 a | 9.8 ± 1.5 bcd | 6.4 ± 1.3 a |
| 7 | 4.5 ± 0.5 fg | 48.6 ± 5.8 abcde | 11.0 ± 1.7 ab | 4.0 ± 0.8 ef |
| 8 | 4.3 ± 0.5 g | 49.8 ± 6.0 abcd | 11.7 ± 1.8 a | 4.2 ± 1.1 ef |
| 9 | 5.1 ± 0.9 abcdef | 46.7 ± 5.4 bcdefg | 9.3 ± 1.3 bcdef | 4.6 ± 1.5 bcdef |
| 10 | 5.5 ± 0.6 abcde | 51.4 ± 6.0 ab | 9.4 ± 1.1 bcdef | 5.9 ± 1.6 abcde |
| 11 | 4.9 ± 0.6 defg | 50.6 ± 6.1 abcd | 10.4 ± 1.6 abc | 4.5 ± 1.2 def |
| 12 | 4.8 ± 0.3 efg | 48.6 ± 7.1 abcde | 10.1 ± 1.5 abc | 4.4 ± 0.8 ef |
| 13 | 5.8 ± 0.8 ab | 49.6 ± 7.9 abcd | 8.8 ± 1.7 cdefg | 6.0 ± 1.7 abc |
| 14 | 5.7 ± 0.6 abc | 51.2 ± 6.5 abc | 9.1 ± 1.5 cdef | 6.0 ± 1.2 abc |
| 15 | 4.7 ± 0.5 fg | 43.6 ± 4.4 defg | 9.3 ± 1.3 bcdef | 3.8 ± 0.9 f |
| 16 | 4.7 ± 0.6 fg | 47.7 ± 6.2 abcde | 10.4 ± 1.8 abc | 3.8 ± 1.0 ef |
| 17 | 5.2 ± 0.6 abcdef | 47.0 ± 5.3 bcdef | 9.1 ± 1.0 cdef | 4.8 ± 2.2 bcdef |
| 18 | 5.2 ± 0.7 abcdef | 50.0 ± 4.8 abcd | 9.8 ± 1.1 bcde | 4.7 ± 1.1 bcdef |
| 19 | 5.8 ± 0.7 a | 41.6 ± 6.6 efg | 7.3 ± 1.5 g | 5.3 ± 1.0 abcde |
| 20 | 5.5 ± 0.5 abcde | 41.7 ± 5.4 efg | 7.7 ± 1.3 fg | 4.9 ± 0.9 abcdef |

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí con la prueba de Tukey.

Los valores de Ie promedio de los tratamientos fueron elevados, entre 7 y 12, indicando que las plantas fueron muy esbeltas. El pa promedio para los diferentes tratamientos fue superior a 3.5 g, que indica que las plantas produjeron una buena cantidad de biomasa fotosintética.

Los valores de ps promedios van de 1 a 2.1 g, indicativos de que se produjo una buena biomasa radical, aunque se puede observar que ésta fue menor a la de pa . El p promedio tuvo

valores 4 a 8.5 g, con alta variabilidad, pero en general se produjo una buena biomasa total (Tabla 7).

La relación pa/ps promedio tuvo valores dentro de un intervalo de 2 a 4 lo que indica que se produjo de dos a casi cuatro veces más biomasa aérea que subterránea. El índice de calidad de Dickson (QI), que integra los indicadores morfológicos evaluados presentó valores entre 0.4 y 0.8.

Tabla 7. Comparación de medias entre tratamientos (T) para peso seco subterráneo (ps), peso seco total (p), relación peso seco parte aérea: peso seco raíz (pa/ps) e índice de Dickson (QI).

| T | ps (g) | p (g) | pa/ps | QI |
|----|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 1.6 ± 0.3 abcdefg | 6.2 ± 0.9 bcdef | 2.8 ± 0.6 cdefg | 0.6 ± 0.1 bcde |
| 2 | 1.7 ± 0.4 abcdef | 6.0 ± 1.5 cdef | 2.6 ± 0.7 fg | 0.6 ± 0.2 bcde |
| 3 | 1.3 ± 0.4 defghi | 5.5 ± 1.6 def | 3.4 ± 0.6 abcdef | 0.5 ± 0.2 defg |
| 4 | 1.7 ± 0.3 abcde | 6.2 ± 1.2 bcdef | 2.6 ± 0.6 efg | 0.5 ± 0.1 bcdef |
| 5 | 1.7 ± 0.5 abcdef | 7.7 ± 1.7 ab | 3.6 ± 0.7 abc | 0.6 ± 0.2 abcd |
| 6 | 1.9 ± 0.4 ab | 8.2 ± 1.5 a | 3.5 ± 0.7 abcde | 0.6 ± 0.1 abcd |
| 7 | 1.1 ± 0.3 i | 5.1 ± 1.0 f | 3.9 ± 1.3 ab | 0.4 ± 0.1 g |
| 8 | 1.3 ± 0.4 efghi | 5.4 ± 1.3 ef | 3.4 ± 0.8 abcdef | 0.4 ± 0.1 fg |
| 9 | 1.6 ± 0.5 bcdefgh | 6.2 ± 1.9 bcdef | 3.0 ± 0.7 bcdefg | 0.5 ± 0.2 cdefg |
| 10 | 2.0 ± 0.4 ab | 7.8 ± 2.0 ab | 3.0 ± 0.4 cdefg | 0.6 ± 0.2 abcd |
| 11 | 1.2 ± 0.2 hi | 5.6 ± 1.3 def | 3.9 ± 1.0 a | 0.4 ± 0.1 efg |
| 12 | 1.4 ± 0.2 cdefghi | 5.7 ± 0.9 def | 3.2 ± 0.6 abcdefg | 0.4 ± 0.1 efg |
| 13 | 1.7 ± 0.5 abcd | 7.7 ± 2.2 abc | 3.5 ± 0.6 abcd | 0.7 ± 0.2 abc |
| 14 | 1.8 ± 0.4 abc | 7.8 ± 1.3 ab | 3.4 ± 0.8 abcdef | 0.6 ± 0.1 abcd |
| 15 | 1.2 ± 0.4 ghi | 5.0 ± 1.2 f | 3.2 ± 0.5 abcdefg | 0.4 ± 0.1 efg |
| 16 | 1.3 ± 0.3 fghi | 5.1 ± 1.3 f | 3.1 ± 0.6 abcdefg | 0.4 ± 0.1 efg |
| 17 | 1.3 ± 0.4 defghi | 6.1 ± 2.4 bcdef | 3.7 ± 1.1 abc | 0.5 ± 0.2 cdefg |
| 18 | 1.4 ± 0.3 cdefghi | 6.1 ± 1.3 bcdef | 3.5 ± 0.6 abcde | 0.5 ± 0.1 defg |
| 19 | 2.0 ± 0.4 a | 7.3 ± 1.2 abcd | 2.7 ± 0.7 defg | 0.8 ± 0.2 a |
| 20 | 2.0 ± 0.4 ab | 6.9 ± 1.3 abcde | 2.5 ± 0.3 g | 0.7 ± 0.2 ab |

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre si con la prueba de Tukey.

Las concentraciones foliares de N y K fueron < 2% y para P fueron < 1%. El porcentaje promedio de PER estuvo dentro del intervalo 30 a 65%, mientras que el porcentaje promedio de colonización (PC) registró valores dentro del intervalo 14 a 64%. Los porcentajes más altos se presentaron en los tratamientos inoculados (Tabla 8).

3.5. DISCUSIÓN

3.5.1. Características físicas de las mezclas de sustrato

Las mezclas S2 (80% aserrín; 20% turba de musgo) y S3 (80% aserrín; 20% composta) cumplen con los valores óptimos de 4 y 6 características físicas, respectivamente, mientras que el resto de mezclas tienen valores óptimos en 5 características de un total de ocho evaluadas (Tablas 3 y 4). Con base en sus características físicas, se considera que las mezclas S1, S3, S4 y S5 son ideales para producir plantas en contenedor, dado que cumplen con más del 50% de las características analizadas.

Tabla 8. Comparación de medias entre tratamientos (T) para el análisis nutrimental foliar, pérdida de electrolitos de la raíz (PER) y porcentaje de colonización (PC).

| T | N (%) | P (%) | K (%) | PER (%) | PC (%) |
|----|---------------|-------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 1 | 1.1 ± 0.1 ab | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.1 cdef | 36.1 ± 3.4 cd | 60.6 ± 8.1 a |
| 2 | 0.9 ± 0.2 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.1 defg | 34.8 ± 7.5 d | 40.3 ± 10.6 abcdef |
| 3 | 0.9 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.2 ± 0.0 abc | 56.6 ± 20.2 abcd | 63.0 ± 6.0 a |
| 4 | 0.8 ± 0.0 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.2 ± 0.1 ab | 66.4 ± 14.9 a | 23.8 ± 5.6 cdef |
| 5 | 1.0 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.1 ± 0.0 bcde | 44.8 ± 14.0 abcd | 55.0 ± 3.5 abcd |
| 6 | 1.0 ± 0.2 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.3 ± 0.1 a | 38.4 ± 9.2 bcd | 26.3 ± 7.2 bcdef |
| 7 | 1.0 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.1 defg | 45.3 ± 8.0 abcd | 43.6 ± 21.0 abcdef |
| 8 | 1.0 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.1 efg | 38.0 ± 3.5 bcd | 24.6 ± 10.7 cdef |
| 9 | 0.8 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.1 bcde | 60.6 ± 22.4 ab | 60.2 ± 7.9 ab |
| 10 | 0.7 ± 0.1 bc | 0.2 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.1 defg | 55.2 ± 20.3 abcd | 29.5 ± 5.1 abcdef |
| 11 | 1.0 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.0 defg | 64.4 ± 16.8 a | 47.8 ± 16.9 abcdef |
| 12 | 0.8 ± 0.2 abc | 0.1 ± 0.0 a | 0.8 ± 0.1 fg | 59.5 ± 17.3 abc | 21.6 ± 16.1 def |
| 13 | 0.8 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.0 efg | 40.2 ± 7.6 bcd | 45.9 ± 19.8 abcdef |
| 14 | 0.8 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.8 ± 0.1 g | 47.1 ± 15.0 abcd | 14.2 ± 6.0 f |
| 15 | 1.1 ± 0.2 ab | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.0 defg | 45.4 ± 9.6 abcd | 49.8 ± 3.0 abcde |
| 16 | 0.8 ± 0.2 abc | 0.2 ± 0.0 a | 0.8 ± 0.1 fg | 44.3 ± 6.6 abcd | 36.6 ± 14.2 abcdef |
| 17 | 1.0 ± 0.2 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.0 cdefg | 53.4 ± 18.0 abcd | 57.6 ± 1.4 abc |
| 18 | 1.2 ± 0.2 a | 0.2 ± 0.0 a | 1.1 ± 0.0 abcd | 48.1 ± 7.7 abcd | 20.7 ± 9.2 ef |
| 19 | 0.8 ± 0.1 abc | 0.2 ± 0.0 a | 1.0 ± 0.1 defg | 42.7 ± 7.3 abcd | 54.8 ± 9.2 abcde |
| 20 | 0.6 ± 0.1 c | 0.1 ± 0.0 a | 0.9 ± 0.0 efg | 44.7 ± 11.3 abcd | 31.6 ± 11.5 abcdef |

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre si con la prueba de Tukey.

La *Da* presentó valores dentro del intervalo óptimo sugerido por Martínez y Roca (2011) en las mezclas S3 y S5, ambas incluyeron composta (20 y 10%, respectivamente). Todas las

mezclas evaluadas muestran valores de PA y PT dentro del intervalo óptimo recomendado por De Boodt y Verdonck (1972), Havis y Hamillton (1976), y Landis (1990). Sin embargo, para DMP , la mezcla S2 tiene valor inferior al intervalo óptimo sugerido por Landis (1990). La mezcla S3 tuvo los valores más altos de Da y PA , lo cual no ocurre con S1 (segundo mayor valor de PA y el tercero de Da).

Estudios realizados por Aguilera-Rodríguez et al. (2015, 2016), Hernández-Zárate et al., (2014) y Sánchez-Córdova et al. (2008) en mezclas de sustrato que emplearon aserrín y corteza de pino entre los componentes principales, registraron valores inferiores o superiores para PA y PRH , y los primeros mencionados también en PT . Mientras que los segundos y terceros mencionados encontraron valores similares para Da , excepto en mezclas con más de 20% de corteza, y para PT . Landis (1990) señala que la PA aumenta conforme incrementa el tamaño de las partículas, sin embargo, no se observa esta tendencia, posiblemente por el bajo intervalo en el diámetro promedio ponderado en las mezclas estudiadas.

La variación de los valores de la Da y las porosidades de este estudio, con respecto a los estudios mencionados, puede deberse principalmente al tamaño del tubete, que en nuestro caso fue de mayor volumen al que ellos emplearon, a la forma de llenado del tubete (nivel de compactación), a la preparación de las mezclas y la proporción de cada sustrato empleado para elaborarlas.

La PRH es el espacio poroso que se mantiene lleno de agua luego de que al medio saturado con agua se le facilita el drenaje (Landis, 1990). El aserrín de pino que es el sustrato que se ocupó en mayor porcentaje en las mezclas y es orgánico, está compuesto por pequeñas fibras de madera que al entrar en contacto con el agua la absorben hasta saturarse y posteriormente retienen el agua dentro de ellas, se puede considerar que la PRH está sobrestimada como tal,

dado que no se descartó el porcentaje que retienen las partículas de aserrín, las de corteza o las de turba de musgo. Sin embargo, el agua que el aserrín retiene está disponible para la planta.

En cuanto a los componentes de la curva de liberación de agua: (1) la mezcla S3 fue la única con valor de *CA* y *AFD* menor y dentro del intervalo óptimo, respectivamente; (2) la mezcla S1 presentó el único valor de *AR* en el intervalo óptimo; (3) las mezclas S3 y S4 tuvieron valores de *ATD* en el intervalo óptimo; sin embargo, la mezcla S2 (23.9%) presenta un valor muy cercano a 24% (Tabla 4). Las mezclas de sustrato con el mayor porcentaje de *AFD* (S3 y S4), también fueron las que tuvieron el mayor porcentaje de *AR*, y de *ATD*, pero no los valores más altos de *CA*, siendo que S3 tuvo el menor valor.

Los estudios realizados por Hernández-Zarate et al. (2014) y Sánchez-Córdova et al. (2008) registraron valores mayormente similares de *CA* e inferiores en *AR* con respecto al presente estudio. Los primeros mencionados registraron valores mayormente similares y los segundos valores superiores para *AFD*. Estos últimos reportaron, para una mezcla similar a S1, valores de *CA* superiores.

3.5.2. Características químicas de las mezclas de sustratos

Las mezclas de sustrato S2 y S4 tuvieron uno o dos valores dentro de los intervalos óptimos de las características químicas que se consideran para producir plantas en contenedor (Tabla 5). La mayoría de las mezclas presentaron *pH* ácido, sin embargo, las mezclas S3 y S5 que tuvieron composta de vaca (20 y 10%, respectivamente) entre sus componentes, mostraron valores de *pH* básicos mayores a 8, pero no se tuvo alguna dificultad en las plantas producidas en estos sustratos.

Las mezclas S2 y S4, que incluyeron turba de musgo entre sus componentes (20 y 10%, respectivamente), presentaron valores de *CIC* y S4 también de *pH* dentro del intervalo óptimo. Ninguna mezcla tuvo valores de *CE* en el intervalo óptimo (Tabla 5).

Las mezclas S1, S2 y S4 tuvieron valores de *pH* que concuerdan con los encontrados en turba de musgo y corteza de pino (Mañas et al., 2010), así como en mezclas cuyos compuestos principales fueron el aserrín y corteza de pino (Aguilera-Rodríguez et al., 2015, 2016; Hernández-Zárate et al., 2014; Sánchez-Córdova et al., 2008). Los valores de *CE* y *CIC* difieren de los obtenidos en mezclas que usaron aserrín y corteza (Aguilera-Rodríguez et al., 2015, 2016; Hernández-Zárate et al., 2014; Sánchez-Córdova et al., 2008). Mientras que son mayormente similares a los reportados en turba de musgo y corteza de pino (Mañas et al., 2010).

3.5.3. Evaluación de calidad de planta a nivel de vivero

Los intervalos óptimos para calificar la calidad de planta en vivero de coníferas no cespitosas de clima templado señalados por Muñoz-Flores et al. (2015) y Rueda-Sánchez et al. (2012), no verificados en campo, se muestran en la Tabla 9, los cuales se emplearon para calificar los indicadores e índices evaluados en los diferentes tratamientos.

Se calificaron como calidad media y alta el *Dc*, el *QI*, las concentraciones foliares de *P* y *K* en todos los tratamientos. La calidad se calificó como media para: el *Ie* en los tratamientos T19 y T20, la *pa/ps* en T20, y la concentración foliar de *N* en T1, T6, T7, T8, T15, T17 y T18. Para el resto de tratamientos, en cuanto a *Ie*, *pa/ps* y la concentración foliar de *N*, la calidad se calificó como baja. La *PER* se calificó mediante los siguientes intervalos establecidos para este estudio: de 21 a 40% (alta), de 41 a 60% (media) y de 61 a 80% (baja).

Los tratamientos T4, T9 y T11 se califican como calidad baja, T1, T2, T6, T8 y T13 como calidad alta y el resto de tratamientos como calidad media. La altura tuvo valores superiores al intervalo óptimo en todos los casos.

Tabla 9. Intervalos de calidad para los atributos morfológicos y fisiológicos evaluados.

| Variable | Calidad | | |
|----------------|---------|-------------|-------------|
| | Baja | Media | Alta |
| <i>h</i> (cm) | < 10.0 | 10.0 - 14.9 | 15.0 - 25.0 |
| <i>Dc</i> (mm) | < 2.5* | 2.5 - 3.9 | ≥ 4.0 |
| <i>Ie</i> | > 8.0 | 8.0 - 6.0 | < 6.0 |
| <i>pa/ps</i> | > 2.5 | 2.5 - 2.0 | < 2.0 |
| <i>QI</i> | < 0.2 | 0.2 - 0.4 | ≥ 0.5 |
| <i>N</i> (%) | < 1.0 | 1.0 - 1.2 | 1.3 - 3.5* |
| <i>P</i> (%) | ≤ 0.1 | | 0.2 - 0.6* |
| <i>K</i> (%) | < 0.5 | 0.5 - 0.6 | 0.7 - 2.5* |

Fuentes: Muñoz-Flores et al. (2015) y Rueda-Sánchez et al. (2012).

Las alturas de las plantas producidas en este estudio fueron mayores a 30 cm, esto posiblemente se deba a que permanecieron todo el tiempo en condiciones de invernadero, con sombra durante todo el ciclo de producción, lo cual impactó en el *Ie* con valores altos.

Los tratamientos con los mayores y menores valores en los indicadores e índices fueron: T19 con 10 a 14 diferencias con respecto al total de tratamientos evaluados, en los indicadores e índices *Dc*, *ps*, *Ie* y *QI*; T6 con 9 a 16 diferencias en los indicadores *h*, *pa*, *p* y la concentración foliar de *K*; T20 con 10 diferencias en la relación *pa/ps*; T2 con 4 diferencias en la *PER* y los tratamientos T1 y T3 con 6 diferencias en el *PC*. Para el *Ie*, la *pa/ps* y la *PER* los tratamientos mencionados tienen el menor valor.

La comparación de medias mostró diferencias significativas en tratamientos de igual mezcla de sustrato en *Dc*, *pa*, *ps*, *p* y *QI*. En general los tratamientos con fertilización tipo A (T6, T5, T10, T13, T14, T19 y T20) tuvieron un valor mayor y fueron significativamente

diferentes con por lo menos uno de los tratamientos de la misma mezcla y con fertilización tipo B, excepto para S5, en cuyos tratamientos ocurre lo contrario.

La mezcla de sustrato, la fertilización y su interacción tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) sobre Dc y h . Cuando se fertilizó con la dosis tipo A, en las mezclas S2 y S4 se obtuvieron valores mayores con respecto al tipo B; para el caso de Dc también ocurre lo anterior en S3, y para h en S5. Las variables Ie , ps , pa , p , QI y PER mostraron efectos significativos para la mezcla de sustrato, la fertilización y la interacción entre ambas, y para Ie y ps en la inoculación. En la mayoría de las mezclas los valores fueron más altos cuando se aplicó la fertilización tipo B con respecto al tipo A, excepto en S5 donde ocurre lo contrario.

Las plantas de *P. pseudostrobus* Lindl producidas en aserrín y corteza de pino como componentes principales y en contenedor (Aguilera-Rodríguez et al., 2015), y de *P. ayacahuite* producidas en tierra de monte y en bolsas de polietileno (Muñoz-Flores et al., 2015), presentaron valores similares en la mayoría de los indicadores morfológicos reportados en este estudio, excepto para h y Ie , así como en QI (en la segunda especie), donde reportaron valores inferiores o superiores.

Plantas de *P. greggii*, y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw producidas en aserrín y corteza de pino como componentes principales (Maldonado-Benitez et al., 2011; Reyes-Reyes et al., 2005), y de *P. radiata* D. Don, producidas en una mezcla de turba de musgo blanca y negra (Ortega et al., 2006), registraron valores que difieren en mayoría de los reportados en este estudio.

La evaluación de atributos morfológicos como lo son Dc , h , pa , ps y p en plantas de *P. arizonica* var. *cooperi* (C. E. Blanco) Farjon producidas en turba de musgo, vermiculita y agrolita (Prieto-Ruiz et al., 2007) y de *P. arizonica* Engelm. producidas en mezclas de sustrato que incluyeron aserrín de pino avejentado o turba de musgo o tierra de monte como componente principal (Sigala-Rodríguez et al., 2012), no registraron diferencias con los valores de Dc aquí reportados, pero sí para algunos de los otros indicadores. Mientras que plantas de *P. douglasiana* Martínez producidas en charolas de poliestireno de 60 cavidades de 165 cm³ (Bernaola-Paucar et al., 2015) tuvieron valores similares en cuanto a Dc , h , ps y pa

La concentración foliar de N , en tratamientos de igual mezcla, solo registró diferencias significativas entre T18 y T20. Las diferencias significativas en la concentración foliar de K en los tratamientos de igual mezcla se observaron entre T5 y T6, los cuales tuvieron dosis de fertilización A, siendo su única diferencia que T5 fue inoculado. T6 tuvo un mayor valor respecto a T5. Además, T4 tuvo diferencias con T1 y T2, y T3 con respecto a T2, donde T3 y T4 tuvieron fertilización tipo B y mayores concentraciones foliares de K .

El efecto de los factores en la relación pa/ps y la concentración foliar de N fue significativa para la mezcla de sustrato, la inoculación y la interacción entre la mezcla y la fertilización ($p < 0.05$). Se presentaron menores valores de pa/ps con la fertilización tipo A, con respecto al tipo B, en tres mezclas, excepto en S4 y S5 donde ocurre lo contrario. Las concentraciones foliares de N son mayores con la dosis de fertilización tipo B, respecto a la dosis tipo A en tres de las mezclas, excepto en S1 y S5. El efecto de la inoculación en Ie y ps , mostró que las plantas inoculadas presentaron valores menores con respecto a las no inoculadas.

Respecto a la relación pa/ps y concentración foliar de N , los valores más altos se presentan en plantas inoculadas.

La mezcla de sustrato, la fertilización, las interacciones entre estos dos factores, entre la mezcla y la inoculación, y entre la fertilización y la inoculación, tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la concentración foliar de K , encontrándose que: (1) se tuvieron concentraciones mayores cuando se aplicó la dosis de fertilización tipo B con respecto al tipo A en las mezclas S1 y S4; (2) las concentraciones fueron más altas en las mezclas S1, S3 y S4 cuando las plantas fueron inoculadas; (3) las plantas presentaron concentraciones más altas al ser fertilizadas con la dosis tipo B e inoculadas.

Las concentraciones foliares de N y K reportadas en este estudio difieren de las registradas en *P. ayacahuite* y *P. arizonica* (Muñoz-Flores et al., 2015; Sigala-Rodríguez et al., 2012) las cuales fueron inferiores o superiores, pero no difieren en la concentración foliar de P . Plantas de *P. montezumae* Lamb., producidas en mezclas de aserrín y corteza (Aguilera-Rodríguez et al., 2016), mostraron valores que difieren para K pero no para N y P , mientras que plantas de *P. douglasiana* (Bernaola-Paucar et al., 2015) registraron un valor menor a los de este estudio para N .

La PER mostró diferencias significativas en tratamientos de igual mezcla para T4 y T2, siendo T4 el mayor valor y con fertilización tipo B. Para el PC , los tratamientos de igual mezcla de sustrato que fueron significativamente diferentes son: T3 respecto de T4 (mezcla S1), entre T9 y T12 (mezcla S3), T14 respecto de T15 (mezcla S4), y los tratamientos T17 y T19 con respecto a T18 (mezcla S5).

La prueba de la *PER* en México no se ha registrado como prueba de calidad en los artículos revisados sobre especies de coníferas producidas en vivero, pero sí ha sido empleada en los viveros de Estados Unidos. Se ha encontrado correlaciones de la *PER* con la humedad relativa de plantas de *Pinus radiata* D. Don, veinte días después de haber sido plantadas (Mena-Petite et al., 2004) y correlaciones con la supervivencia en plantas de *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en algunos sitios de plantación (McKay y White, 1997).

La *PER* es una prueba relativamente sencilla y debe seguirse investigando, dado que regularmente no se califica la calidad de la parte subterránea de las plantas con pruebas fisiológicas, pues la parte subterránea es tan importante como la aérea. Se considera puede ser factible emplearla en los viveros más tecnificados de México o en aquellos semi-tecnificados, pero se debe de comprobar su correlación con la supervivencia en campo.

En cuanto al porcentaje de colonización ECM (*PC*), fue evidente el efecto de inocular en polvo algunos tratamientos, aunque hubo tratamientos que no se inocularon que llegaron a presentar hasta 40% de *PC* y no fueron significativamente diferentes de los inoculados. Sin embargo, fue un grupo reducido. Se observaron morfotipos que produce *L. laccata* y tres que no corresponden con la especie, los cuales se ubicaron mayormente en el primer tercio del cepellón, y que probablemente pertenezcan a una especie distinta. Las esporas de este hongo probablemente llegaron a través del agua de riego ya que en el vivero el agua no se encuentra en depósitos cerrados o pudieron ser llevadas por el viento e introducirse por las ventilas del invernadero o en el polvo del calzado de las personas que entraban al invernadero.

La presencia de micelio en el exterior del cepellón fue menor a 15 o 20% y en mayor proporción no pertenecía a la especie inoculada, pero esto no evidenció porcentajes bajos de

colonización de la especie objetivo. Se considera que una planta de calidad, mínimo debe tener el 40% de cobertura de micelio en el cepellón (CONAFOR, 2010). Sin embargo, esto debe revisarse a más detalle considerando la(s) especie(s) inoculadas, dado que habrá unas que produzcan mayor cantidad de micelio sobre el cepellón que esté relacionado con el porcentaje de colonización, y otras en las que no suceda lo mismo, como se observó en el presente estudio.

Investigaciones realizadas en plantas de *P. greggii*, *P. patula*, *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson, *P. pseudostrobus*, *P. radiata* y *P. thunbergii* Parl, producidas en diferentes condiciones de vivero e inoculadas con una o más especies de ECM, registraron efectos benéficos en el crecimiento, la concentración de nutrientes y la supervivencia en campo (Barroetaveña et al., 2016; Carrasco-Hernández et al., 2011; Duñabeitia et al., 2004; Gómez-Romero et al., 2013; Nakashima et al., 2016).

El efecto de la inoculación ECM en este experimento fue evidente en pocos indicadores e índices evaluados. Sin embargo, se espera que el comportamiento y, por consecuencia el efecto detectado en la fase de vivero, sea distinto en los sitios de plantación, tal como refiere Barroetaveña et al. (2016) y que se sustenta con lo mencionado en el párrafo anterior.

Hasta el momento de la realización de esta investigación solo se encontró en la literatura nacional la mención de la presencia de micorrizas en el estudio realizado por Aguilera-Rodríguez et al. (2015) en plantas producidas en mezclas que emplearon aserrín de pino, aunque no señalan el porcentaje de colonización ni la especie.

Considerando los tratamientos con mayor número de características de calidad de planta, más el número de características con valores óptimos en las mezclas de sustrato, los tratamientos con mejores características son: T1, T2, T6, T9, T10, T13, T14, T15 y T16.

3.6. CONCLUSIONES

Las mezclas de sustrato a base de aserrín, fertilizadas, inoculadas y no inoculadas producen plantas de calidad media a alta. Se recomienda el tratamiento T1 [mezcla S1(80% aserrín; 20% corteza), fertilización tipo A (8 g FLC + 75 ppm de N) e inoculada (3 g en polvo de *L. laccata*)], el cual cumple con un alto número de características ideales en cuanto a calidad de planta y la mezcla de sustrato. Se debe añadir el bajo costo que este tratamiento puede representar en relación con tratamientos de otras mezclas y los beneficios en crecimiento, concentración de nutrientes y supervivencia que la planta puede tener en el sitio de plantación por efecto de las ECM, como se ha demostrado en otros estudios. Se recomienda seguir investigando más sobre los efectos de otras especies ECM, la fertilización y las mezclas de sustrato, sobre la calidad de planta medida en vivero y la supervivencia en campo.

3.7. RECONOCIMIENTOS

Al CONACyT por la beca otorgada al primer autor para la realización de sus estudios de posgrado. A la UACH por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de este estudio. Al Sr. Alejandro Mota Rivera por la semilla de *P. greggii*, el aserrín y la corteza de pino que donó para el presente estudio. A los Alumnos Alejandro de Jesús Vicente Arbona, María Guadalupe Vicente Arbona y Edgar Fernando Vázquez Soto, por la colaboración en algunas actividades desarrolladas en este estudio.

3.8. REFERENCIAS

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2015). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Publicación Especial 10. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Baixauli, C., & Aguilar, J. M. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias*. Valencia (España), Generalitat Valenciana. Valencia.
- Barroetaveña, C., Bassani, V. N., Monges, J. I., & Rajchenberg, M. (2016). Field performance of *Pinus ponderosa* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi planted in steppe-grasslands of Andean Patagonia, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 307–316. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200009>
- Bernaola-Paucar, R. M., Zamora-Natera, J. F., Vargas-Radillo, J. de J., Cetina-Alcalá, V. M., Rodríguez-Macias, R., & Salcedo-Pérez, E. (2015). 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.
- Bunt, A. C. (1988). *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7904-1>

- Carrasco-Hernández, V. (2010). *Aspectos ecofisiológicos de la raíz de Pinus pseudostrobus y P. patula y especies ectomicorrízicas comestibles de Hebeloma spp. y Laccaria spp.* Tesis de Maestría. Estado de México: Colegio de Posgraduados.
- Carrasco-Hernández, V., Pérez-Moreno, J., Espinosa-Hernández, V., Almaraz-Suárez, J. J., Quintero-Lizaola, R., & Torres-Aquino, M. (2011). Contenido de nutrientes e inoculación con hongos ectomicorrízicos comestibles en dos pinos neotropicales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1), 83–96. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100006>
- Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., Pérez-Moreno, J., Duarte-Zaragoza, V. M., Navarros-Sandoval, J. L., & Quintero-Lizaola, R. (2018). Evaluación del costo de producción de inoculantes ectomicorrízicos neotropicales a base de esporas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 417–429. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1082>
- Carrera-Nieva, A., & López-Ríos, G. F. (2004). Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(2), 93–98.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2010). *Prácticas de reforestación: Manual básico* (Primera ed). Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2016). *Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2014*. Comisión Nacional Forestal.

- De Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26, 31–34.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1972.26.5>
- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054–2062.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1974.37.20>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960a). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13.
<https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960b). Seedling quality-soil fertility relationships of white spruce, and red and white pine in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(3), 237–241. <https://doi.org/10.5558/tfc36237-3>
- Duñabeitia, M. K., Hormilla, S., Garcia-Plazaola, J. I., Txarterina, K., Arteche, U., & Becerril, J. M. (2004). Differential responses of three fungal species to environmental factors and their role in the mycorrhization of *Pinus radiata* D. Don. *Mycorrhiza*, 14(1), 11–18. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0270-5>
- Duryea, M. L. (1985). Evaluating seedling quality: Importance to reforestation. En M. L. Duryea (Ed.), *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 1–4). Oregon: USA: Forest Research Laboratory, Oregon State University.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Compendio de datos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Roma.
- Gómez-Romero, M., Villegas, J., Sáenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques*, 19(3), 51–63.
- Havis, J. R., & Hamillton, W. W. (1976). Physical properties of container media. *Journal of Arboriculture*, 2(7), 139–140.
- Hernández-Zárate, L., Aldrete, A., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48(6), 627–637.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>
- Landis, T. D. (1990). Chapter 2 Growing media. En T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The Container Tree Nursery Manual. Volume 2, Containers and Growing Media. Agriculture Handbook 674* (pp. 41–85).
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes*, 5–12.
- Maldonado-Benitez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389–398.

- Mañas, P., Castro, E., Vila, P., & de las Heras, J. (2010). Use of waste materials as nursery growing media for *Pinus halepensis* production. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 521–530. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0349-4>
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En V. J. Flores R. (Ed.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37–77). Bogota: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- McKay, H. M., & White, M. S. (1997). Fine root electrolyte leakage and moisture content: indices of Sitka spruce and Douglas-fir seedling performance after desiccation. *New Forests*, 13, 139–162. <https://doi.org/10.1023/A:1006571805960>
- Mena-Petite, A., Estavillo, J. M., Duñabeitia, M., González-Moro, B., Muñoz-Rueda, A., & Lacuesta, M. (2004). Effect of storage conditions on post planting water status and performance of *Pinus radiata* D. Don stock-types. *Annals of Forest Science*, 61(7), 695–704. <https://doi.org/10.1051/forest:2004060>
- Méndez-Neri, M., Pérez-Moreno, J., Quintero-Lizaola, R., Hernández-Acosta, E., & Lara-Herrera, A. (2011). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* inoculado con tres hongos comestibles ectomicorrízicos. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 73–81.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Coria-Avalos, V. M., García-Magaña, J. de J., Hernández-Ramos, J., & Manzanilla-Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72–89.

- Nakashima, H., Eguchi, N., Uesugi, T., Yamashita, N., & Matsuda, Y. (2016). Effect of ectomycorrhizal composition on survival and growth of *Pinus thunbergii* seedlings varying in resistance to the pine wilt nematode. *Trees*, 30(2), 475–481. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1217-0>
- Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sanchez-Zabala, Rodriguez-Iturrizar, N., Txarterina, K., ... Duñabeitia, M. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests*, 31(1), 97–112. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-7364-6>
- Pastor, J. N. (2000). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17(3), 231–235.
- Prieto-Ruiz, Á. J., Domínguez-Calleros, P. A., Cornejo-Oviedo, E. H., & Návar-Cháidez, J. de J. (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.
- Reyes-Reyes, J., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 11(2), 105–110.
- Ritchie, G. A., Landis, T. D., Dumroese, R. K., & Haase, D. L. (2010). Assessing plant quality. En *The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agriculture Handbook 674* (pp. 19–81). Washington, DC: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Universidad Autonoma Chapingo, México: Mundi-Prensa.

- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21–35.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz-Reyez, J. T., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina-Castañeda, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 69–82.
- Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques*, 14(2), 41–49.
- Sigala-Rodríguez, J. Á., Sosa-Pérez, G., Martínez-salvador, M., Albarrán-Alvarado, D., & Soto-Jacinto, R. (2012). *Influencia de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de plantaciones forestales en Chihuahua*. Chihuahua: México: SAGARPA; INIFAP.
- Wilkinson, K. M. (2009). Beneficial Microorganisms. En R. K. Dumroese, T. Luna, & T. D. Landis (Eds.), *Nursery manual for native plants A guide for tribal nurseries. Agriculture handbook 730*. (pp. 247–262). Washington, DC: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service.